

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞINABİLİR DOĞRUSAL KAZI DENEY SETİ KULLANILARAK TBM
PERFORMANS TAHMİN MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Ramazan ÇOMAKLI

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞINABİLİR DOĞRUSAL KAZI DENEY SETİ KULLANILARAK TBM
PERFORMANS TAHMİN MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Ramazan ÇOMAKLI
(505112008)

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cemal BALCI

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505112008 numaralı Doktora Öğrencisi **Ramazan ÇOMAKLI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TAŞINABİLİR DOĞRUSAL KAZI DENEY SETİ KULLANILARAK TBM PERFORMANS TAHMİN MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Cemal BALCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nuh BİLGİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sair KAHRAMAN
Hacettepe Üniversitesi

Doç. Dr. İbrahim OCAK
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **22 Mayıs 2015**

Savunma Tarihi : **25 Haziran 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

“Taşınabilir doğrusal kazı deney seti kullanılarak TBM performans tahmin modeli geliştirilmesi” başlıklı bu doktora tezi kapsamında ülkemizde gerek madencilik alanında gerekse son zamanlarda artarak devam eden karayolu veya metro tüneli yapım projelerinde kullanılan mekanik kazıcıların doğru seçimi ve daha verimli kullanılması açısından daha hızlı sonuç alınabilen ve kullanılması daha pratik yeni bir taşınabilir doğrusal kazı deney seti geliştirilmiştir.

Bu tezin hazırlanması sırasında başta her türlü konuda bana yol gösterici olan ve çalışmalarımı yönlendiren tez danışmanım sayın Doç. Dr. Cemal BALCI ve her zaman yanımda olan sayın hocam Prof. Dr. Sair KAHRAMAN’ a özellikle teşekkür etmek isterim.

Tez çalışmalarım sırasında gerek laboratuvar çalışmalarında gerekse karşılaştığım sorunların aşılmasında yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan değerli hocalarım Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR ve Doç. Dr. Deniz TUMAÇ’ a teşekkür ederim.

Tez izleme komitesi olarak beni doğru şekilde yönlendiren kıymetli hocalarım Prof. Dr. Nuh BİLGİN ve Doç. Dr. İbrahim OCAK’ a ayrıca sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Uzun bir süre devam ettirdiğim laboratuvar çalışmalarında ihtiyaç duyduğum her anımda yardımlarını esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Emre AVUNDUK, Arş. Gör. Aydın SHATERPOOR, Maden Yüksek Mühendisi Can POLAT ve Maden Mühendisi Sahand TOLOVEİ’ ye ve gerek bu tez çalışmamda gerekse tüm öğrenim hayatımda hep yanımda olan değerli eşime ve aileme çok teşekkür ederim.

Bu tezin yapılması sırasında maddi olarak desteklerini aldığımız TÜBİTAK ve İTÜ BAP ofisine ayrıca teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Ramazan ÇOMAKLI
Maden Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxvii
ÖZET.....	xliii
SUMMARY	xlvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
2. LİTERATÜR ÖZETİ	7
2.1 Mekanize Kazı Yöntemlerinin Gelişimi	7
2.2 Fiziksel Mekanik Testler Yardımıyla Kazılabilirlik Tahmini.....	11
2.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi	11
2.2.2 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyi	13
2.2.3 Nokta yük dayanımı deneyi	14
2.2.4 Darbe dayanımı deneyi	15
2.2.5 Schmidt çekici deneyi	15
2.2.6 NCB koni delici	16
2.2.7 Shore skeleroskope sertliği deneyi.....	16
2.2.8 Shore skeleroskobu ile plastik sertlik deneyi	16
2.2.9 Cerchar sertlik deneyi	16
2.2.10 Cerchar aşındırıcılık deneyi	17
2.3 Disk Keskiler ve Tasarım Parametreleri	18
2.3.1 Disk Keskiler.....	18
2.3.2 Disk keski tasarım parametreleri.....	19
2.4 Disk Keski – Kaya Etkileşimi	20
2.5 Disk Keski Teorileri	22
2.6 Disk Keski Tasarım Parametrelerinin Kesme İşlemine Etkisi	30
2.7 Disk Keskilerde Kazı Sırasında Oluşan Özel Durumlar	45
2.7.1 Aşırı söküm	45
2.7.2 Disk keskinin körelmesi.....	49
2.7.3 Disk keskinin sıkışması.....	50
2.8 TBM Performans Tahmin Yöntemleri	52
3. YENİ TAŞINABİLİR DOĞRUSAL KAZI DENEY SETİNİN GELİŞTİRİLMESİ	57
3.1 Daha Önce Geliştirilen Kazı Deney Setleri ve Yapılan Çalışmalar.....	57
3.2 Geliştirilen Yeni Taşınabilir Doğrusal Kazı Deney Seti (PLCM)	61

3.2.1 Ölçme sisteminin tasarımı ve imalatı	63
3.2.2 Ölçme sistemi elemanları ve tanıtılması	65
3.3 Mini Disk Keskiler İçin Kuvvet Ölçerin Kalibrasyonu	69
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI	73
4.1 Fiziksel ve Mekanik Özellik Deneyleri.....	73
4.1.1 Yoğunluk (birim hacim ağırlığı) tayini	75
4.1.2 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi.....	75
4.1.3 Statik elastisite modülü ve poisson oranı	76
4.1.4 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyi.....	77
4.1.5 Nokta yükü dayanımı deneyi.....	78
4.1.6 Dinamik elastisite modülü ve poisson oranının belirlenmesi.....	79
4.1.7 Laboratuvarda Schmidt çekici deneyi	80
4.1.8 Shore scleroscope sertlik deneyi	81
4.1.9 Cerchar aşındırıcılık deneyi	82
4.1.10 Petrografik analiz sonuçları.....	84
4.2 Tam Boyutlu Doğrusal Kaya Kesme Deneyleri (LCM)	105
4.2.1 Tam boyutlu doğrusal kaya kesme deney seti (LCM)	105
4.2.2 432 mm çaplı sabit kesitli (CCS) tip disk keski	108
4.2.3 Numune hazırlama	109
4.2.4 Bej mermer üzerinde yapılan LCM deneyleri.....	112
4.2.4.1 Bej mermer üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney programı....	112
4.2.4.2 Bej mermer üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney sonuçları....	112
4.2.5 Traverten üzerinde yapılan LCM deneyleri	119
4.2.5.1 Traverten üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney programı	119
4.2.5.2 Traverten üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney sonuçları	119
4.2.6 Küfeki kireçtaşı üzerinde yapılan LCM deneyleri	124
4.2.6.1 Küfeki kireçtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney programı	124
4.2.6.2 Küfeki kireçtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney sonuçları	124
4.2.7 Kireçtaşı üzerinde yapılan LCM deneyleri	129
4.2.7.1 Kireçtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney programı	129
4.2.7.2 Kireçtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney sonuçları	129
4.2.8 Kumtaşı üzerinde yapılan LCM deneyleri	134
4.2.8.1 Kumtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney programı	134
4.2.8.2 Kumtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney sonuçları	134
4.3. Taşınabilir Doğrusal Kaya Kesme Deneyleri.....	139
4.3.1 Geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney seti (PLCM).....	139
4.3.2 144 mm çaplı mini disk keski	140
4.3.3 Numune hazırlama	141
4.3.4 Bej mermer üzerinde yapılan PLCM deneyleri.....	144
4.3.4.1 Bej mermer üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deney programı	144
4.3.4.2 Bej mermer numunesi üzerinde yapılan PLCM deney sonuçları.....	145
4.3.5 Traverten üzerinde yapılan PLCM deneyleri	153
4.3.5.1 Traverten üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deney programı	153
4.3.5.2 Traverten numunesi üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları	154
4.3.6 Küfeki kireçtaşı üzerinde yapılan PLCM deneyleri	160
4.3.6.1 Küfeki kireçtaşı üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deney programı	160

4.3.6.2 Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları	161
4.3.7 Kireçtaşı üzerinde yapılan PLCM deneyleri	167
4.3.7.1 Kireçtaşı üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deney programı	167
4.3.7.2 Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları ..	168
4.3.8 Kumtaşı üzerinde yapılan PLCM deneyleri	174
4.3.8.1 Kumtaşı üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deney programı	174
4.3.8.2 Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları ..	175
4.4 Arazi Numuneleri Üzerinde Yapılan PLCM Deneyleri	181
4.4.1 Kireçtaşı (A) üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları	182
4.4.2 Altere kireçtaşı üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları	189
4.4.3 Diyabaz üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları	195
4.4.4 Çamurtaşı üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları	201
4.4.5 Konglomera üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları	207
4.5 Pasa İrilik Katsayısı Tayini (Elek Analizi)	213
5. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	217
5.1 LCM – PLCM Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	217
5.1.1 Bej mermer numunesi için yapılan LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması	217
5.1.2 Traverten numunesi için yapılan LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması	223
5.1.3 Küfeki kireçtaşı numunesi için yapılan LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması	229
5.1.4 Kireçtaşı numunesi için yapılan LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması	235
5.1.5 Kumtaşı numunesi için yapılan LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması	241
5.1.6 LCM ve PLCM deney sonuçlarının tüm numuneler için genel değerlendirilmesi	247
5.2 Fiziksel Mekanik Testlere Bağlı Olarak LCM - PLCM Sonuçlarının Karşılaştırılması	253
5.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı ile LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması	255
5.2.2 Dolaylı çekme dayanımı ile LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması	260
5.3 Deneysel ve Teorik Keski Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	266
5.3.1 Bej mermer için deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması	269
5.3.2 Kireçtaşı için deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması ..	271
5.3.3 Kumtaşı için deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması ...	273
5.3.4 Küfeki kireçtaşı için deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması	275
5.3.5 Traverten için deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması ..	277
5.4 TBM performans parametreleri için arazi verileri ile deneysel sonuçların karşılaştırılması	279
5.4.1 TBM arazi verileriyle PLCM laboratuvar sonuçlarının karşılaştırılması	279
5.4.2 LCM ve PLCM laboratuvar sonuçlarının TBM performans parametreleri için karşılaştırılması	288
5.4.3 Tahmin edilen LCM değerleri ile TBM arazi verilerinin karşılaştırılması	293

5.4.3.1 PLCM deney sonuçlarına bağlı olarak elde edilen LCM değerleri ile TBM arazi verilerinin karşılaştırılması	293
5.4.3.2 Çoklu regresyon analizi yöntemi ile LCM sonuçlarının tahmin edilmesi ve TBM arazi verileri ile karşılaştırılması	296
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA.....	299
KAYNAKLAR.....	309
EKLER.....	317

KISALTMALAR

LCM	: Tam boyutlu doğrusal kazı deney seti
SLCM	: Küçük boyutlu doğrusal kazı deney seti
PLCM	: Taşınabilir doğrusal kazı deney seti
TBM	: Tünel açma makinesi
CCS	: Sabit kesit alanlı
UCS	: Tek eksenli basınç dayanımı
BTS	: Dolaylı çekme dayanımı
σ_c	: Tek eksenli basınç dayanımı
σ_T	: Dolaylı çekme dayanımı
E_{dyn}	: Dinamik elastisite modülü
E_{sta}	: Statik elastisite modülü
SE	: Spesifik enerji
SE_{opt}	: Optimum spesifik enerji
d	: Kesme derinliği
s	: Keskiler arası mesafe
FN	: Keski üzerine etki eden normal kuvvet
FR	: Keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvveti
FS	: Keski üzerine etki eden yanal kuvvet
ICR	: Net kazı miktarı
k	: Enerji transfer katsayısı
P	: Güç

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	: Kazı makinelerinin performansını etkileyen parametreler (Bilgin ve diğ., 2014).....	11
Çizelge 2.2	: Yapılan deneysel araştırmalarda kullanılan tasarım parametreleri (Roxborough ve Phillips, 1975).	31
Çizelge 3.1	: Dinamometrenin yapımında kullanılan alüminyum malzemenin özellikleri.	66
Çizelge 4.1	: LCM ve PLCM deneyleri için kullanılan numunelerin fiziksel mekanik özellikleri.	83
Çizelge 4.2	: Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tüneline alınan numunelerin fiziksel mekanik özellikleri.	83
Çizelge 4.3	: Küfeki kireçtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.....	86
Çizelge 4.4	: Traverten örneği için ince kesit analiz sonuçları.....	88
Çizelge 4.5	: Kireçtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.....	90
Çizelge 4.6	: Kumtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.....	92
Çizelge 4.7	: Bej mermer örneği için ince kesit analiz sonuçları.	94
Çizelge 4.8	: Konglomera örneği için ince kesit analiz sonuçları.	96
Çizelge 4.9	: Diyabaz örneği için ince kesit analiz sonuçları.	98
Çizelge 4.10	: Altere kireçtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.....	100
Çizelge 4.11	: Çamurtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.....	102
Çizelge 4.12	: Çamurtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.....	104
Çizelge 4.13	: Bej mermer numunesi üzerinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan LCM deney programı.	112
Çizelge 4.14	: Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM kesme deney sonuçları.	114
Çizelge 4.15	: Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM kesme deney sonuçları.	114
Çizelge 4.16	: Traverten numunesi üzerinde 432 mm CCS tip disk keski kullanılarak yapılan LCM deney programı.	119
Çizelge 4.17	: Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.	121
Çizelge 4.18	: Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.	121
Çizelge 4.19	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde 432 mm çaplı CCS tip disk keski ile yapılan LCM deney programı.	124
Çizelge 4.20	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.	126
Çizelge 4.21	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.	126

Çizelge 4.22 : Kireçtaşı numunesi üzerinde 432 mm CCS tip disk keski ile yapılan LCM deney programı.	129
Çizelge 4.23 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.....	131
Çizelge 4.24 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.	131
Çizelge 4.25 : Kumtaşı numunesi üzerinde 432 mm çaplı CCS tip disk keski ile yapılan LCM deney programı.....	134
Çizelge 4.26 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.	136
Çizelge 4.27 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.	136
Çizelge 4.28 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı.	145
Çizelge 4.29 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.	146
Çizelge 4.30 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.....	150
Çizelge 4.31 : Traverten numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı.	154
Çizelge 4.32 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.....	155
Çizelge 4.33 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.....	157
Çizelge 4.34 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı.	161
Çizelge 4.35 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.	162
Çizelge 4.36 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.	164
Çizelge 4.37 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı.	168
Çizelge 4.38 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.....	169
Çizelge 4.39 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.....	171
Çizelge 4.40 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı.	175
Çizelge 4.41 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.....	176
Çizelge 4.42 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.....	178
Çizelge 4.43 : Arazi numuneleri üzerinde yapılan PLCM deney programı.	182
Çizelge 4.44 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.	183
Çizelge 4.45 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.	185
Çizelge 4.46 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.	189
Çizelge 4.47 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.	191
Çizelge 4.48 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.....	195

Çizelge 4.49 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.	197
Çizelge 4.50 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.	201
Çizelge 4.51 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.	203
Çizelge 4.52 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.	207
Çizelge 4.53 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.	209
Çizelge 4.54 : Küfeki kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	214
Çizelge 4.55 : Konglomera için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	215
Çizelge 5.1 : Yardımsız ($d = 5$ mm) ve yardımcı (optimum s/d koşulunda) LCM kaya kesme deney sonuçlarının toplu gösterimi.	248
Çizelge 5.2 : Yardımsız ($d = 5$ mm) ve yardımcı (optimum s/d koşulunda) PLCM kaya kesme deney sonuçlarının toplu gösterimi.	248
Çizelge 5.3 : Yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deney sonuçlarının toplu gösterimi (5 mm kesme derinliği).	254
Çizelge 5.4 : Yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deney sonuçlarının toplu gösterimi (optimum s/d oranı için).	254
Çizelge 5.5 : Bej mermer numunesi için elde edilen deneysel ve teorik keski kuvvet değerleri.	269
Çizelge 5.6 : Kireçtaşı numunesi için elde edilen deneysel ve teorik keski kuvvet değerleri.	271
Çizelge 5.7 : Kumtaşı numunesi için elde edilen deneysel ve teorik keski kuvvet değerleri.	273
Çizelge 5.8 : Küfeki kireçtaşı numunesi için elde edilen deneysel ve teorik keski kuvvet değerleri.	275
Çizelge 5.9 : Traverten numunesi için elde edilen deneysel ve teorik keski kuvvet değerleri.	277
Çizelge 5.10 : TBM ilerleme hızına bağlı olarak Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro tünel kazısı sırasında alınan numunelere ait bilgiler.	279
Çizelge 5.11 : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tüneli kazısında kullanılan EPB TBM’e ait genel teknik özellikler.	280
Çizelge 5.12 : Arazi numuneleri üzerinde yapılan PLCM deneyleri sonucunda optimum s/d oranı için elde edilen deney sonuçları.	281
Çizelge 5.13 : Arazi numuneleri üzerinde yapılan PLCM deney sonuçlarına bağlı olarak tahmin edilen TBM performans parametreleri.	284
Çizelge 5.14 : Altere kireçtaşı için TBM performans değerleri.	285
Çizelge 5.15 : Çamurtaşı için TBM performans parametreleri.	285
Çizelge 5.16 : Diyabaz için TBM performans parametreleri.	286
Çizelge 5.17 : Kireçtaşı için TBM performans parametreleri.	286
Çizelge 5.18 : Konglomera için TBM performans parametreleri.	286
Çizelge 5.19 : TBM arazi verileri ile PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması.	287
Çizelge 5.20 : LCM ve PLCM deneyleri sonucunda optimum s/d oranı için elde edilen deney sonuçları.	289
Çizelge 5.21 : LCM ve PLCM deney sonuçlarına göre TBM performans parametrelerinin karşılaştırılması.	290

Çizelge 5.22	: PLCM deneylerinden tahmin edilen LCM deney verilerine göre elde edilen TBM performans parametreleri ile TBM arazi verilerinin karşılaştırılması.	295
Çizelge 5.23	: Çoklu regresyon analizinden tahmin edilen LCM deney verilerine göre elde edilen TBM performans parametreleri ile TBM arazi verilerinin karşılaştırılması.	298
Çizelge A.1	: Bej mermer numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.	318
Çizelge A.2	: Bej mermer numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.	319
Çizelge A.3	: Traverten numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.	320
Çizelge A.4 (a)	: Traverten numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (s = 80 mm).....	320
Çizelge A.4 (b)	: Traverten numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (s = 60 mm).....	321
Çizelge A.5	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.	322
Çizelge A.6	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.	322
Çizelge A.7	: Kireçtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.	323
Çizelge A.8	: Kireçtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.	323
Çizelge A.9	: Kumtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.	324
Çizelge A.10	: Kumtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.	325
Çizelge B.1 (a)	: Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (Disk - 1).....	326
Çizelge B.1 (b)	: Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (Disk - 2).....	326
Çizelge B.1 (c)	: Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (Disk - 3).....	327
Çizelge B.1 (d)	: Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (Disk - 4).....	327
Çizelge B.2 (a)	: Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (Disk - 1).....	328
Çizelge B.2 (b)	: Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (Disk - 2).....	328

Çizelge B.2 (c)	: Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (Disk - 3).	329
Çizelge B.2 (d)	: Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (Disk - 4).	329
Çizelge B.3 (a)	: Traverten numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).....	330
Çizelge B.3 (b)	: Traverten numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).	330
Çizelge B.4 (a)	: Traverten numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).....	331
Çizelge B.4 (b)	: Traverten numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).....	331
Çizelge B.5 (a)	: Küfeği kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).....	332
Çizelge B.5 (b)	: Küfeği kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).....	332
Çizelge B.6 (a)	: Küfeği kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).	333
Çizelge B.6 (b)	: Küfeği kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).....	333
Çizelge B.7 (a)	: Kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).....	334
Çizelge B.7 (b)	: Kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).	334
Çizelge B.8 (a)	: Kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).....	335
Çizelge B.8 (b)	: Kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).....	335
Çizelge B.9 (a)	: Kumtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).....	336
Çizelge B.9 (b)	: Kumtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).	336
Çizelge B.10 (a)	: Kumtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).....	337
Çizelge B.10 (b)	: Kumtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).....	337
Çizelge B.11 (a)	: Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).....	338
Çizelge B.11 (b)	: Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).....	338
Çizelge B.12 (a)	: Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).	339
Çizelge B.12 (b)	: Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).....	339
Çizelge B.13 (a)	: Altere kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).....	340
Çizelge B.13 (b)	: Altere kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).....	340
Çizelge B.14 (a)	: Altere kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).	341

Çizelge B.14 (b)	: Altere kireçtaşı numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).	341
Çizelge B.15 (a)	: Diyabaz numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).	342
Çizelge B.15 (b)	: Diyabaz numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).	342
Çizelge B.16 (a)	: Diyabaz numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).	343
Çizelge B.16 (b)	: Diyabaz numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).	343
Çizelge B.17 (a)	: Çamurtaş numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).	344
Çizelge B.17 (b)	: Çamurtaş numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).	344
Çizelge B.18 (a)	: Çamurtaş numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).	345
Çizelge B.18 (b)	: Çamurtaş numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).	345
Çizelge B.19 (a)	: Konglomera numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).	346
Çizelge B.19 (b)	: Konglomera numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).	346
Çizelge B.20 (a)	: Konglomera numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).	347
Çizelge B.20 (b)	: Konglomera numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).	347
Çizelge C.1	: Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	348
Çizelge C.2	: Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	349
Çizelge C.3	: Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	350
Çizelge C.4	: Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	351
Çizelge C.5	: Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	352
Çizelge C.6	: Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	353
Çizelge C.7	: Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	354
Çizelge C.8	: Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	355
Çizelge C.9	: Traverten için 7 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	356
Çizelge C.10	: Traverten için 7 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	357
Çizelge C.11	: Traverten için 9 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	358
Çizelge C.12	: Traverten için 9 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.	359

Çizelge C.13 :	Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	360
Çizelge C.14 :	Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	361
Çizelge C.15 :	Küfeki kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	362
Çizelge C.16 :	Küfeki kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	363
Çizelge C.17 :	Küfeki kireçtaşı için 9 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	364
Çizelge C.18 :	Küfeki kireçtaşı için 9 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	365
Çizelge C.19 :	Kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	366
Çizelge C.20 :	Kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	367
Çizelge C.21 :	Kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	368
Çizelge C.22 :	Kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	369
Çizelge C.23 :	Kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	370
Çizelge C.24 :	Kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	371
Çizelge C.25 :	Kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	372
Çizelge C.26 :	Kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	373
Çizelge C.27 :	Kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	374
Çizelge C.28 :	Kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	375
Çizelge C.29 :	Kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	376
Çizelge C.30 :	Kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.....	377
Çizelge C.31 :	Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).....	378
Çizelge C.32 :	Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).....	379
Çizelge C.33 :	Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).....	380
Çizelge C.34 :	Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).....	381
Çizelge C.35 :	Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).....	382
Çizelge C.36 :	Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).....	383
Çizelge C.37 :	Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	384

Çizelge C.38	: Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	385
Çizelge C.39	: Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	386
Çizelge C.40	: Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	387
Çizelge C.41	: Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	388
Çizelge C.42	: Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	389
Çizelge C.43	: Traverten için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	390
Çizelge C.44	: Traverten için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	391
Çizelge C.45	: Traverten için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	392
Çizelge C.46	: Traverten için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	393
Çizelge C.47	: Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	394
Çizelge C.48	: Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	395
Çizelge C.49	: Traverten için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	396
Çizelge C.50	: Traverten için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	397
Çizelge C.51	: Traverten için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	398
Çizelge C.52	: Traverten için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	399
Çizelge C.53	: Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	400
Çizelge C.54	: Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	401
Çizelge C.55	: Küfeki kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	402
Çizelge C.56	: Küfeki kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	403
Çizelge C.57	: Küfeki kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	404
Çizelge C.58	: Küfeki kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	405
Çizelge C.59	: Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	406
Çizelge C.60	: Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	407
Çizelge C.61	: Küfeki kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	408
Çizelge C.62	: Küfeki kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	409

Çizelge C.63 :	Küfeki kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	410
Çizelge C.64 :	Küfeki kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	411
Çizelge C.65 :	Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	412
Çizelge C.66 :	Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	413
Çizelge C.67 :	Kumtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	414
Çizelge C.68 :	Kumtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	415
Çizelge C.69 :	Kumtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	416
Çizelge C.70 :	Kumtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	417
Çizelge C.71 :	Kumtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	418
Çizelge C.72 :	Kumtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	419
Çizelge C.73 :	Kumtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	420
Çizelge C.74 :	Kumtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	421
Çizelge C.75 :	Kumtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	422
Çizelge C.76 :	Kumtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	423
Çizelge C.77 :	Kumtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	424
Çizelge C.78 :	Kumtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	425
Çizelge C.79 :	Kireçtaşı (A) için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	426
Çizelge C.80 :	Kireçtaşı (A) için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	427
Çizelge C.81 :	Kireçtaşı (A) için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	428
Çizelge C.82 :	Kireçtaşı (A) için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	429
Çizelge C.83 :	Kireçtaşı (A) için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	430
Çizelge C.84 :	Kireçtaşı (A) için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	431
Çizelge C.85 :	Kireçtaşı (A) için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	432
Çizelge C.86 :	Kireçtaşı (A) için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	433
Çizelge C.87 :	Kireçtaşı (A) için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	434

Çizelge C.88	: Kireçtaşı (A) için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	435
Çizelge C.89	: Kireçtaşı (A) için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	436
Çizelge C.90	: Kireçtaşı (A) için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	437
Çizelge C.91	: Altere kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	438
Çizelge C.92	: Altere kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	439
Çizelge C.93	: Altere kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	440
Çizelge C.94	: Altere kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	441
Çizelge C.95	: Altere kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	442
Çizelge C.96	: Altere kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	443
Çizelge C.97	: Altere kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	444
Çizelge C.98	: Altere kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	445
Çizelge C.99	: Altere kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	446
Çizelge C.100	: Altere kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	447
Çizelge C.101	: Altere kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	448
Çizelge C.102	: Altere kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	449
Çizelge C.103	: Diyabaz için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	450
Çizelge C.104	: Diyabaz için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	451
Çizelge C.105	: Diyabaz için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	452
Çizelge C.106	: Diyabaz için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	453
Çizelge C.107	: Diyabaz için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	454
Çizelge C.108	: Diyabaz için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).	455
Çizelge C.109	: Diyabaz için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	456
Çizelge C.110	: Diyabaz için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	457
Çizelge C.111	: Diyabaz için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	458
Çizelge C.112	: Diyabaz için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	459

Çizelge C.113	: Diyabaz için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).....	460
Çizelge C.114	: Diyabaz için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).....	461
Çizelge C.115	: Çamurtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	462
Çizelge C.116	: Çamurtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	463
Çizelge C.117	: Çamurtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	464
Çizelge C.118	: Çamurtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	465
Çizelge C.119	: Çamurtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	466
Çizelge C.120	: Çamurtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	467
Çizelge C.121	: Çamurtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	468
Çizelge C.122	: Çamurtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	469
Çizelge C.123	: Çamurtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	470
Çizelge C.124	: Çamurtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	471
Çizelge C.125	: Çamurtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	472
Çizelge C.126	: Çamurtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	473
Çizelge C.127	: Konglomera için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	474
Çizelge C.128	: Konglomera için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	475
Çizelge C.129	: Konglomera için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	476
Çizelge C.130	: Konglomera için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	477
Çizelge C.131	: Konglomera için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	478
Çizelge C.132	: Konglomera için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).....	479
Çizelge C.133	: Konglomera için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	480
Çizelge C.134	: Konglomera için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	481
Çizelge C.135	: Konglomera için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	482
Çizelge C.136	: Konglomera için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	483
Çizelge C.137	: Konglomera için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLKM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).	484

Çizelge C.138 : Konglomera için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLÇM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).....	485

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tünel uzunluğuna göre mekanize kazı ile delme – patlatmanın karşılaştırılması (Pakes, 1991).....	10
Şekil 2.2 : Basınç dayanımının kesme hızı üzerindeki etkisi (Bölükbaşı ve Çam, 1981).....	12
Şekil 2.3 : Spesifik enerji ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki (Çomaklı, 2010).....	12
Şekil 2.4 : RQD ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki (Bilgin ve diğ., 1988)....	13
Şekil 2.5 : Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki (Çomaklı, 2010).	14
Şekil 2.6 : (a); kazı hızının nokta yük dayanımı ile değişimi, (b); keski sarfiyatı ile nokta yük dayanımı arasındaki ilişki (McFeat - Smith ve Torkoy, 1979).	14
Şekil 2.7 : İlerleme hızı ile Schmidt çekici arasındaki ilişki (Sheorey, 1984).....	15
Şekil 2.8 : Kazı hızının koni delici değeri ile değişimi (Stimpson ve Acott, 1983). 16	
Şekil 2.9 : Voest Alpine kollu makinelerinde kazı hızının Cerchar sertliği ile değişimi (Coder, 1973).....	17
Şekil 2.10 : Cerchar aşındırıcılık indeksi ile kuvars miktarının değişimi (West, 1986).....	17
Şekil 2.11 : Cerchar aşınma indeksi ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki (Nizamoğlu, . 1978; Johnson, 1986).	18
Şekil 2.12 : (a) tek diskli keski, (b) çok sıralı disk keski (Maidle ve diğ., 2008).....	18
Şekil 2.13 : Disk keskilerde ring profili; (A) V-tip, (B) CCS tip (Maidle, B., ve diğ., 2008).....	19
Şekil 2.14 : Disk keskilerin tasarım parametreleri (Bilgin, 1989).	19
Şekil 2.15 : Disk ilerleme geometrisi (Roxborough ve Phillips, 1975).....	20
Şekil 2.16 : Disk keski altındaki kırılma zonu (Özdemir ve diğ, 1978).	21
Şekil 2.17 : Disk keskiler ile kaya kesme ve keskiler arasında çip oluşumu (Özdemir ve diğ, 1978).....	21
Şekil 2.18 : Disk keskiye gelen kuvvetlerin şematik gösterimi (Özdemir ve diğ, 1978).....	22
Şekil 2.19 : Disk açısına bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) Spesifik enerji değişimi (Bilgin, 1977).	30
Şekil 2.20 : Disk çapına bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) Spesifik enerji değişimi (Bilgin, 1977).	30
Şekil 2.21 : Kesme derinliğine bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) Spesifik enerji değişimi (Bilgin, 1977).	31
Şekil 2.22 : Disk çapına bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) spesifik enerji ve verim değişimi (Roxborough ve Phillips, 1975).	32

Şekil 2.23: Kesme derinliğine bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) spesifik enerji ve verim değişimi (Roxborough ve Phillips, 1975).	33
Şekil 2.24: Uç açısına bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) spesifik enerji ve verim değişimi (Roxborough ve Phillips, 1975).....	33
Şekil 2.25: Kesme hızına bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) spesifik enerji ve verim değişimi (Roxborough ve Phillips, 1975).	34
Şekil 2.26: Keskiler arası mesafenin kuvvet üzerine etkisi (Roxborough ve Phillips, 1975).....	34
Şekil 2.27: Keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji değişimi (Roxborough, F.,F., Phillips, H.,R., 1975).	35
Şekil 2.28: Kesme profili sonucu spesifik enerjinin değişimi (Feridunoğlu, 2009)..	36
Şekil 2.29: Yardımsız kesme deneyleri sonunda laboratuvar normal kuvveti ile kesme derinliği arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).	37
Şekil 2.30: Yardımsız kesme deneyleri sonunda laboratuvar yuvarlama kuvveti ile kesme derinliği arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).	38
Şekil 2.31: Yardımsız kesme deneyleri sonunda spesifik enerji ile kesme derinliği arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).	38
Şekil 2.32: Yardımlı kesme deneyleri sonunda laboratuvar normal kuvveti ile kesme derinliği arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).	39
Şekil 2.33 : Yardımlı kesme deneyleri sonunda laboratuvar yuvarlama kuvveti ile kesme derinliği arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).	39
Şekil 2.34 : Yardımlı kesme deneyleri sonunda spesifik enerji ile kesmeler arası mesafe kesme derinliği oranı arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).	40
Şekil 2.35 : Kesme derinliği teorik normal kuvvet arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).....	41
Şekil 2.36 : Kesme derinliği teorik normal kuvvet arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).....	41
Şekil 2.37 : Düzeltilmiş teorik normal kuvvet deneysel normal kuvvet arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).	42
Şekil 2.38 : Düzeltilmiş teorik yuvarlama kuvveti deneysel yuvarlama kuvveti arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).....	42
Şekil 2.39 : Disk keskinde aşırı söküm şematik gösterimi (Roxborough, 1988). ...	45
Şekil 2.40 : Disk keskinin kazı hattından çoklu geçişi sonucu toplam kesme derinliği ile itme kuvveti arasındaki ilişki (Roxborough, 2004).	47
Şekil 2.41 : Disk keskinin kazı hattından çoklu geçişi sonucu toplam kesme derinliği ile yuvarlanma kuvveti arasındaki ilişki (Roxborough, 2004).	48
Şekil 2.42 : Aşırı sökümlü kazılarda kesmeler arası mesafe ile spesifik enerji arasındaki değişim (Roxborough, 2004).	48
Şekil 2.43 : Disk keskinin kazı hattından çoklu geçişi sonucu toplam kesme derinliği ile kesme faktörü arasındaki ilişki (Roxborough, 2004).	49
Şekil 2.44 : Serbest dönen ve sıkışan disk keskinler üzerine etki eden kuvvetlerin gösterimi (Roxborough, 2004).....	50
Şekil 2.45 : Kesme derinliğine bağlı olarak serbest dönen ve sıkışan disk keski üzerine gelen itme kuvvetinin (a) ve yuvarlanma kuvvetinin (b) değişimi (Roxborough, 2004).	51
Şekil 2.46 : Serbest dönen ve sıkışan disk keskinler için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerjinin değişimi (Roxborough, 2004).	51
Şekil 3.1 : İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekanizasyonu ve Teknolojileri Laboratuvarında bulunan küçük boyutlu kazı deney seti.	57

Şekil 3.2 : Küçük boyutlu kazı deney seti spesifik enerji değeri (SE1) ve tam boyutlu kazı deney seti spesifik enerji değeri (SE3) arasındaki ilişki (Balcı ve Bilgin, 2007).	59
Şekil 3.3 : Taşınabilir doğrusal kazı seti.....	60
Şekil 3.4 : Taşınabilir doğrusal kaya kesme setinin genel görünümü	61
Şekil 3.5 : Kesimler arası mesafenin ayarlama aparatının görünümü.	62
Şekil 3.6 : Kesme derinliği ayarlama aparatının görünümü	62
Şekil 3.7 : Kama ve konik disklerin görünüşü.....	63
Şekil 3.8 : Mini disklerin (CCS ve V-Tipi) görünüşü.	63
Şekil 3.9 : Kuvvet ölçer (Dinamometre) iç yapısının görünümü	64
Şekil 3.10 : Kesme kuvvetlerinin kesme hattı boyunca değişimi.....	65
Şekil 3.11 : Dinamometrenin genel görünüşü ve test cihazına montajı	65
Şekil 3.12 : Gerilimölçerlerin ve uygulama kitinin görünümü.....	67
Şekil 3.13 : Dinamometrenin genel görünümü.....	68
Şekil 3.14 : Disk keskiye etki eden kuvvetlerin genel gösterimi (Bilgin ve diğ, 2014).	68
Şekil 3.15 : ESAM traveller 1 veri toplama sistemi.	69
Şekil 3.16 : Kalibrasyon çalışmalarında kullanılan hidrolik krik o	70
Şekil 3.17 : Mini Disk (CCS ve V-Tipi) keskinin kalibrasyon görünüşü.....	71
Şekil 3.18 : Mini Disk (CCS ve V-Tipi) keskinin kalibrasyon sonuçları.....	71
Şekil 4.1 : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı güzergahı ve jeolojik kesiti.	73
Şekil 4.2 : Kesici kafanın istasyon girişindeki görünümü.	74
Şekil 4.3 : Çarşı – Libadiye arası (S6 şaftı) kazı hattından alınan kireçtaşı örnekleri.	74
Şekil 4.4 : İTÜ Kaya Mekaniği Laboratuvarında bulunan stiff machine test cihazı.	76
Şekil 4.5 : Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı değerlerinin tayini için kullanılan hidrolik pres.....	77
Şekil 4.6 : Nokta yük dayanımı aleti.	78
Şekil 4.7 : Akustik P ve S dalga hızları tayini PUNDIT deney aleti.	79
Şekil 4.8 : Schmidt çekici deney aleti.....	81
Şekil 4.9 : C-2 tipi Shore scleroscope deney aleti	81
Şekil 4.10 : Cerchar aşındırıcılık deney aleti.....	82
Şekil 4.11 : Küfeki kireçtaşı numunesi polarizan mikroskop görüntüsü. Çift nikol (yukarıda) görüntüsündeki siyah kesimler kayada gözlenen boşluklardır (b). fs: fosil, mk: mikritik kalsit, lm: limonit.	85
Şekil 4.12 : Traverten örneğinin çift nikol (yukarıda) ve tek nikol (aşağıda) görüntüleri. Kayaç yüksek oranda boşluk (b) içerir. mk+spk: mikritik kalsit+sparitik kalsit, k: kristalin kalsit.	87
Şekil 4.13 : Kireçtaşı örneğinin çift nikol (yukarıda) ve tek nikol (aşağıda) mikroskop görüntüleri. q: kuvars, mk: mikritik kalsit.	89
Şekil 4.14 : Kumtaşı örneğinin polarize ışık (yukarıda) ve beyaz ışık (aşağıda) görüntüleri. k: kalsit, plj: plajiolaz.	91
Şekil 4.15 : Bej mermer örneğinin çift ve tek nikol görüntüleri. Kalsitler mikro çatlaklarda ikincil kristalize oluşumlar sergiler. fs: fasit kalıntıları, mk:mikritik kalsit, k: iri kristalize kalsit.	93
Şekil 4.16 : Konglomera örneğinin polarize ışık (yukarıda) ve beyaz ışık (aşağıda) altındaki görüntüsü.	95

Şekil 4.17 : Diyabaz örneğinin polarizan mikroskop altında çift nikol (yukarıda) ve tek nikol (aşağıda) görüntüleri. plj: plaioklaz, hrb: hornblend. Kayaç etkili şekilde ayrışma ile karbonatlaşmış ve killeşmiştir.	97
Şekil 4.18 : Altere kireçtaşı örneğinin polarizan mikroskop altında çift nikol (yukarıda) ve tek nikol (aşağıda) görüntüleri. k: kalsit, mk: mikritik kalsit, lm: limonit. Kayaç ikincil kalsit dolgulu mikro çatlaklar içerir. ..	99
Şekil 4.19 : Çamurtaşı örneğinin polarize ışık (yukarıda) ve beyaz ışık (aşağıda) altında mikroskop görüntüleri. q: kuvars, k: kalsit, fld: feldspat	101
Şekil 4.20 : Çamurtaşı örneğinin polarize ışık (yukarıda) ve beyaz ışık (aşağıda) altında mikroskop görüntüleri. Matriks, demir oksit/hidroksit, karbonat ve karbon çimentolu ince taneli kuvars + feldspat + kil+ mikadan oluşur. q: kuvars, k: kalsit.	103
Şekil 4.21 : İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekanizasyonu ve Teknolojileri Laboratuvarında bulunan tam boyutlu doğrusal kazı deney seti.	105
Şekil 4.22 : Tam boyutlu kazı deney setinin şematik görünümü (Tumaç, 2010). ...	106
Şekil 4.23 : Kesme deneyi sonucunda ölçülen kuvvetler.	107
Şekil 4.24 : LCM kaya kesme deneylerinde kullanılan 432 mm çaplı CCS tip disk eski.....	109
Şekil 4.25 : LCM kaya kesme deneylerinde kullanılan blok numunelerin doğaltaş atölyesine taşınması.	110
Şekil 4.26 : LCM kaya kesme deneylerinde kullanılan blok numunelerin yerleştirildiği numune kutusunun boşaltılması.....	110
Şekil 4.28 : Etrafı betonlanarak sabitlenmiş blok numune.	111
Şekil 4.29 : Bej mermer numunesi üzerinde $s = 60$ mm, $d = 3$ mm şartlarında yardımsız yapılan kazı deney sonrası görüntüsü.	113
Şekil 4.30 : Bej mermer numunesi üzerinde $s = 60$ mm, $d = 1.5$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.	113
Şekil 4.31 : Bej mermer numunesi üzerinde $s = 30$ mm, $d = 2$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.	114
Şekil 4.32 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.....	115
Şekil 4.33 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.....	116
Şekil 4.34 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı ($s = 60$ mm) kesme için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi..	116
Şekil 4.35 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı ($s = 60$ mm) kesme için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.....	117
Şekil 4.36 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı ($s = 60$ mm) kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.	117
Şekil 4.37 : Bej mermer numunesi üzerinde kesme derinliği sabit tutularak ($d = 2$ mm) keski arası mesafenin değiştirildiği yardımcı kesme için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	118
Şekil 4.38 : Bej mermer numunesi üzerinde kesme derinliği sabit tutularak ($d = 2$ mm) keski arası mesafenin değiştirildiği yardımcı kesme için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.	118

Şekil 4.39 :	Traverten numunesi üzerinde $s = 80$ mm, $d = 9$ mm şartlarında yardımsız yapılan kazı deneyi öncesi görüntüsü.....	119
Şekil 4.40 :	Traverten numunesi üzerinde $s = 80$ mm, $d = 7$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.	120
Şekil 4.41 :	Traverten numunesi üzerinde $s = 60$ mm, $d = 5$ mm şartlarında yardımcı . yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.	120
Şekil 4.42 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.....	122
Şekil 4.43 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.....	122
Şekil 4.44 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keski mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.....	123
Şekil 4.45 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keski mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki. ...	123
Şekil 4.46 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.....	124
Şekil 4.47 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde $s = 80$ mm, $d = 5$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.....	125
Şekil 4.48 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde $d = 7$ mm şartlarında yardımsız yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.	125
Şekil 4.49 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.....	127
Şekil 4.50 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.....	127
Şekil 4.51 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keski mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	128
Şekil 4.52 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keski mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.	128
Şekil 4.53 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.....	129
Şekil 4.54 :	Kireçtaşı numunesi üzerinde $d = 3$ mm şartlarında yardımsız yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.	130
Şekil 4.55 :	Kireçtaşı numunesi üzerinde $s = 60$ mm, $d = 7$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.	130
Şekil 4.56 :	Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.....	132
Şekil 4.57 :	Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.....	132
Şekil 4.58 :	Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keski mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.....	133
Şekil 4.59 :	Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keski mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki. ...	133
Şekil 4.60 :	Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.	134
Şekil 4.61 :	Kumtaşı numunesi üzerinde $d = 5$ mm şartlarında yardımsız yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.....	135
Şekil 4.62 :	Kireçtaşı numunesi üzerinde $s = 60$ mm, $d = 3$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.	135

Şekil 4.63	: Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.....	137
Şekil 4.64	: Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.....	137
Şekil 4.65	: Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için kesmeler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	138
Şekil 4.66	: Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için kesmeler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.....	138
Şekil 4.67	: Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.....	139
Şekil 4.68	: İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekanizasyonu ve Teknolojileri Laboratuvarında yeni geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney seti.	139
Şekil 4.69 (a)	: PLCM deneylerinde kullanılan mini disk kesmeler.	140
Şekil 4.69 (b)	: PLCM deneylerinde kullanılan mini disk kesmelerin şematik görünümü.	141
Şekil 4.70	: PLCM deneylerinde kullanılmak üzere araziden temin edilen blok numuneler.....	142
Şekil 4.71	: Numune hazırlama işlemlerinde kullanılan kaya kesme düzeneği.	143
Şekil 4.72	: Düzensiz blok numunelerden elde edilen şekilli PLCM numuneleri.	143
Şekil 4.73	: Metal numune kutusu içerisine yerleştirilmiş PLCM numuneleri.	144
Şekil 4.74	: Bej mermer numunesi üzerinde $d = 1$ mm şartlarında yardımsız yapılan PLCM kazı deney öncesi görüntüsü.	145
Şekil 4.75	: Bej mermer numunesi üzerinde $d = 5$ mm şartlarında yardımsız yapılan PLCM kazı deney sonrası görüntüsü.....	146
Şekil 4.76	: Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi....	147
Şekil 4.77	: Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	148
Şekil 4.78	: Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	148
Şekil 4.79	: Bej mermer numunesi üzerinde $d = 5$ mm, $s = 20$ mm şartlarında yardımcı yapılan PLCM kazı deney öncesi görüntüsü.	149
Şekil 4.80	: Bej mermer numunesi üzerinde $d = 1$ mm, $s = 20$ mm şartlarında yardımcı yapılan PLCM kazı deney sonrası görüntüsü.	150
Şekil 4.81	: Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesmeler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	151
Şekil 4.82	: Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesmeler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.....	151
Şekil 4.83	: Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesmeler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	152

Şekil 4.84	: Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	152
Şekil 4.85	: Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	153
Şekil 4.86	: Traverten numunesi üzerinde $d = 5$ mm şartlarında yardımcı PLCM kazı deney öncesi görüntüsü.	154
Şekil 4.87	: Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	155
Şekil 4.88	: Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	156
Şekil 4.89	: Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	156
Şekil 4.90	: Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	158
Şekil 4.91	: Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	158
Şekil 4.92	: Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	159
Şekil 4.93	: Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	159
Şekil 4.94	: Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	160
Şekil 4.95	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde $d = 5$ mm şartlarında yardımcı PLCM kazı deney sonrası görüntüsü.	161
Şekil 4.96	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	162
Şekil 4.97	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	163
Şekil 4.98	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	163
Şekil 4.99	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	165
Şekil 4.100	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	165
Şekil 4.101	: Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	166

Şekil 4.102 : Kűfekı kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	166
Şekil 4.103 : Kűfekı kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	167
Şekil 4.104 : Kireçtaşı numunesi üzerinde $d = 3$ mm şartlarında yardımcı PLCM kazı deney öncesi görüntüsü.	168
Şekil 4.105 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	169
Şekil 4.106 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	170
Şekil 4.107 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	170
Şekil 4.108 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	172
Şekil 4.109 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	172
Şekil 4.110 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	173
Şekil 4.111 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	173
Şekil 4.112 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	174
Şekil 4.113 : Kumtaşı numunesi üzerinde $d = 3$ mm şartlarında yardımcı PLCM kazı deney sonrası görüntüsü.	175
Şekil 4.114 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	176
Şekil 4.115 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	177
Şekil 4.116 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	177
Şekil 4.117 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	179
Şekil 4.118 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	179
Şekil 4.119 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	180

Şekil 4.120 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	180
Şekil 4.121 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.....	181
Şekil 4.122 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	184
Şekil 4.123 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	184
Şekil 4.124 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	185
Şekil 4.125 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	186
Şekil 4.126 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	187
Şekil 4.127 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.....	187
Şekil 4.128 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	188
Şekil 4.129 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	188
Şekil 4.130 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	190
Şekil 4.131 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	190
Şekil 4.132 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	191
Şekil 4.133 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	192
Şekil 4.134 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	193
Şekil 4.135 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.....	193
Şekil 4.136 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	194

Şekil 4.137 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	194
Şekil 4.138 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	196
Şekil 4.139 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	196
Şekil 4.140 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	197
Şekil 4.141 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	198
Şekil 4.142 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	199
Şekil 4.143 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	199
Şekil 4.144 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	200
Şekil 4.145 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	200
Şekil 4.146 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	202
Şekil 4.147 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	202
Şekil 4.148 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	203
Şekil 4.149 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	204
Şekil 4.150 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	205
Şekil 4.151 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	205
Şekil 4.152 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	206
Şekil 4.153 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	206

Şekil 4.154 :	Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.	208
Şekil 4.155 :	Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	208
Şekil 4.156 :	Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	209
Şekil 4.157 :	Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	210
Şekil 4.158 :	Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	211
Şekil 4.159 :	Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	211
Şekil 4.160 :	Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	212
Şekil 4.161 :	Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	212
Şekil 5.1 :	Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	218
Şekil 5.2 :	Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	219
Şekil 5.3 :	Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	219
Şekil 5.4 :	Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	220
Şekil 5.5 :	Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	221
Şekil 5.6 :	Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	221
Şekil 5.7 :	Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	222
Şekil 5.8 :	Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	223
Şekil 5.9 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	224

Şekil 5.10 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	225
Şekil 5.11 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	225
Şekil 5.12 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	226
Şekil 5.13 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	227
Şekil 5.14 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	227
Şekil 5.15 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	228
Şekil 5.16 :	Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	229
Şekil 5.17 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	230
Şekil 5.18 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	231
Şekil 5.19 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	231
Şekil 5.20 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	232
Şekil 5.21 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	233
Şekil 5.22 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	233
Şekil 5.23 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	234
Şekil 5.24 :	Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki. ...	235
Şekil 5.25 :	Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	236
Şekil 5.26 :	Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.	237

Şekil 5.27 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.....	237
Şekil 5.28 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.....	238
Şekil 5.29 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.....	239
Şekil 5.30 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.....	239
Şekil 5.31 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.....	240
Şekil 5.32 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.....	241
Şekil 5.33 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişki.....	242
Şekil 5.34 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.....	243
Şekil 5.35 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.....	243
Şekil 5.36 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.....	244
Şekil 5.37 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.....	245
Şekil 5.38 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.....	245
Şekil 5.39 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile kesimler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.....	246
Şekil 5.40 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesimler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile kesimler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.....	247
Şekil 5.41 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki. .	250
Şekil 5.42 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden elde edilen normal kuvvet değerleri arasındaki ilişki.	250
Şekil 5.43 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden elde edilen yuvarlanma kuvveti değerleri arasındaki ilişki.....	251
Şekil 5.44 : Yardımlı LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden optimum s/d oranında elde edilen spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki.....	251

Şekil 5.45 :	Yardımlı LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden optimum s/d oranında elde edilen normal kuvvet değerleri arasındaki ilişki.	252
Şekil 5.46 :	Yardımlı LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden optimum s/d oranında elde edilen yuvarlanma kuvveti değerleri arasındaki ilişki..	252
Şekil 5.47 :	5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	255
Şekil 5.48 :	5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile keski üzerine etki eden normal kuvvet arasındaki ilişki.	256
Şekil 5.49 :	5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	256
Şekil 5.50 :	Optimum s/d şartlarında yardımlı kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	258
Şekil 5.51 :	Optimum s/d şartlarında yardımlı kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile keski üzerine etki eden normal kuvvet arasındaki ilişki.	258
Şekil 5.52 :	Optimum s/d şartlarında yardımlı kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvveti arasındaki ilişki.	259
Şekil 5.53 :	5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	260
Şekil 5.54 :	5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile keski üzerine etki eden normal kuvvet arasındaki ilişki.	261
Şekil 5.55 :	5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.	261
Şekil 4.56 :	Optimum s/d şartlarında yardımlı kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	262
Şekil 5.57 :	Optimum s/d şartlarında yardımlı kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile keski üzerine etki eden normal kuvvet arasındaki ilişki.	263
Şekil 5.58 :	Optimum s/d şartlarında yardımlı kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvveti arasındaki ilişki.	263
Şekil 5.59 :	5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre UCS x BTS değeri ile spesifik enerji arasındaki ilişki.	265
Şekil 5.60 :	5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre UCS x BTS değeri ile keski üzerine etki eden normal kuvvet değerleri arasındaki ilişki.	265
Şekil 5.61 :	5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre UCS x BTS değeri ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvveti arasındaki ilişki.	266
Şekil 5.62 :	Bej mermer numunesi CCS tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.	270
Şekil 5.63 :	Bej mermer numunesi V tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.	270
Şekil 5.64 :	Kireçtaşı numunesi CCS tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.	272

Şekil 5.65 : Kireçtaşı numunesi V tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	272
Şekil 5.66 : Kumtaşı numunesi CCS tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	274
Şekil 5.67 : Kumtaşı numunesi V tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	274
Şekil 5.68 : Küfeki kireçtaşı numunesi CCS tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	276
Şekil 5.69 : Küfeki kireçtaşı numunesi V tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	276
Şekil 5.70 : Traverten numunesi CCS tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	278
Şekil 5.71 : Traverten numunesi V tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	278
Şekil 5.72 : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı güzergahı ve numune alınan istasyonlar.....	279
Şekil 5.73 : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tüneli kazısında kullanılan TBM.....	280
Şekil 5.74 : LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak elde edilen TBM itme kuvveti değerleri arasındaki ilişki.....	291
Şekil 5.75 : LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak elde edilen TBM kesici kafa tork değerleri arasındaki ilişki.....	291
Şekil 5.76 : LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak elde edilen TBM kesici kafa güç gereksinimi değerleri arasındaki ilişki.....	292
Şekil 5.77 : LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak elde edilen TBM net kazı miktarı değerleri arasındaki ilişki.....	292

TAŞINABİLİR DOĞRUSAL KAZI DENEY SETİ KULLANILARAK TBM PERFORMANS TAHMİN MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Kayaç kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılan ve gerçeğe yakın sonuçlar veren tam boyutlu kazı deney seti (LCM) yerine daha pratik ve hızlı sonuçlar elde edilebilecek yeni bir deney setinin geliştirilmesi ve bu deney seti kullanılarak TBM performans tahmin modeli geliştirilmesi bu doktora tezinin amacını oluşturmaktadır. Mekanize kazı yöntemlerinin kullanım alanlarının göz önüne alınması yeni deney setinin geliştirilmesinin ne kadar önemli olduğunun anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

Dünyada ve ülkemizde madencilik ve inşaat alanlarında mekanize kazıcıların kullanımı artarak devam etmektedir. Klasik kazı işlemlerinin yapıldığı projelere oranla mekanize kazı işleminin yapıldığı projelerde çalışmalar daha ekonomik olarak yapılsa da, özellikle ilk yatırım maliyeti mekanize kazı projelerinde çok daha fazladır. Bu nedenle bu projelerde; özellikle mekanize kazıcı ve uygun keski seçimi, kesici kafa dizaynı ve kazı performans tahmini gibi parametrelerin proje başlamadan önce doğru şekilde yapılması çok önemlidir. Proje başlamadan önce yapılacak doğru seçimler ve tahminler proje maliyeti açısından büyük önem taşımaktadır. Tüm bu önemli parametrelerin doğru belirlenmesinde en doğru sonuçlar ise öncelikle kayaç kazılabilirlik özelliklerinin doğru şekilde tanımlanmasıyla mümkün olmaktadır.

Kayaç kazılabilirliğinin en gerçekçi tahmini, laboratuvar kesme deneyleri ile yapılabilmektedir ve günümüzde uluslararası alanda kabul görmüş kesme deney setleri; tam boyutlu doğrusal (LCM) ve küçük boyutlu doğrusal kazı setleridir (SLCM). Bu deney setleri dünyada sadece birkaç laboratuvarında bulunmaktadır. Bu laboratuvarlardan birisi de İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Teknolojileri Laboratuvarıdır. Bu laboratuvarında hem büyük boyutlu hem de küçük boyutlu kazı deney setleri kullanılarak birçok proje yapılmış ve bu esnada her iki deney setinin de eksiklikleri ve dezavantajları gözlemlenmiştir. Bu deney setlerinin başlıca dezavantajları; öncelikle her iki deney setinin kullanımında tecrübeli insan gücüne ihtiyaç olmasıdır. Bununla birlikte büyük boyutlu doğrusal kesme deneylerinde büyük blok numuneler gerekmekte ve bu bakımdan büyük blok numunelerin elde edilmesi ve laboratuvar ortamına taşınması bir hayli güç olmaktadır. Küçük boyutlu kesme deneylerinde ise kesme deneyleri blok numuneler dışında karot numuneler üzerinde yapılabilmekte ve bu bir avantaj olarak görülebilmektedir. Küçük boyutlu kesme deneylerinde de sadece indeks kama uçlu keski kullanılabilmekte ve dolayısıyla bu deney yöntemi her mekanize kazıcı tasarımı veya performans tahmini için kullanılamamaktadır.

Her iki deney setinin bahsedilen bu dezavantajları göz önüne alınarak bu doktora tez çalışması sonucunda diğer deney setlerinde gözlemlenen dezavantajları minimize

edecek yeni bir taşınabilir doğrusal kaya kazı deney seti (PLCM) geliştirilmiştir. Bu deney seti geliştirilirken 5 farklı kayaç numunesi (kireçtaşı, bej mermer, küfeki kireçtaşı, traverten ve kumtaşı) üzerinde hem tam boyutlu kazı deney setinde (LCM) hem de yeni geliştirilen deney setinde (PLCM) kaya kesme deneyleri yapılmıştır. LCM kaya kesme deneylerinde 432 mm çaplı (432 mm çaplı) CCS tip disk keski kullanılarak 1 x 0.8 x 0.6 m boyutlarındaki her bir kayaç numunesi üzerinde en az üç farklı kesme derinliği ve belirlenen bir kesimler arası mesafe değerinde yardımsız ve yardımcı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Aynı kayaç numuneleri üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde ise 20 x 14 x 10 cm boyutlarında küçük blok numuneler üzerinde 1, 3 ve 5 mm kesme derinliği ve 20 mm kesimler arası mesafe değeri belirlenerek kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde sadece bej mermer numunesi üzerinde 3 farklı CCS ve 1 V tip olmak üzere 4 farklı 144 mm disk çapına sahip mini disk kesimler kullanılmış ancak diğer numuneler için 1 CCS ve 1 V tip olmak üzere 2 farklı mini disk keski kullanılmıştır.

Yapılan LCM ve PLCM deneylerinden sonra her iki kaya kesme deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda kayaç ve değişen keski özellikleri göz önüne alındığında her iki deney seti arasında bir ilişkinin var olduğu ortaya çıkmıştır. Kayaç özelliklerine bağlı olarak LCM ve PLCM deney setleri arasında geçiş sağlanabilmesi için de kayaçların tek eksenli ve dolaylı çekme dayanımları ile LCM ve PLCM deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

Daha sonra LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak belirlenen bir tünel açma makinesi (TBM) için TBM performans parametreleri (itme kuvveti, tork, kesici kafa gücü, net kazı miktarı) tahmin edilmiştir. LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak yapılan performans tahminleri karşılaştırılmış ve iki deney sonuçları arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bunun yanında PLCM deney sonuçları CCS tip ve V tip disk kesimler için geliştirilen teorik modellerden elde edilen sonuçlarla da karşılaştırılarak teorik ve laboratuvar sonuçları arasında anlamlı bir ilişki elde edilmiştir.

Sonraki aşamada Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı kazı çalışmaları sırasında tünelden küçük blok numuneler (kireçtaşı, çamurtaşı, konglomera, diyabaz ve altere kireçtaşı) alınmıştır. Alınan bu kayaçlardan öncelikle karot numuneler hazırlanarak fiziksel mekanik deneyler yapılmıştır. Daha sonra araziden alınan bu kayaçlardan küçük blok numuneler hazırlanarak PLCM kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak tünel kazısında kullanılan makinenin (TBM) performansı tahmin edilmiş ve elde edilen sonuçlar makinenin arazi verileriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda her bir kayaç numunesi için deneysel sonuçlardan TBM arazi sonuçlarına geçiş için model geliştirilmiştir.

Tüm bu çalışmalar sonucunda LCM kaya kesme deneyleri yerine, kullanımı daha pratik ve daha hızlı sonuçların elde edilebileceği yeni geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney setinin (PLCM) belirli düzeltme katsayılarıyla normalize edildikten sonra kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. PLCM deney setinden elde edilen sonuçlar kullanılırken bu deney setinde kullanılan disk kesimlerin mini boyutlarda olmasından kaynaklı bir geçiş katsayısının belirlenmesi ve sonuçların bu katsayıyla normalize edilmesi gerekmektedir. Söz konusu geçiş katsayısı bu çalışma sonunda elde edilen verilerle ilerde PLCM deney seti kullanılarak yapılacak farklı kaya kesme deney sonuçları birleştirilerek belirlenmelidir.

DEVELOPMENT TBM PERFORMANCE PREDICTION MODEL BY USING PORTABLE LINEAR ROCK CUTTING MACHINE

SUMMARY

Many factors such as environmental and market conditions are forcing civil or mining companies to be more profitable and competitive. These companies aim to complete more projects in a short time or they want to increase productivity. One way of to do this is to use mechanized excavators. For these reasons the application of mechanical excavators for rock excavation in both civil construction and mining engineering fields has increased significantly in recent years.

Proper machine and cutter selection, cutter head design and performance prediction for mechanized excavators such as tunnel boring machines (TBM) or roadheaders are the most important parameters for a mechanized tunneling or mining project. The most used machine design parameters are cutter layouts, cutting power of the machine, torque and thrust. Besides, the performance prediction of machines can be done by predicting cutting parameters from physical and mechanical properties of rocks.

Full and small scale linear cutting tests are widely used for the prediction of excavation performance. In addition of these University of Trondheim model is widely used for the performance prediction of tunnel boring machines.

The small scale cutting test for rock was developed to cut core samples by a standard chisel tool for predicting performance of roadheaders. Small scale rock cutting machine (SLCM) tests have some advantages such that it doesn't require large block samples however this test method have lots of disadvantages. The basic disadvantage of this test method is using an index cutter instead of a real life cutter and disc cutters cannot be used in this method. In addition, the database is based only on the field performance of light and medium weight Dosco roadheaders used in coal mines in England.

The full-scale linear cutting machine (LCM) tests are widely used on large rock samples having size of (1 x 0.8 x 0.6 m) is cut in the laboratory with a real-life cutter. Orthogonal forces (rolling force, normal force, sideways force) acting on the cutter are measured with a data logger with different cutter spacing and depth of cut. Specific energy values are determined using rolling force values. The production rate of a mechanical miner is calculated based on the optimum specific energy or using a computer model/simulation requiring forces acting on the cutters. The basic disadvantage of the full-scale rock-cutting test is that it requires large blocks of rock samples, which are usually difficult, too expensive, or sometimes impossible to obtain.

However LCM and SLCM test methods have some disadvantages and for this reason a new portable linear cutting machine (PLCM) (prototype) was developed in Mining Engineering Department of Istanbul Technical University after evaluating disadvantages of LCM and SLCM test methods. After carrying out some researches by using PLCM, it was shown that PLCM could be used for the performance prediction of mechanical excavators. However, prototype portable linear cutting machine had some disadvantages such as the cutter spacing could not to be changed, mini CCS type disc cutters could not be used in this machine and it was not suitable for cutting tests on hard rock due to low power of the machine. For these reasons in this study a new portable linear rock cutting (PLCM[®]) machine was developed in the Mining Engineering Department of Istanbul Technical University and financially supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK-112M859).

This machine minimized disadvantages of other linear cutting tests and it was designed such as a mini full scale linear cutting machines. This new machine does not requires too much manpower or large blocks of rock samples and it can also be used for cutting small core samples or small block samples by a real-life mini scaled conical and disc cutters. In addition, PLCM tests are cheaper than LCM tests and the rock cutting tests results can be obtained in a short period of time.

The newly developed portable linear cutting machine has many advantages but the accuracy of PLCM test results should be checked. The PLCM test results can be checked by comparing to LCM test results and mechanical excavators' field data. In this study, these comparisons were performed and investigated to understand the usage of the new portable linear rock cutting machine for the performance prediction of mechanical excavators.

In the first part of this study relieved and unrelieved linear rock cutting tests are performed with the newly developed portable and the full scale linear cutting machines. For PLCM tests two mini disc cutters (one CCS and one V type disc) are used. Mini CCS and V type disc cutters have 144 mm (5.7 inch) disc diameters and they have 5 and 0.7 mm tip width respectively. For LCM tests one CCS type disc cutter having 432 mm $\varnothing$ (17 inch) disc diameter and 18 mm tip width is used. Five different rock samples (beige marble, sandstone, limestone, kufeki limestone and travertine) are selected for rock cutting tests (PLCM, LCM) and the cutting tests are performed on different cutting depths and cutter spacing values. Orthogonal forces (normal, rolling and side) acting on a disc cutter are measured and specific energy values were determined for PLCM and LCM tests and the relationships between cutting depth and cutter forces for unrelieved and relieved PLCM and LCM rock cutting tests and relationships between s/d ratio and cutter forces for relieved PLCM and LCM rock cutting tests were evaluated and then PLCM and LCM test results compared for each rock sample and a good relationship was obtained between LCM and PLCM test results. In order to develop a better model by using PLCM, the comparison of experimental and theoretical results should be extended with more rock samples.

In the second part of this study, theoretical cutting forces in cutting five different rock samples (beige marble, sandstone, limestone, kufeki limestone and travertine) with mini CCS and V-type disc cutters were calculated by using the theories defined by

Rostami and Ozdemir (1993) and Roxborough (1975), respectively. Then experimental PLCM tests results were compared with the theoretical models and these comparisons showed that the relationships between experimental and theoretical results were strong for normal and rolling forces.

Then TBM performance parameters were estimated for a selected tunnel boring machine using the LCM and PLCM test results respectively. The estimated performance parameters were compared for the LCM and PLCM test results and these comparisons showed that the relationships between the LCM and PLCM are strong for TBM thrust force, torque, power and instantaneous cutting rate (ICR).

In the next part of this study, five different rock samples were obtained from Uskudar – Umraniye – Cekmekoy subway tunnel project in Istanbul. First, physical and mechanical property tests performed on these rock samples. All experiments (uniaxial compressive and Brazilian tensile strength, P and S velocity test, Young modulus, Schmidt hammer, Shore scleroscope tests) done according to ISRM and ASTM methods. Then, relieved and unrelieved linear rock cutting tests are performed with PLCM. For PLCM tests, two mini disc cutters (one CCS and one V type disc) have 144 disc diameter are used. TBM performance parameters were estimated by using PLCM test results and estimated performance parameters compared to the TBM field data but the relationship between PLCM laboratory results and field data was not strong.

In conclusion, the results of the study indicate that PLCM test method can be used for the selection of proper mechanical excavator and prediction of its performance parameters. However PLCM test results should be used with a correction factor that can be determined based on rock physical and mechanical properties. In addition, in order to develop a better model for PLCM, the comparison of laboratory results and field data should be extended with more rock samples.

1. GİRİŞ

Mekanize kazının hızlı bir şekilde yayılıp gelişmesindeki en büyük faktör, dünyanın her geçen gün artan nüfusu, buna paralel olarak insanların ihtiyaç ve sorunlarının da artması olarak gösterilebilir. Çünkü galeri ve tünel açmada yaşanan son teknolojik gelişmeler sayesinde hem madencilik alanında hem de inşaat mühendisliği alanında çalışma hızı, ekonomiklik dolayısıyla da verimlilik mekanize kazı uygulanarak artmakta ve ihtiyaçlara cevap verilmeye çalışılmaktadır.

Mekanize kazı, kazı makineleri ile çeşitli keskiler yardımıyla kayacı mekanik olarak kesip parçalama esasına dayanan bir kazı yöntemidir. Ayrıca mekanize kazı, kazı işlemlerinin hızlı yapılarak yüksek üretim kapasitesini düşük maliyetlerle sağlamanın tek yoludur. Mekanize kazının gelişimi on dokuzuncu yüzyılın başlarında, malzeme bilimi alanındaki gelişmeler, özellikle yeni darbeli delicilerin ve kömür kazı makinelerinin yapılmasıyla başlamıştır. Mekanize kazının inşaat sektöründeki ilk modern gelişmesi ise; 1881 yılında, Albay Beaumont tarafından geliştirilen 2,14 m çapındaki tam cepheli bir tünel açma makinesi ile başlamıştır (Stack, 1995).

İnşaat alanında özellikle ulaştırma projelerinde mekanize kazı yöntemlerinin kullanıldığı alanların ne kadar gerekli olduğu ve bu kullanım alanlarının hızla geliştiği görülmektedir. Madencilik sektöründe de gerek üretim amaçlı olsun gerekse hazırlık aşamalarında olsun mekanize kazı yöntemlerinin ekonomik açıdan işletmeleri ne kadar rahatlattığı bilinmektedir. Nitekim bu yöntemin klasik delme patlatma yöntemine göre daha avantajlı olduğunu gösterir çalışmalar mevcuttur (Pakes, 1991; Eskikaya, 1981).

Mekanize kazıcıların kullanıldığı proje sayısı ve uygulama alanı ülkemizde ve dünyada hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak ülkemizde hali hazırda devam eden bazı projeler sayılabilir. Bu projeler; dünyanın en uzun 2. çift tüplü tüneli olacak olan 14 bin 700 metre uzunluğundaki Ovit Tüneli, İzmir ile Manisa'yı birbirine bağlayan en kestirme güzergâh olan Sabuncubeli Geçidi'nde yapılan Sabuncubeli Tüneli, 99 milyon 928 bin TL proje bedelli, 5 bin 223 metre

uzunluğu ile Cankurtaran tüneli, Erzurum – Bayburt karayolu g zerg hında yapımı devam eden Kop dağı tüneli, Ilgaz tüneli ve Samanlı tünelleri olup bu tüneller karayolu ulaşım amaçlı açılan t nellerdir (Url – 1). Bu tünellere ek olarak, devam eden metro tünelleri de mevcuttur. Örneğin, İstanbul’ da devam eden Kartal – Kaynarca ve Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı inşaat çalışmaları mevcuttur. Devam eden bu projelerden Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı çalışması yapılacak doktora tezinin arazi çalışmaları kısmını oluşturmuş ve bu kapsamda bu proje sahasından numune ve TBM performans veri kayıtları düzenli şekilde alınmıştır.

Günümüzde her yıl madencilik ve inşaat sektörlerinde yüzlerce kilometre galeri/tünel mekanize yöntemler kullanılarak açılmaktadır ancak mekanize kazının yayılmasını sınırlayan önemli sorunlar vardır. Bunların arasında ilk yatırımın yüksek olması, sert kayalar da istenilen kazı hızına ulaşılamaması, çok aşındırıcı kayalar da keski giderlerinin kazı harcamaları içinde büyük bir yer tutması sayılabilir. Mekanize kazı yöntemini sınırlayıcı özellikteki parametrelerden birisi olan ilk yatırımın yüksek olması, mekanize kazı yönteminin daha hızlı ve projenin büyüklüğüne göre yöntemin belki de çok kısa sürede kendini amorti edebileceği düşünülebileceğinden veya proje uygulama sahasının delme patlatma yöntemine el verişli olmayışından dolayı göze alınabilir bir problem olarak sayılabilir.

Mekanize kazı yönteminin uygulanmasında sınırlayıcı olan diğer birçok problemin ise önceden yapılacak kapsamlı çalışmalar sayesinde, uygun kazı yönteminin ve kazıcı ekipmanın seçimiyle açılması mümkündür. Aksi takdirde, yani tünel açılacak formasyon özelliklerinin detaylı bir şekilde araştırılmadan makinenin kazılacak formasyonların özelliklerine göre seçilmeme durumunda, makinenin tünelden çıkarıldığı veya makine performansının çok düşük olmasından dolayı, yüklenici firma ile işveren arasında hukuki sorunların yařandđı durumlara rastlanmaktadır. Bu durumların sonucunda da büyük maddi zararlar yaşanabilmektedir. Örneğin kazı yapılacak formasyona uygun seçilmeyen ve dolayısıyla kazı işleminde kullanılamayan bir kazıcının yüklenici firmaya getireceği zarar milyon dolarlarla ifade edilebilmektedir. Bu nedenle kullanılacak makineyi seçmeden önce kayaların kazılabilirliğine etki eden etkenlerin araştırılması ve kazılacak formasyona en uygun kazıcı ekipmanın ve sistemin belirlenmesi çok önemlidir.

1.1 Tezin Amacı

Madencilik sektöründe genel olarak üretim ve hazırlık aşamalarında, inşaat sektöründe ise özellikle farklı amaçlar için açılan tünellerin kazısında kullanılan mekanize kazıcıların geliştirilmesi için teknolojinin kullanılması ne kadar önemli ise, bu ekipmanların uygulamada kullanılmasında karşılaşılabilecek sorunların önceden kestirilmesi ve uygun kazıcının seçilmesinde teknolojinin kullanılması da bir o kadar önemlidir. Çünkü yüksek bütçeli teknolojik çalışmalarla geliştirilen bu kazıcı ekipmanlar eğer kazılacak formasyona göre uygun olarak seçilmezse milyonlarca liralık zararlarla karşılaşılabilecektir. İşte tüm bu sorunların önüne geçilmesi için hem formasyon tanımlamasının iyi bir şekilde yapılması ve kayaçların kazılabilirlik özelliklerinin araştırılması hem de kullanılacak ekipmanın uygunluğunun belirlenmesi gerekmektedir.

Kayaçların kazılabilirliklerinin araştırılması amacıyla, Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM), tünel açma makinelerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterleri belirlemiş ve bu kriterler aşağıda verilen kayaç özellikleri olarak tarif edilmiştir (Bamford, 1987).

- Kayaçların dayanım özellikleri (Basınç, çekme ve kesme dayanımı)
- Kayaçların aşındırıcılık özellikleri (Cerchar ve Schimazek aşındırıcılık testleri)
- Kırılganlık ve dayanım özellikleri (Koni delici, darbe dayanımı, uç batırma ve Shore Scleroscope)
- Yerinde yapılan kazılabilirlik deneyleri
- Laboratuvar kesme deneyleri

ISRM tarafından önerilen yukarıdaki kriterlerden 1, 2 ve 3 nolu maddelerinde belirtilen kayaç özellikleri ile makine performansının tahmini için birçok model geliştirilmiştir. Söz konusu deneyler İTÜ Maden Mühendisliği bölüm laboratuvarı da dâhil olmak üzere birçok laboratuvar da yapılabilmekte fakat kayaç kazılabilirliğinin en gerçekçi tahmini yerinde yapılan ve laboratuvar kaya kesme deneyleri ile olmaktadır.

Laboratuvar kesme deneyleri sonucunda spesifik enerji değeri elde edilebilmekte ve performans tahmininde spesifik enerji değerinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir.

Birim hacimdeki malzemenin kazılmasında makinanın harcadığı enerji, spesifik enerji olarak tanımlanmaktadır (kWh/m^3). Kazıcı makinanın performans analizlerinde kullanılan spesifik enerji yardımıyla net kazı hızı (m^3/h) ve makinanın ilerleme hızı hesaplanabilmektedir.

Spesifik enerjinin hesaplanabilmesi için en çok kullanılan deney setleri, tam boyutlu doğrusal kazı seti (LCM) ve küçük boyutlu doğrusal kazı setidir (SLCM) ve bu deney setleri dünya genelinde sadece bir kaç laboratuvarında bulunmaktadır. Ayrıca bu deneylerin yapılabilmesi için tecrübeli insan gücüne ve özellikle gerçek keskinlerin kullanıldığı büyük boyutlu doğrusal kesme deneylerinde büyük blok numunelere ihtiyaç vardır. Büyük blok numunelerin elde edilmesi ve laboratuvar ortamına taşınmasının bir hayli güç olması, bu deneylerin yapılmasında bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Küçük boyutlu kesme deneylerinde ise kesme deneyleri blok numuneler dışında karot numuneler üzerinde yapılabilmekte ve bu bir avantaj olarak görülebilmektedir. Ancak küçük boyutlu kesme deneylerinde de sadece kama uçlu keskinler kullanılabilmekte ve dolayısıyla bu deney yöntemi her mekanize kazıcı tasarımı veya performans tahmini için kullanılamamaktadır.

Bu doktora tezinin ana amacı, her iki deney setinde gözlemlenen dezavantajları minimize edecek ve dünyada örneği bulunmayan yeni bir taşınabilir doğrusal kazı deney seti (PLCM) geliştirmesi ve bu deney seti kullanılarak yeni bir TBM performans tahmin modelinin geliştirilmesidir. Tez kapsamında geliştirilen deney sisteminde, tam boyutlu kesme deneyinin aksine, büyük bloklara ihtiyaç duymadan hem karot hem de küçük kayaç blokları üzerinde kesme deneyleri yapılabilmektedir. Küçük boyutlu kesme deney setinin aksine ise bu deney setinde imal ettirilen farklı mini keskinler ile (V ve CCS tip mini disk ve konik keskinler) kesme deneyleri yapılabilmektedir. Deney setinde kullanılan mini disk keskinlerin kazıcı ekipman üzerinde kullanılan gerçek keski malzeme özellikleri ile keskinlerin uç açısı, uç genişliği gibi tasarım parametreleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu bakımdan 144 mm disk çapında, farklı disk uç genişliği (1,3, 5 ve 6 mm) ve disk uç açısına (40° , 70°) sahip mini disk keskinler imal ettirilmiştir.

Geliştirilen bu deney setinde, yine kesici kafa tasarımı ve performans tahminlerinde optimum değerleri belirleyebilmek için önemli olan keskinler arası mesafe ve kesme

derinliği gibi parametrelerde kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Yani farklı kesme derinliğinde ve keskiler arası mesafe değiştirilerek numune üzerinde farklı deneyler yapılabilmekte ve optimum kazı şartları tayin edilebilmektedir.

Gerek mekanize kazıcıların seçimi ve kesici kafa tasarımında gerekse mekanize kazıcıların performans tahminlerinde daha rahat kullanılabilecek ve nispeten daha hızlı sonuçlar alınabilecek bu test cihazı geliştirilirken farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip kayaçlar üzerinde yaklaşık 450 kaya kesme deneyi yapılmıştır. Kaya kesme deneyleri tam boyutlu ve yeni geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney setleri kullanılarak yapılmıştır. Tam boyutlu kazı deney setinde yapılan kaya kesme deneylerinde 432 mm çaplı disk çapına sahip CCS tip disk keski ve yeni geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney setinde 144 mm disk çaplı bir adet V ve üç adet CCS tip olmak üzere toplam 4 mini disk keski kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Tam boyutlu doğrusal kazı deney seti dünya genelinde kabul görmüş ve deney esnasında gerçek keskiler kullanıldığı için en güvenilir veriler bu deney setinden elde edilip, mekanize kazı projelerinin tasarım ve performans tahmin aşamalarında kullanılmaktadır. Bu doğrultuda yeni geliştirilen kazı deney setinden elde edilen sonuçların doğruluğunun belirlenmesi amacıyla bu deney setinden elde edilen veriler farklı istatistiksel yöntemler kullanılarak tam boyutlu kazı deney setinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda değişen disk keski tasarım parametreleri göz önünde bulundurulunca her iki deney setinden elde edilen sonuçlar arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Yeni geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney setinden elde edilen sonuçların doğruluğunun belirlenmesi amacıyla bir sonraki aşamada, elde edilen deney sonuçları CCS ve V tip disk keskiler için geliştirilen teorik modellerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda CCS tip disk keskiler için Rostami ve Özdemir (1993) tarafından önerilen ve V tip disk keskiler için Bilgin (1977) ve bu teorinin Tumaç ve Balcı (2014) tarafından modifiye edilmiş hali kullanılmıştır.

Yine bu tez kapsamında Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı kazı çalışmaları sırasında farklı istasyon çıkışlarından kayaç numuneleri alınarak bu numuneler üzerinde de yeni geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney seti kullanılarak kaya

kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar projede kullanılan tünel açma makinesi arazi verileriyle karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Mekanize Kazı Yöntemlerinin Gelişimi

1818’ de Brunel’ in Thames nehrinin altından tünel açabilmek için geliştirdiği kalkan için aldığı patent ile mekanize kazının başladığı kabul edilebilir. Bu tünel açma işleminde kazı işlemi insan gücü kullanılarak yapılırken geliştirilen kalkanın ana amacı kazı yapılan kısımda (arında) ve gerisinde kalkan boyunca stabilitenin sağlanabilmesiydi. Kazı işlemini ise madenciler yapmaktaydı (Megaw ve Bartlett, 1981).

İskoçya’daki kömür ocaklarında kömürün diğer formasyonlara göre daha zayıf bir dayanıma sahip olması, aşındırıcı da olmamasından dolayı dökme demir kesici uç basınçlı hava ile birlikte 1850 yıllarında kazı işlemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu tarihten sonra kömür kesme makinelerinin gelişmesi ve uygulanması hızla artmış ve potkabaç makinesinin kullanıma başlanmasıyla birlikte İngiltere’de 1800 yılında 10 milyon ton / yıl kömür üretimi 1865 yılında yaklaşık 10 katına çıkmıştır. 1900’ den sonra elektrik enerjisinin yeraltına girişi ve malzeme alanındaki yeni gelişmelerle yeni darbeli deliciler ve kömür kazı makineleri üretilmiş ve bugünkü modern kazı makinelerinin tasarım temelleri atılmıştır (Shepherd ve Withers, 1960).

Alman kömür sabanlarının ilk olarak 1948’ de İngiltere’ ye girişi ve Anderson kesici yükleyicilerinin 1948’ de imali ile kazı mekaniğinde gelişim yeni bir aşamaya girmiş ve karşılaşılan büyük zorluklar İngiliz kömür idarelerine bağlı bir kazı mekaniği gurubunun kurulmasına sebep olmuştur. Bu gurup çalışmalarını bugüne kadar devam ettirmiş ve kazı mekaniği biliminin gelişmesine büyük katkı sağlamıştır. Ülkemizde mekanik kesme yapan kazı makinelerinin kullanımı ise ilk olarak 1970’li yıllarda GAP çerçevesindeki Urfa sulama tünellerinin açımı sırasında kullanılmış ve bugüne değin başta kömür madenciliği olmak üzere çeşitli sektörlerle uzanan yayılım göstermiştir (Hekimoğlu ve diğ., 1998).

Ülkemizdeki ilk saban, Almanya'nın Ereğli Kömür İşletmelerinde (EKİ) kullanılmak üzere hibe ettiği koparıcı sabandır. Zonguldak-Gelik Bölgesi'nde, taşkömürünün yapısal ve jeolojik özellikleri sebebiyle etkin olarak kullanılamayan koparıcı saban, 1983 yılında Orta Anadolu Linyitleri işletmesinde (OAL) kurularak verimli olarak kullanılmıştır. OAL' deki bu yarı-mekanize uzunayak deneyimi, 1986 yılında fiili olarak üretime başlayan tam mekanize ayaklar için bilgi birikimi sağlamıştır (Url – 2).

Tamburlu kesici makinalar ilk olarak tek tamburlu olarak üretilmiş fakat gelişen teknoloji ile çift tamburlu olarak üretilmeye başlanmıştır. Ayrıca motor güçlerinde de artışlar sağlanmış ve yüksek kazı kapasitelerine ulaşılmıştır. Günümüzde kullanılan tamburlu kesicilerin çalışma boyutları da büyümüştür. Bu makinaların imalatçıları, kömür üretiminde mekanize kazıyı en çok uygulayan olan Almanya, İngiltere, A.B.D. ve Avustralya gibi ülkelerdir (Altındağ ve Güney, 1994).

Ülkemizde L Tipi Tek Tamburlu Kesici - yükleyici Uygulaması Soma'da Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ) Müessesesi Eynez İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Eynez Yeraltı Ocağında, Şubat 1990'da mekanize pilot ayağında yapılmıştır. Bu yarı mekanize ayak 50 metre uzunluğundaydı. Doğrultu boyunca çalışan bu ayakta kazı aracı olarak tek tamburlu kesici-yükleyici çalışmıştır. Tek tamburlu L tipi kesici-yükleyiciyle kömür üretimine bir başka örnek Garp Linyitleri İşletmesine (GLİ) bağlı Tunçbilek Yeraltı Ocağıdır. Burada 340 metre uzunluğundaki bir panoda, geçilmesi düşünülen tam mekanize üretime bilgi birikimi sağlamak ve kömürün mekanizasyona uygunluğunu saptamak amacıyla, 30 metre uzunluğunda bir pilot mekanize ayak oluşturulmuştur (Url – 2).

İnşaat sektöründe ise, kaya ortamında tünel açmak için geliştirilen ilk makine 1881'de İngiltere Folkstone' da kullanılmıştır. Bu makine dönen 2 kolu ve bu kollar üzerine monte edilmiş tırnakları ile kayayı kazmaya çalışmıştır (Megaw ve Bartlett, 1981). Daha sonraları 2.14 metre çapında tam kazı cepheli bir makine kullanılarak Manş denizi altından Albay Beaumont' un pilot tünel açması yine inşaat sektöründe varsayılan ilk modern gelişmelerdendir (Robbins, 1976).

Amerika'da ilk tünel açma makinesi Hoosac Tünelinde kullanılmıştır. Bu makine daire şeklinde döner bir kesme kafasına sahipti ve kesimler konsantrik daireler çizerek kazı yapacak şekilde dizilmişlerdi. Tutunma mekanizması, itme (baskı) mekanizması ve

pasa uzaklaştırma düzenleri vardı. Herman Haupt isimli meşhur inşaat mühendisi, bu makine ile 3 metrelik bir ilerleme yapmayı başarmıştı (Friant ve Özdemir, 1994).

Serbest dönen kesikler ise ilk 1955 de Goodman Manufacturing Company tarafından imal edilmiş ve bu kesiklerle donatılan 3 adet tünel açma makinesi Oahe baraj tüneline başarı ile kullanılmıştır (Muirhead ve Glassop, 1968). James Robbins isimli mühendis 1956 yılında, kalem kesikler yerine döner disklerin kullanılma fikrini ortaya atmış ve Toronto' daki bir uygulamada günde 38 m' lik ilerleme gerçekleştirmiştir ve bu uygulama TBM' lerin orta sert ve yumuşak kayalarda ekonomik olarak kullanılabilceğini göstermiştir (Friant ve Özdemir, 1994). Daha sonra yapılan araştırmalar daha çok TBM' lerin daha sert ve aşındırıcı kayalarda kullanımının sağlanması üzerine olmuş ve böylece bu çalışmalar daha çok disk kesicilerin sert kayalardaki performansının fizik prensiplerini anlamak üzerine olmuştur (Url – 3).

Yumuşak arazideki tünel teknolojisi de, Times nehrini 1824 - 1840 yılları arasında geçtiği meşhur Brunei şildinden başlayarak, gelişim göstermiştir ve bu makine Arazi Basınç Dengeleme Makinesinin (EPB) ilk tipini teşkil etmektedir.

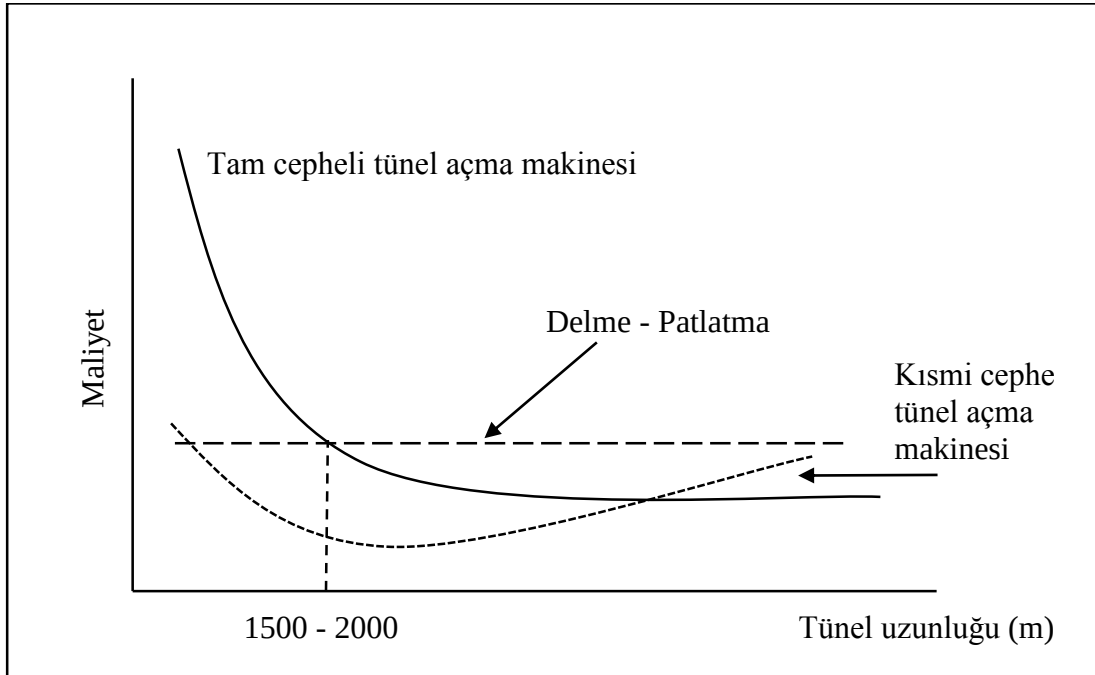
TBM' lerin madencilik sektöründe üretim amaçlı kullanımları sonraki yıllarda artış göstermiştir. Magma Copper Firması Sam Manuel maden ocağını genişletmek için 4.5 m çaplı bir Atlas Copco / Robins marka TBM' i kullanmış fakat açılması düşünülen galeri güzergahında çok uzun kurbalar olduğundan ve bazı yerlerde var olan fazla eğimlerden dolayı verimli bir kazı yapılamamıştır Bu sorunu gidermek için çalışma şartlarına uygun yeni bir makine tasarlanmış ve daha hızlı ve daha ekonomik bir üretim sağlanmıştır (Synnder, 1994).

Stillwater maden şirketinde Chevron Resources firması gabro, norit ve anorthosit içinde cevherleri içinde kazı işlemleri için TBM kullanılmışlardır. Cevher kazısında istenilen verim elde edilemese de hazırlık galerilerinin kazılmasında TBM kullanımı başarılı olmuştur (Tilley, 1989).

Petrol arama projelerinde de TBM kullanılan bazı projeler vardır şöyle ki Petro Tech Resources firması, petrol yatağı altındaki kayalar içindeki tünelleri açmak için TBM kullanmaya karar vermiştir. Bu tünellerden rezervuara drenaj delikleri delinerek üretim hedeflenmiştir (Özdemir, 1994).

Kazı işlemleri genel olarak klasik kazı (delme-patlatma) ve mekanize kazı olmak üzere ikiye ayrıldığından bu iki yöntem arasındaki farklar üzerine de yapılan çalışmalar olmuştur. Örneğin, Özdemir (1994) tarafından yapılan bir araştırma, delme - patlatma ile kazıda çok iri parça açığa çıktığından, yöntemin diğerlerine nazaran daha verimli olduğunu fakat ilerleme hızının sınırlı oluşu, titreşimlerin açığa çıkması, aşırı söküm yaparak tahkimat ve emniyet problemleri çıkarması bu yöntemin uygulanışını sınırladığını ortaya koymuştur.

Pakes (1991) yaptığı çalışma sonucunda, tüm işletme maliyetleri göz önüne alındığında açılan tünel uzunluğu arttıkça mekanik kazıcıların delme – patlatma yöntemine kıyasla daha verimli kazı yaptıkları, bu yüzden uzun ve sürekli tünel ya da galeri kazısında tercih edilir oldukları sonucuna varmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Tünel uzunluğuna göre mekanize kazı ile delme – patlatmanın karşılaştırılması (Pakes, 1991).

Mekanize kazı yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Yapılan bu çalışmalar farklı alanlarda, farklı parametreler üzerinde olmaktadır. Çalışma alanlarının farklılık göstermesi makine performansının bağlı olduğu parametrelerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Çizelge 2.1’ de kazı makinelerinin performansını etkileyen bu parametreler verilmiştir (Bilgin ve diğ., 2014).

Çizelge 2.1 : Kazı makinelerinin performansını etkileyen parametreler (Bilgin ve diğ., 2014).

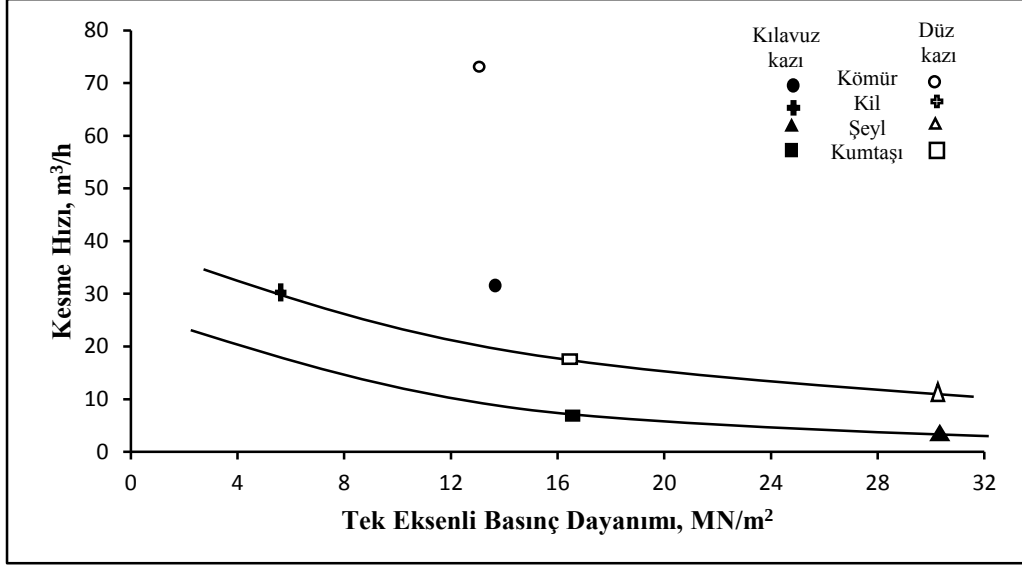
Makine Parametreleri	
	Makinenin tipi
	Makinenin ağırlığı ve boyutları
	İtme gücü ve tork kapasitesi
	Kesici kafa tipi
	Kesici kafa güç ve RPM
	Keski tipi ve boyutları, keski metalürjik özellikleri
Jeolojik – Jeoteknik Parametreler	
Kaya kütlesi özellikleri	Kaya kalite değeri (RQD)
	Tabakalanma, fay zonları
	Çatlak kümeleri (yönelim, dolgu, boşluk gibi)
	Hidrojeolojik durum
	Olumsuz jeoloji
Fiziksel ve mekanik özellikler	Kaya kesme parametreleri (spesifik enerji, kesme kuvvetleri)
	Dayanım özellikleri (basınç ve çekme dayanımı, kohezyon, elastik değeri)
	Kaya dokusu ve aşındırıcılık (porozite, sert mineral/kuars içeriği, mikro çatlaklar, tane boyutu)
	Diğerleri (kırılganlık, su içeriği gibi)
Operasyonel Parametreler	
Teknik parametreler	Açıklık şekli ve boyutları
	Eğim ve rekuplar
Madencilik Parametreleri	Tahkimat (çelik bağ, püskürtme beton gibi)
	Pasa nakliye (konveyör, vagon gibi)
	Yararlanma (güç, su, hava temini)
	Zemin iyileştirme
	Vardiya durumu

2.2 Fiziksel Mekanik Testler Yardımıyla Kazılabilirlik Tahmini

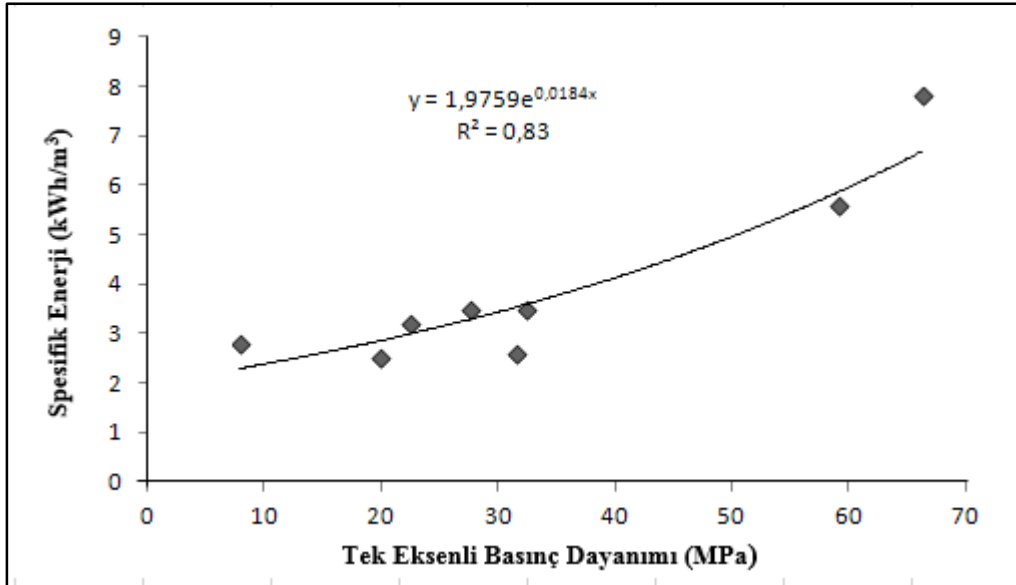
2.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Kayaçların kazılabilirliğinin yorumlanabilmesi için yaygın olarak kullanılan deney yöntemlerinden biri tek eksenli basınç dayanımı deneyidir. Bu deneyde, silindirik numunelerin preste kırılmasından elde edilen kayacın dayanım değeri temel alınarak kazılabilirliği hakkında fikir yürütülür. Bölükbaşı ve Çam (1981) tarafından yapılan çalışmada kesme hızı ve basınç dayanımı değerleri arasında Şekil 2.2’ de olduğu gibi bir ilişki bulunmuştur. Çomaklı (2010), yaptığı çalışmada birim hacim kayacı kazmak için harcanan enerji olarak tanımlanan spesifik enerji değeri ile tek eksenli basınç

dayanımı değeri arasında Şekil 2.3’ teki gibi bir ilişki elde etmiştir. Elde edilen bu grafiğe göre tek eksenli basınç dayanımı değeri arttıkça spesifik enerji değeri artmakta dolayısıyla kayacın kazılabilirliği zor olmaktadır.



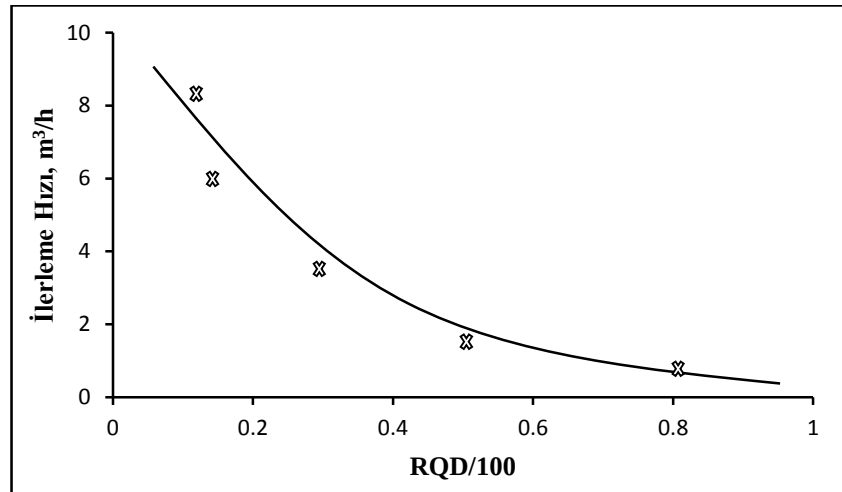
Şekil 2.2 : Basınç dayanımının kesme hızı üzerindeki etkisi (Bölükbaşı ve Çam, 1981).



Şekil 2.3 : Spesifik enerji ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki (Çomaklı, 2010).

Kayaçların basınç dayanımı değerleri ile kayacın kazılabilirliği arasındaki ilişkinin yüksek olduğunu gösterir birçok çalışma olsa da, kazılacak formasyonun jeolojik yapısına bağlı olarak (tektonizmaya uğramış, kırıklı çatlaklı yapılarda) basınç dayanımı ve kazılabilirlik arasındaki ilişki düşük olabilmektedir. Örneğin; İstanbul

Eyüp kanalizasyon tünelinin açımı esnasında şiltli kollu galeri açma makinesi kullanılmıştır. Bu tünel çalışması sırasında Bilgin ve diğ. (1988) kollu galeri açma makinesinin vardiya verileri ve arazinin jeolojik yapısını incelemişlerdir. Ayrıca laboratuvar ortamında küçük boyutlu kesme deneyleri ve tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre formasyonların basınç dayanımları ile net kazı hızları arasındaki ilişkinin istatistiksel güvenilirliğinin düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Tüm kazı arını boyunca tek bir basınç dayanımı değeri söz konusu olmayacağından, basınç dayanımı değerinin tek başına, net kazı hızının tespitinde kullanılmasının güvenilir olmadığını belirtmişlerdir. Belirli basınç dayanımındaki formasyonlar için RQD değerinin de kullanılması gerektiğini belirtmişler ve RQD değeri ile makina ilerleme hızı arasında Şekil 3.4’ te olduğu gibi bir ilişki elde etmişlerdir. Şekilde görüldüğü gibi, ilişki katsayısı oldukça yüksektir ve bu da jeolojik süreksizliklerin mekanik kazıda ne kadar önemli olduğunun bir göstergesi olmaktadır.

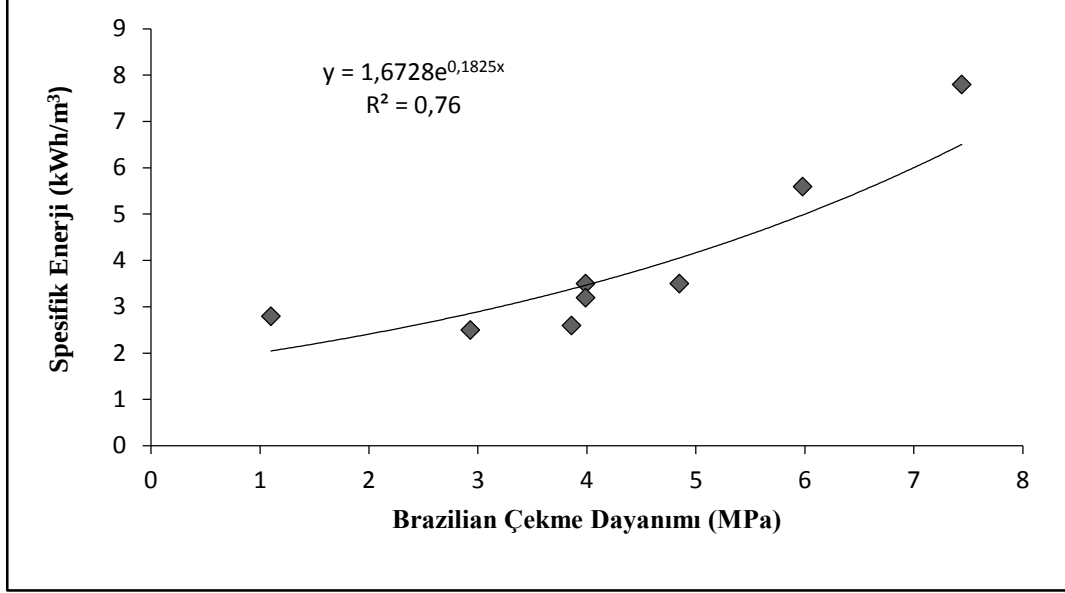


Şekil 2.4 : RQD ile makina ilerleme hızı arasındaki ilişki (Bilgin ve diğ., 1988).

2.2.2 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyi

Laboratuvar ortamında karot numuneler kullanılarak yapılan dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyleri yardımıyla kayaçların kazılabilirliği hakkında öngörude bulunmak mümkündür. Bu amaçla Bölükbaşı ve Çam (1981) tarafından kömür, kil, şeyl ve kumtaşı kazılabilirliği araştırılmış ve bu kayaçların çekme dayanımı değerleri ile kazı esnasında harcanacak kesme enerjisi arasında doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Bu çalışmaya benzer başka bir çalışmada metalik cevherlerin kazılabilirliği araştırılmış ve bu numuneler üzerinde kaya kesme deneyleri yapılmıştır (Çomaklı, 2010; Çomaklı ve

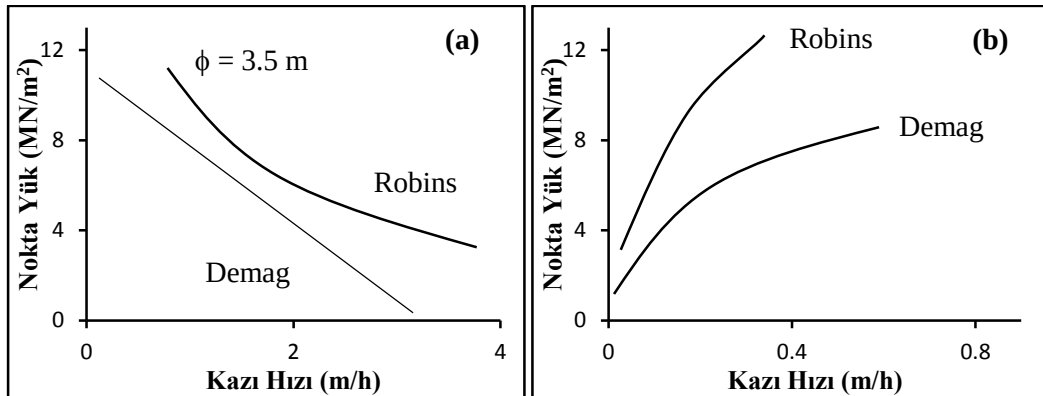
diğ., 2011). Çalışma sonucunda yapılan değerlendirmelerde kayaçların çekme dayanımı değerleri ile spesifik enerji değeri arasında güçlü bir ilişki elde edilmiş ve kayaçların çekme dayanımları arttıkça kazılabilirliğinin de zor olacağı sonucuna varılmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki (Çomaklı, 2010).

2.2.3 Nokta yük dayanımı deneyi

McFeat-Smith ve Tarkoy (1979) yaptıkları bir çalışmada nokta yük deneyi ile kazı hızı ve keski sarfiyatı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır (Şekil 2.6). İlgili şekillere bakıldığında her iki farklı marka mekanize kazıcı için kayaçların nokta yük dayanımı azaldıkça kazı hızının arttığı ve nokta yük dayanımı değeri arttıkça keski sarfiyatının arttığı görülmektedir.



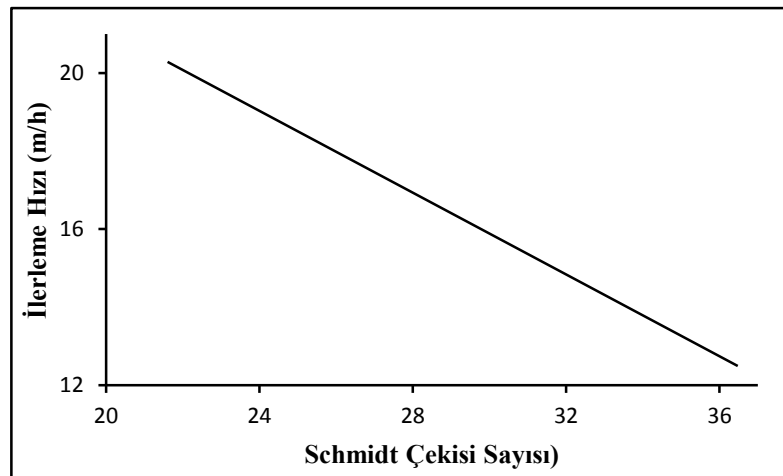
Şekil 2.6 : (a); kazı hızının nokta yük dayanımı ile değişimi, (b); keski sarfiyatı ile nokta yük dayanımı arasındaki ilişki (Mcfeat - Smith ve Torkoy, 1979).

2.2.4 Darbe dayanımı deneyi

Deney ilk olarak Rus araştırmacı Prodotyakanov tarafından geliştirilmiş, daha sonraları Evans tarafından İngiltere'deki kömür damarlarının sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Bazı araştırmacılar değişik boyutlarda deney cihazları kullanarak bu yöntemi kayaçların delinebilirliklerinin tayini için uygulamışlardır. Eğer kayaçlar kendi aralarında sınıflandırılırsa, örneğin volkanik kayaçlar için darbe dayanımı değeri ile basınç dayanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağıntı ortaya çıkmaktadır (Bilgin ve Shahriar, 1986).

2.2.5 Schmidt çekici deneyi

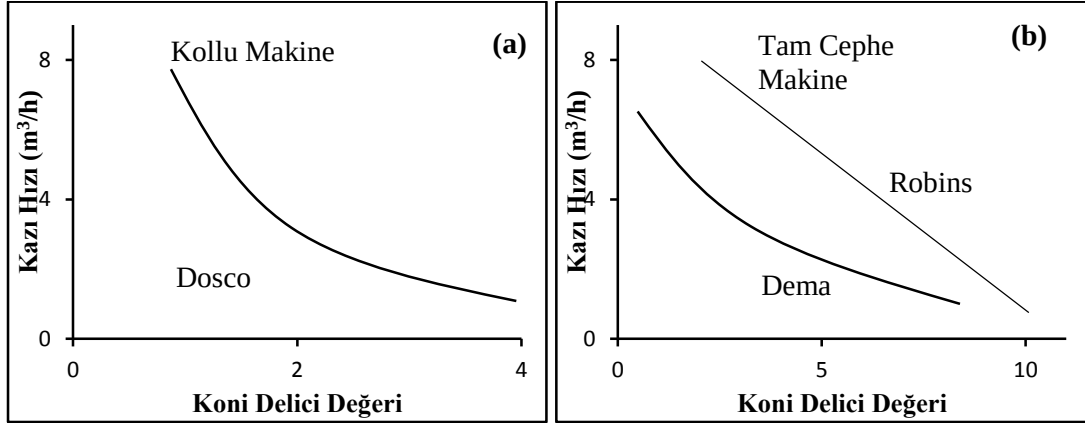
Schmidt çekici deneyi arazide yerinde de uygulanabilen bir deney olduğundan kayaçların kazılabilirliği ile ilişkisi birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Bilgin ve diğ., (1990) Haliç tüneli kazısı sırasında kollu galeri açma makinelerinin performansını araştırmışlardır. Bu araştırma sonucunda Schmidt çekici değeri arttıkça net kazı hızının azaldığı görülmüştür. Benzer bir çalışma Göktan ve Güneş (2005) tarafından yapılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ceylanoğlu (1991) Schmidt çekici kullanarak elektrikli ekskavatörlerin performansı üzerine bir çalışma yapmış ve Schmidt çekici değeri arttıkça kazı için harcanan enerjinin arttığı sonucuna varmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda Schmidt çekici sertliğine bağlı olarak kayaç kazılabilirliğinin değiştiği gözlenmiştir ve bu kazı hızının kestiriminde indeks değer olarak tavsiye edilmiştir. Şekil 2.7' de Kielder tüneline yapılan bir araştırmaya ait grafikte bu ilişkinin nasıl olduğu görülmekte ve bahsedilen önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2.7 : İlerleme hızı ile Schmidt çekici arasındaki ilişki (Sheorey, 1984).

2.2.6 NCB koni delici

Stimpson ve Acott (1983), N.C.B koni delici değeri ile kollu kazıcılar ve tam cephe mekanize kazıcıların kazı hızları arasındaki ilişkiyi araştırarak Şekil 2.8’ de verilen eğrileri elde etmişlerdir. Farklı marka kazıcılarla yapılan bu değerlendirmeye göre şekillerden de anlaşılacağı gibi koni delici değeri arttıkça kazı hızının azaldığı ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.8 : Kazı hızının koni delici değeri ile değişimi (Stimpson ve Acott, 1983).

2.2.7 Shore skeleroskope sertliği deneyi

Shore sertliği, Shore Skeleroskobu ile bulunan bir indeks değeridir. Shore sertliği yüksek olan kayaların kazılabilirliğinin az olduğu, ayrıca belli bir kazı makinesi ile çalışırken yüksek Shore sertliğine sahip zonlardan geçerken ilerleme hızının azaldığı saptanmıştır (Rabia ve Brook, 1980).

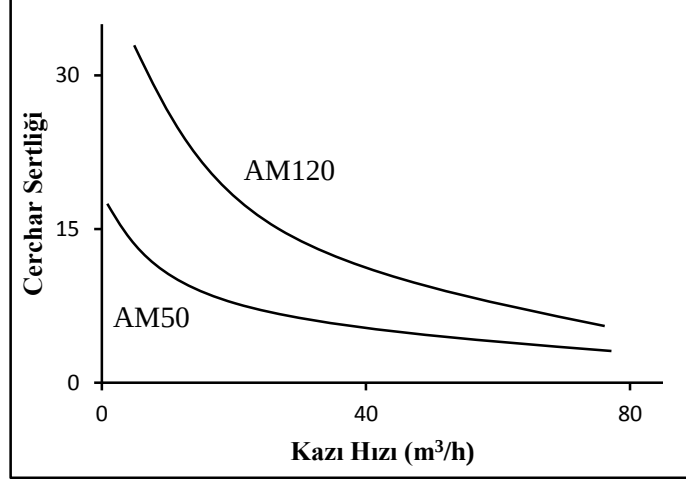
2.2.8 Shore skeleroskobu ile plastik sertlik deneyi

Shore sertliği testi gibi Shore Skeleroskobu kullanılarak yapılan bu test kazılabilirliğe etki eden kayaların kırılma özelliğini irdelediği için diğer deneylerin yanında kullanılması gerekir. Yazıcı (1984) yaptığı çalışma sonucunda yüksek plastiklik katsayısının güç kazılabilirliğe eş değer olduğunu göstermiştir.

2.2.9 Cerchar sertlik deneyi

Deney, dönüş hızı 190 devir/dakika ‘ ya ayarlanabilir sütunlu ağır tip bir matkapla 20 kg baskı kuvveti altında 1 cm’ lik deliğin delinmesi için gerekli sürenin tespitinden ibarettir. AM50 ve AM120 tipi kollu galeri açma makineleri için Cerchar sertliği değerine bağlı olarak kazı hızının değişimi üzerine bir çalışma yapılmış ve Cerchar

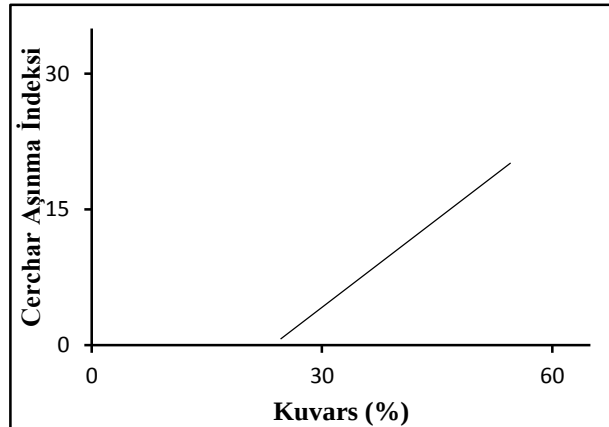
sertliği değeri arttıkça kazı hızının azaldığı sonucuna varılmıştır (Şekil 2.9). Benzer şekilde Coder (1973) tam cepheli tünel açma makinelerinin davranışları üzerine yaptığı araştırma da bu sertlik değerinin kayaçlarının kazılabilirliklerinin tayininde çok önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Cerchar sertlik değeri kömür yan kayaçlarının jeoteknik özellikleri açısından sınıflandırılmasında da kullanılmaktadır.



Şekil 2.9 : Voest Alpine kollu makinelerinde kazı hızının Cerchar sertliği ile değişimi (Coder, 1973).

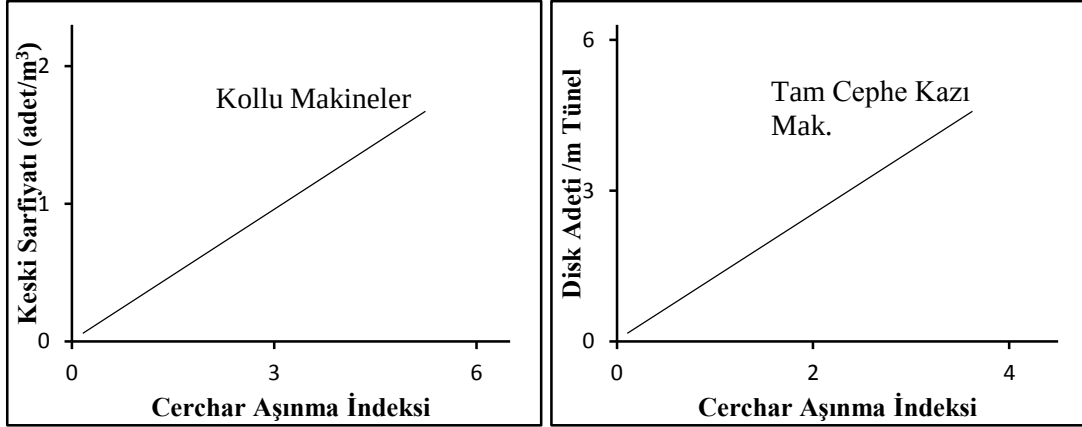
2.2.10 Cerchar aşındırıcılık deneyi

Cerchar aşındırıcılık deneyi mekanize kazıcılar için önemli bir parametre olan keski aşınması konusunda önceden kestirimde bulunabilmek ve kolay yapılabilirliği nedeni ile çok geniş uygulama alanı bulmuştur. West (1986) tarafından yapılan bir çalışmada kayaç kuvars içeriğiyle Cerchar aşınma indeksi arasındaki ilişki araştırılmış ve sonuç olarak kayaç kuvars değeri arttıkça Cerchar aşınma indeksi değerinin de arttığı görülmüştür (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Cerchar aşındırıcılık indeksi ile kuvars miktarının değişimi (West, 1986).

Kollu galeri açma makineleri ve tam boyutlu tünel açma makineleri için yapılan iki ayrı çalışma yapılmıştır (Nizamoğlu, 1978; Johnson, 1986). Yapılan bu çalışmalarda yerinde yapılan ölçümler sonucunda keski sarfiyatı ile kayaçların Cerchar aşınma indeksi değerleri arasındaki ilişki araştırılmış ve kayaçların Cerchar aşınma indeksi değeri arttıkça keski sarfiyatının da arttığı sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 2.11).

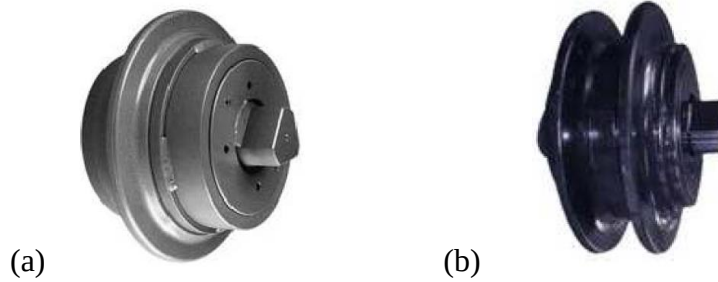


Şekil 2.11 : Cerchar aşınma indeksi ile keski sarfiyatı arasındaki ilişki (Nizamoğlu, 1978; Johnson, 1986).

2.3 Disk Keskiler ve Tasarım Parametreleri

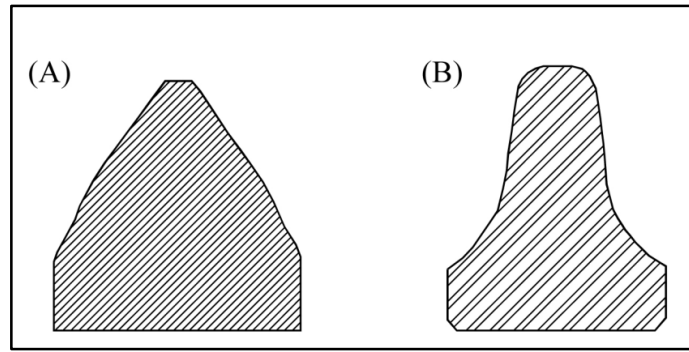
2.3.1 Disk Keskiler

Disk keski (Şekil 2.12) diğer döner keskilere oranla birbirini sıralı olarak takip eden kazı sistemleriyle yüksek kazı verimi sağlar. Kazı veriminin yüksek olmasında tek noktadan yükü almaları etkilidir ve yüksek yatak kapasiteleri sayesinde daha derin kesme derinliklerine ulaşırlar ve bu keski TBM kafasının istenilen bölgesine yerleştirilebilirler. Pahalı olmalarına karşın en önemli avantajlarından birisi ise keskinin üzerinde ring' in aşındıktan sonra yenilenebilmesidir. Bu sayede TBM tünelciliğindeki keski maliyetlerinin düşürülmesine olanak sağlanmıştır.



Şekil 2.12 : (a) tek diskli keski, (b) çok sıralı disk keski (Maidle ve diğ., 2008).

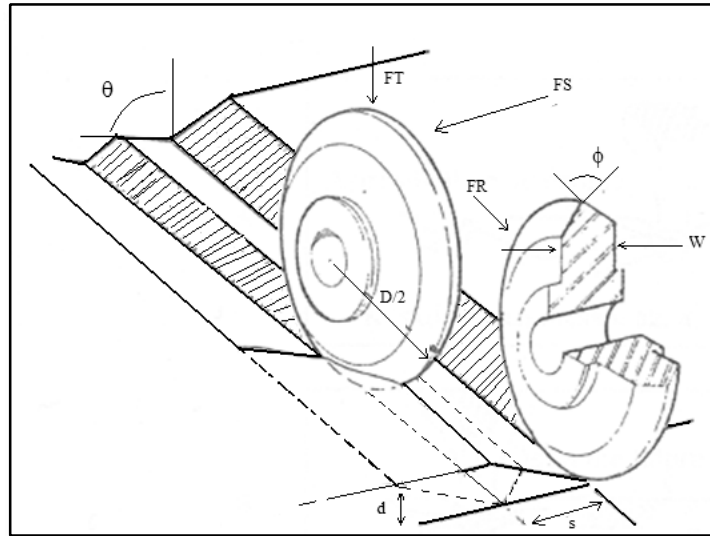
Tek diskli keskillerin geometrisini keskillerin ϕ ları ve kesme profilleri belirler. Kesme profilinde önemli bir parametre disk keskillerin uç açıları olup yaklaşık 20 yıl öncesine kadar disk keskillerin uç açıları 60° den 120° ye kadar değişmekte ve bu disk keskilere V tipi disk keskiller denilmekteydi. V tipli disk keskiller kullanılarak yüksek ilerleme elde edilse de zamanla bu keskillerin çok çabuk aşındığı fark edilmiştir. Bu doğrultuda uç aşınmasını azaltmak amacıyla ucu küt olan sabit kesitli keskiller (CCS) geliştirilmiştir. Geliştirilen bu keskillerle birlikte daha yüksek makine performansı elde edilmiş ve CCS tip keskiller TBM endüstrisinde bir standart olarak kabul edilmiştir. V tipli ve CCS tipli disk keskilere ait ring profili Şekil 2.13’ te verilmiştir (Tumaç, 2010).



Şekil 2.13 : Disk keskillerde ring profili; (A) V-tip, (B) CCS tip (Maidle, B., ve diğ., 2008).

2.3.2 Disk keski tasarım parametreleri

Tam cepheli tünel açma makinelerinde kullanılan disk keskillerin tasarım parametrelerinin kaya kesme işlemi sırasındaki gösterimi Şekil 2.14’ te verilmiştir (Bilgin, 1989).



Şekil 2.14 : Disk keskillerin tasarım parametreleri (Bilgin, 1989).

Burada;

s : Keskiler Arası Mesafe (mm)

d : Kesme Derinliği (mm)

w : Disk kalınlığı (mm)

D : Disk çapı (mm)

ϕ : Disk açısı

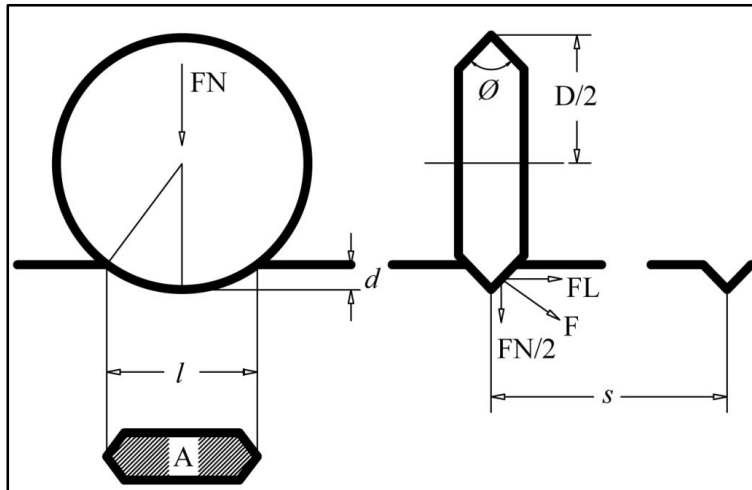
θ : Kayaç sökölme açısı

F_R : Yuvarlanma Kuvveti (kN)

F_T : Normal Kuvvet (kN)

F_S : Yanal Kuvvet (kN)

Şekil 2.14’ te verilen normal kuvvet (F_T), makinenin belirli kesme derinliğini sağlaması için gerekli olan arına bastırma kuvvetinin; yuvarlanma kuvveti, kesici kafanın dönüşü esnasında gerekli olan tork ve güç gereksiniminin; yanıl kuvvetler ise genellikle makine kesici kafanın balansında titreşimleri en aza indirmek için yapılan hesaplamalarda kullanılmaktadır. Tasarım parametrelerinin kesme işlemi esnasında farklı bir gösterimi Şekil 2.15’ te görölmektedir.

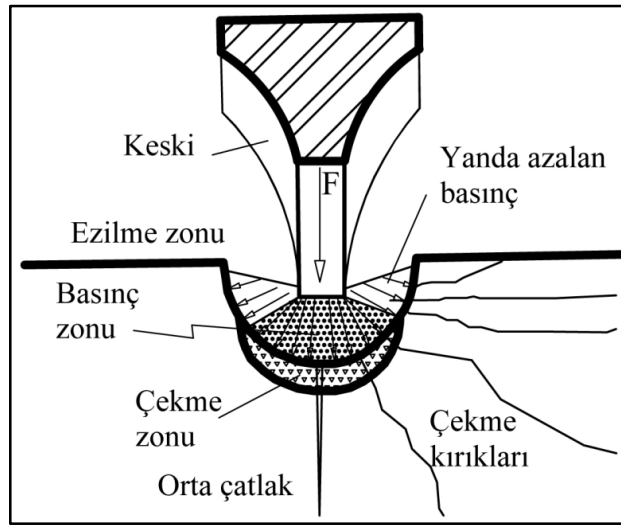


Şekil 2.15 : Disk ilerleme geometrisi (Roxborough ve Phillips, 1975).

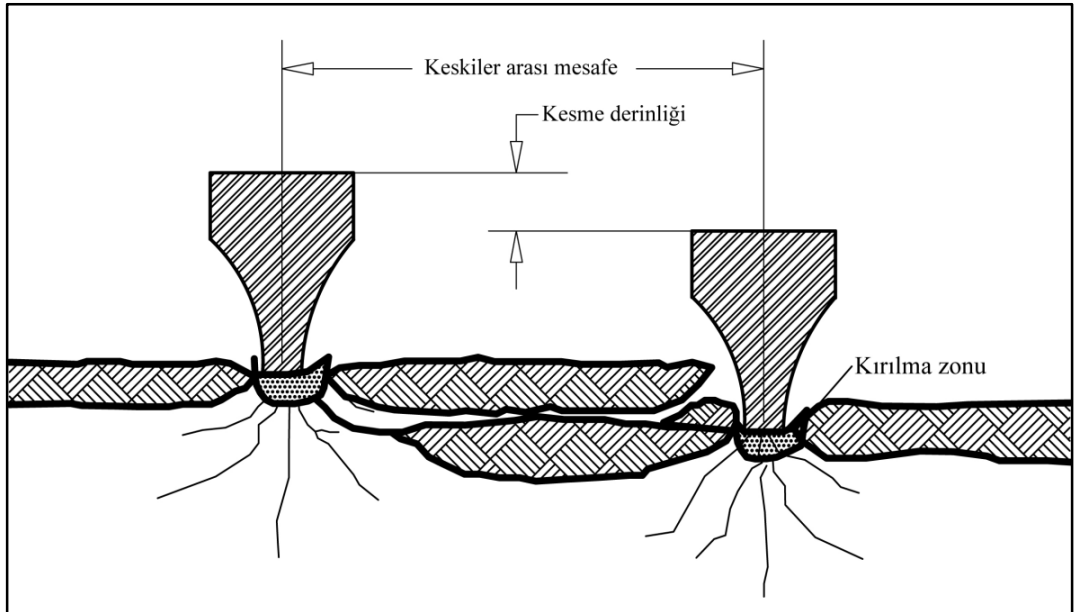
2.4 Disk Keski – Kaya Etkileşimi

Kayacın kesilmesi işlemi esnasında disk üzerinde var olan kuvvetlerin etkisiyle disk keski altında kalan kayaç kırılmaya, parçalanmaya ve toz haline gelmeye zorlanmaktadır. Özdemir ve diğ. (1978) yaptıkları çalışmalar sonucunda disk keski altında kalan bölgede oluşan etkileri açıklamaya çalışmışlardır.

Şekil 2.16 – 2.17’ de disk keski altında parçalanmış bölge oluşumu gösterilmektedir. Disk keskinin geometrisinden dolayı, uygulanan dikey kuvvet (F kuvveti) keskinin ucunda yoğunlaşmaktadır. Bu durum kayaçtaki ilk kırılmanın uygulanan kuvvet yoğunluğundan ötürü keskinin altında kalan bölgede olacağını göstermektedir. Daha açık bir ifadeyle var olan bu durum enerjinin büyük bir kısmının keskinin altındaki bölgeyi parçalamaya, kırmaya ve kayacı toz haline getirmek için harcanması anlamına gelmektedir. Enerjinin kalan kısmı ise iki keski arasındaki köprünün (çip) oluşumuna harcanmaktadır. Çip oluşumunun keskinin yan taraflarında azalan basınç kuvvetinin ve sonuçta oluşan çekme kırıklarının sonucunda oluştuğu görülmektedir (Şekil 2.17).

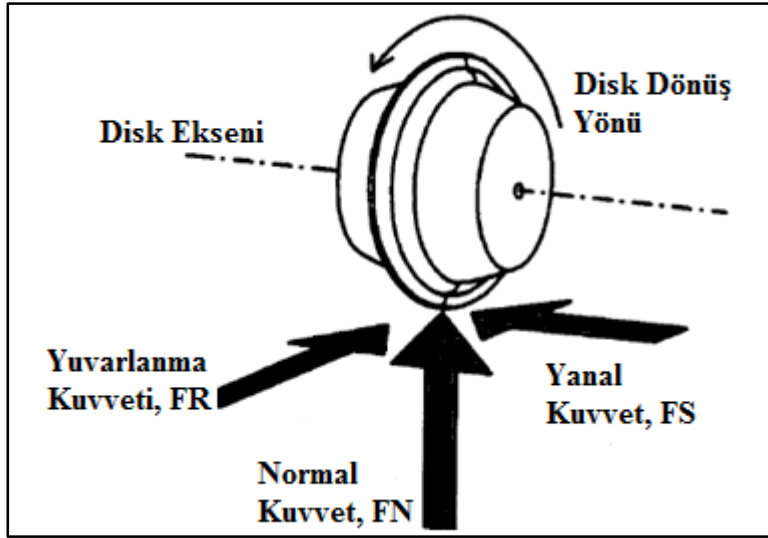


Şekil 2.16 : Disk keski altındaki kırılma zonu (Özdemir ve diğ, 1978).



Şekil 2.17 : Disk keski ile kaya kesme ve keski arasında çip oluşumu (Özdemir ve diğ, 1978).

Kaya kesme işlemi esnasında disk keskiye gelen kuvvetlerin şematik gösterimi ise Şekil 2.18’ de görülmektedir. Bu kuvvetler (normal, yanıl ve yuvarlanma kuvveti), tünel açma makinesinin kesici kafa tasarımı, optimizasyonu ve makine dizaynında kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, bu kuvvetler kesici makinenin işletimi ve performansının tahmininde de kullanılmaktadır. Bu bilgiler, kaya koşullarında kazı yapacak makinelerin mekanik kazı sistemlerinin fizibilite çalışmalarında da önemli yer tutmaktadır.



Şekil 2.18 : Disk keskiye gelen kuvvetlerin şematik gösterimi (Özdemir ve diğ, 1978).

2.5 Disk Keski Teorileri

Disk keskilerle ilgili geliştirilen modellerin temelinde kesici disk üzerine etki eden kuvvetlerin hesaplanması vardır. Roxborough ve Phillips (1975), yaptıkları çalışma sonucunda V tipli diskler için disk keski üzerine etki eden yanıl ve normal kuvvetin hesaplanması için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu modelde keski üzerine etki eden normal kuvvetin hesaplanması için Eşitlik 2.1 önerilmiştir.

$$F_N = \sigma_c \cdot A \quad (2.1)$$

Burada;

σ_c : Kayacın basınç dayanımı (MPa)

A : Disk keskinin kayaya temas yüzeyi (mm²)

Kayacın basınç dayanımı değeri yapılacak deneysel çalışmalar sonucunda elde edilebilecektir. Disk keskinin kayaya temas yüzeyinin hesaplanmasında ise öncelikle kesme işlemi sırasında oluşan kesme hattının uzunluğu (l , mm); disk çapı (D , mm) ve kesme derinliğine (d , mm) bağlı olarak Eşitlik 2.2' den hesaplanabilir.

$$l = 2\sqrt{D \cdot d - d^2} \quad (2.2)$$

Daha sonra Eşitlik 2.3 kullanılarak disk keskinin kayaya temas yüzeyi hesaplanabilmektedir.

$$A = 2 \cdot d \cdot l \cdot \tan \frac{\phi}{2} \quad (2.3)$$

Burada;

ϕ : Disk keski uç açısı ($^\circ$)

Eşitlik 2.2 ve Eşitlik 2.3 kullanılarak normal itme kuvveti (F_N) Eşitlik 2.4' ten hesaplanabilmektedir.

$$F_N = 4 \cdot \sigma_c \cdot d \cdot \tan \frac{\phi}{2} \sqrt{D \cdot d - d^2} \quad (2.4)$$

Diske etki eden yuvarlanma kuvvetinin hesaplanmasında ise yuvarlanma kuvveti ve normal kuvvet arasındaki ilişkiler irdelenmiş ve sonuç olarak Eşitlik 4.5 elde edilmiştir.

$$\frac{F_N}{F_R} = \sqrt{\frac{D-d}{d}} \quad (2.5)$$

Daha sonra Eşitlik 2.4' te elde edilen sonuç Eşitlik 2.5' te yerine yazılarak yuvarlama kuvvetinin hesaplanabilmesi için Eşitlik 2.6 elde edilmiştir.

$$F_R = 4 \cdot \sigma_c \cdot d^2 \cdot \tan \frac{\phi}{2} \quad (2.6)$$

Yine aynı çalışmada Roxborough ve Phillips, keskinler arası mesafe ve kesme derinliği arasında bir ilişki olduğunu belirlemiş ve Eşitlik 2.7' yi önermişlerdir.

$$\frac{s}{d} = \frac{\sigma_c}{\tau} \quad (2.7)$$

Burada;

s : Keskiler arası mesafe (mm)

d : Kesme derinliği (mm)

σ_c : Kayacın basınç dayanımı (MPa)

τ : Kayacın kesme dayanımı (MPa)

Roxborough ve Phillips (1975) tarafından önerilen bu model daha sonra Phillips, Bilgin ve Price (1978), tarafından keski uç yarıçapının etkisi de incelenerek geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelde keski uç yarıçapının etkisi Eşitlik 2.8 ve Eşitlik 2.9’ da verildiği gibi çarpan olarak eklenmiştir.

$$F_{Nr} = F_N \cdot e^{Ar} \quad (2.8)$$

$$F_{Rr} = F_R \cdot e^{Br} \quad (2.9)$$

Burada;

F_{Nr} : Normal kuvvet (kN)

F_{Rr} : Yuvarlanma kuvveti (kN)

r : Keski uç yarıçapı (mm)

A, B : Her bir ilerleme seviyesi için sabitler

A ve B sabitlerinin hesaplanabilmesinde iki farklı keski uç yarıçapı için Eşitlik 2.10 ve Eşitlik 2.11 verilmiştir.

$$A = 0,0354 + \frac{0,6554}{p} \quad r = 0,98 \quad (2.10)$$

$$B = 0,060 + \frac{0,383}{p} \quad r = 0,87 \quad (2.11)$$

Özdemir ve diğ., (1978), yaptıkları çalışmada Roxborough ve Phillips (1975) tarafından yapılan çalışmaya benzer olarak kayacın basınç dayanımı ve disk – kaya kontak alanının normal kuvvet üzerinde etkili olduğunu belirtmişler ve yeni bir model

önermişlerdir (Eşitlik 2.12). Geliştirilen bu modelde keski üzerine etki eden normal kuvvetin hesaplanması için kayacın basınç dayanımı değeri yanında kayacın kesme dayanımı değerini de kullanmışlardır.

$$F_N = D^{0,5} \cdot d^{1,5} \cdot \left[\frac{4}{3} \sigma_c + 2 \sigma_s \left(\frac{s}{d} - 2 \tan \frac{\phi}{2} \right) \right] \tan \frac{\phi}{2} \quad (2.12)$$

Burada;

F_N : Normal kuvvet (kN)

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

σ_s : Kesme dayanımı (MPa)

ϕ : Disk uç açısı ($^{\circ}$)

D : Disk çapı (mm)

s : Kesimler arası mesafe (mm)

d : Kesme derinliği (mm)

Geliştirilen bu modelde yuvarlama kuvveti ise normal kuvvet ve yuvarlama kuvveti arasındaki geometrik ilişkiye bağlı olarak geliştirilen bir kesme katsayısının (CC) normal kuvvetle çarpımı sonucunda elde edilmiştir. Elde edilen bu formüller Eşitlik 2.13 ve Eşitlik 2.14' te verilmiştir.

$$CC = \frac{(1 - \cos \gamma)^2}{(\gamma - \cos \gamma \cdot \sin \gamma)} \quad (2.13)$$

Burada;

$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{R-d}{R} \right)$, kaya-disk temas açısı ($^{\circ}$)

$R = D/2$, disk yarıçapı (mm)

$$F_R = \left[\sigma_c d^2 + \frac{4 \cdot \sigma_s \left(s - 2d \tan \frac{\phi}{2} \right)}{D(\gamma - \cos \gamma \cdot \sin \gamma)} \right] \tan \frac{\phi}{2} \quad (2.14)$$

*Değişkenler üst kısımda tanımlanmıştır.

Rostami ve Özdemir (1997,1993), CCS tipli disk kesimler için keski üzerine etki eden kuvvetlerin hesaplanabilmesi için bir teori geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu teoride

keski üzerine etki eden toplam kuvvet ve kesme katsayısı değerleri kullanılarak normal ve yuvarlama kuvvetleri hesaplanmıştır. Bu teoriye göre toplam kuvvet değeri (F_T) Eşitlik 2.15 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$F_T = \frac{P.R.T.\gamma}{\psi+1} \quad (2.15)$$

Burada;

P : Yüzeye uygulanan basınç (MPa)

R : Disk keski yarıçapı (mm)

T : Keski ucu kalınlığı (mm)

ψ : CCS tip keski için ψ değeri sıfıra yakındır ve artan keski ağzı genişliği ile azalır.

V tip keski için bu değer 1 civarındadır.

Eşitlikte verilen ' γ ' değeri ise disk keski yarıçapı ve kesme derinliğine bağlı olarak Eşitlik 2.16 kullanılarak elde edilmektedir.

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{R-d}{R} \right) \quad (2.16)$$

Burada;

R : Disk keski yarıçapı (mm)

d : Kesme derinliği (mm)

Disk üzerine etki eden toplam kuvvetin hesaplandığı Eşitlik 2.15' te P dışındaki bütün değişkenler bilinmektedir. P ise kesme geometrisi (keskiler arası mesafe ve kesme derinliği) ve kaya özelliklerinin (basınç ve çekme dayanımı) bir fonksiyonu olarak tanımlanmış ve P değerinin belirlenebilmesi için Eşitlik 2.17 verilmiştir.

$$P = C. \sqrt[3]{\frac{s.\sigma_c.\sigma_T}{\gamma.\sqrt{R.T}}} \quad (2.17)$$

Burada;

C : Birimler arası dönüşüm katsayı $\approx 2,12$

s : Keskiler arası mesafe (mm)

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

σ_t : Kayacın çekme dayanımı (MPa)

Keskiler üzerine etki eden toplam kuvvet belirlendikten sonra normal kuvvet (F_N) ve yuvarlanma kuvvetinin (F_R) hesaplanması için Eşitlik 2.18 ve Eşitlik 2.19 kullanılabilir.

$$F_N = F_T \cdot \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (2.18)$$

$$F_R = F_T \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (2.19)$$

Geliştirilen başka bir model de Özdemir ve Wang (1978) kayaç özellikleri ile kayaç ve disk keski arasında oluşan kontak alanının keski üzerine etki eden normal kuvvet değerleri ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya çıkarmışlardır (Eşitlik 2.20). Geliştirilen bu modelde keski arası mesafe ve disk keski özellikleri de dikkate alınmıştır. Keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetinin hesaplanmasında ise disk keski ile kayaç arasında oluşan temas açısına bağlı olarak elde edilen bir katsayı kullanılmıştır (Eşitlik 2.21). Eşitlik 2.22 kullanılarak yuvarlanma kuvveti değeri hesaplanabilmektedir.

$$F_N = D^{0,5} \cdot d^{1,5} \left[\frac{4}{3} \cdot \sigma_c + 2 \cdot \sigma_s \left(\frac{s}{d} - 2 \cdot \tan\frac{\phi}{2} \right) \right] \tan\frac{\phi}{2} \quad (2.20)$$

$$CC = \frac{(1 - \cos\gamma)^2}{(\gamma - \sin\gamma \cdot \cos\gamma)} \quad (2.21)$$

$$F_R = \left[\sigma_c \cdot d^2 + \frac{4 \cdot \sigma_s (s - 2 \cdot d \cdot \tan\frac{\phi}{2})}{D \cdot (\gamma - \sin\gamma \cdot \cos\phi)} \right] \cdot \tan\frac{\phi}{2} \quad (2.22)$$

Burada;

F_N : İtme kuvveti (kN)

F_R : Yuvarlanma kuvveti (kN)

σ_c : Kayacın basınç dayanımı (Mpa)

σ_s : Kayacın kesme dayanımı (Mpa)

D : Disk çapı (mm)

s : Keskiler arası mesafe (mm)

d : Kesme derinliği (mm)

ϕ : Disk uç açısı ($^\circ$)

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{R-d}{R}\right), \text{ kaya ile disk arasındaki temas açısı (}^\circ\text{)}$$

$$R = D/2, \text{ disk yarıçapı (mm)}$$

Disk keski için geliştirilen bir başka model de ise Sanio (1985) disk keski kaya etkileşimi sonucunda oluşan çekme çatlaklarını esas almıştır. Geliştirilen bu modele göre disk keski altında oluşan parçalanmış zon dairesel şekildedir ve bu dairenin yarıçapı “d” kesme derinliğinde “q” sabiti olarak belirlenmiş olup disk keski parametrelerine bağlı olmayıp doğrudan kayacın karakteristiğiyle ilgilidir. Bu doğrultuda Sanio (1985) tarafından keski üzerine etki eden normal kuvvet değerinin hesaplanması için Eşitlik 2.23 önerilmiştir.

$$F_N = 2 \cdot d \cdot \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) \cdot \sigma_0 \quad (2.23)$$

Burada;

d : Kesme derinliği (mm)

σ_0 : Kırılmış zondaki hidrostatik basınç (kg/cm²)

ϕ : Disk keski uç açısı (°)

Normal kuvvet değerinin hesaplanmasında kullanılan kırılmış zondaki hidrostatik basınç değerinin bulunmasında ise Ouchterlony (1974) tarafından önerilen Eşitlik 2.24 kullanılmıştır.

$$2 \cdot \sigma_0 \cdot r = k \cdot c^{0.5} \quad (2.24)$$

Burada;

r : Boşluğun yarıçapı (cm)

k : Kaya ve çatlak sayısına bağlı olarak kritik stres yoğunluk faktörü

c : Çatlağın boyu (cm)

Eşitlik 2.24 Eşitlik 2.23’ te yerine yazılıp disk keskiye etki eden kuvvetlerin denge denklem entegrasyonu yapıldıktan sonra normal kuvvet değerinin hesaplanması için Eşitlik 2.25 elde edilmiş olur.

$$F_N = \frac{k}{q} \cdot \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) \cdot \int_0^{(D \cdot p - p^2)^{0.5}} c(x) dx \quad (2.25)$$

Sanio (1985) yardımcı kaya kesme hattında çatlak boyunun hesaplanabilmesi için Eşitlik 2.26' yı önermiştir. Bu kapsamda keski üzerine etki eden normal kuvvet değeri de Eşitlik 2.27' den hesaplanabilmektedir.

$$c(x) \cong \frac{s}{(D \cdot d - d^2)^{0.5}} \cdot x \quad (2.26)$$

$$F_N = \frac{2k}{3q} \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) \cdot (d \cdot p - p^2) \cdot s^{0.5} \quad (2.27)$$

Sanio (1985)' e göre eğer keski yatağındaki sürtünme göz ardı edilirse oluşan normal ve yuvarlanma kuvvetleri merkezden geçer. Eğer $D \cdot p > p^2$ ve $S_k = 2k/3q$ (kesme sabitleri) ise F_N ve F_R Eşitlik 2.28 – 29' den elde edilir.

$$F_N = S_k \cdot (D \cdot d \cdot s)^{0.5} \cdot \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (2.28)$$

$$F_R = \frac{4}{5} \cdot \left(\frac{p}{D}\right)^{0.5} \cdot F_N \quad (2.29)$$

Sanio (1985) kesme sabitleri değeri (S_k)' ni de doğrusal kaya kesme deneyleri sonrasında Eşitlik 2.30' da olduğu gibi tanımlamıştır.

$$S_k = \frac{F_{N_{ort.}}}{\sqrt{D \cdot s \cdot d} \cdot \tan\left(\frac{\phi}{2}\right)} \quad (2.30)$$

Burada;

S_k : Ortalama kesme sabiti ($\text{kN/mm}^{1.5}$)

$F_{N_{ort.}}$: Doğrusal kazı setinden elde edilen ortalama normal kuvvet (kN)

D : Disk çapı (mm)

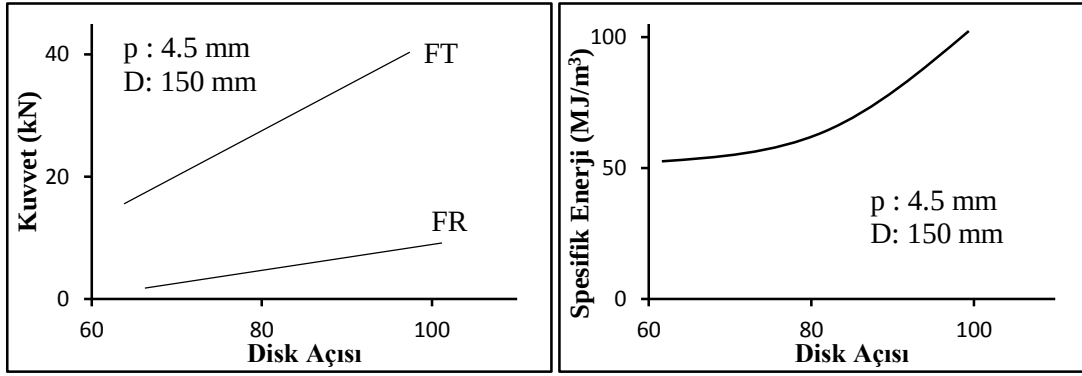
s : Keski arası mesafe (mm)

d : Kesme derinliği (mm)

2.6 Disk Keski Tasarım Parametrelerinin Kesme İşlemine Etkisi

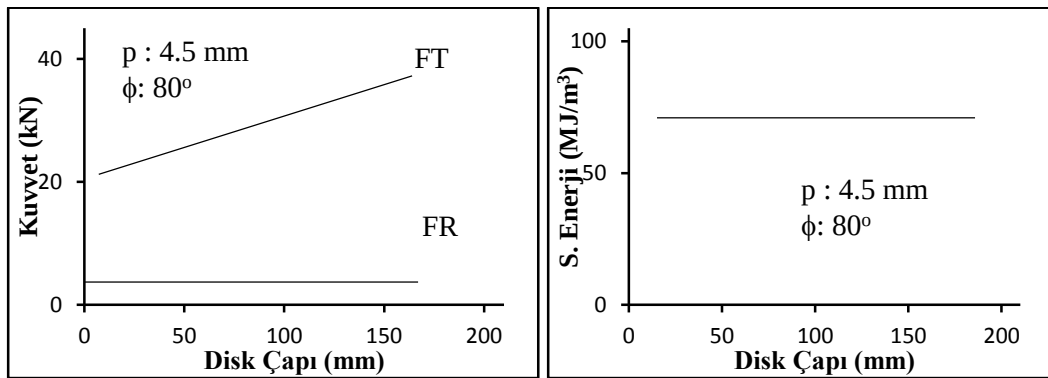
Kazı işlemi esnasında disk keski tasarım parametrelerinin etkilerinin incelenebilmesi amacıyla birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır.

Bilgin (1977) yaptığı çalışmada, 60° - 80° arasında değişen farklı uç açılı disk keskileri kullanarak tasarım parametrelerinin değişimlerini incelemiştir. Bu çalışmaya göre; disk açısı arttıkça dikey ve yuvarlanma kuvvetlerinin lineer olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 2.19 (A)). Ayrıca birim kesme mesafesinde açığa çıkan pasa hacmi parabolik olarak artmakta ve bunun sonucunda birim hacimdeki malzemeyi kesmek için gerekli enerji (spesifik enerji) değeri de disk açısı arttıkça artmaktadır (Şekil 2.19 (B)).



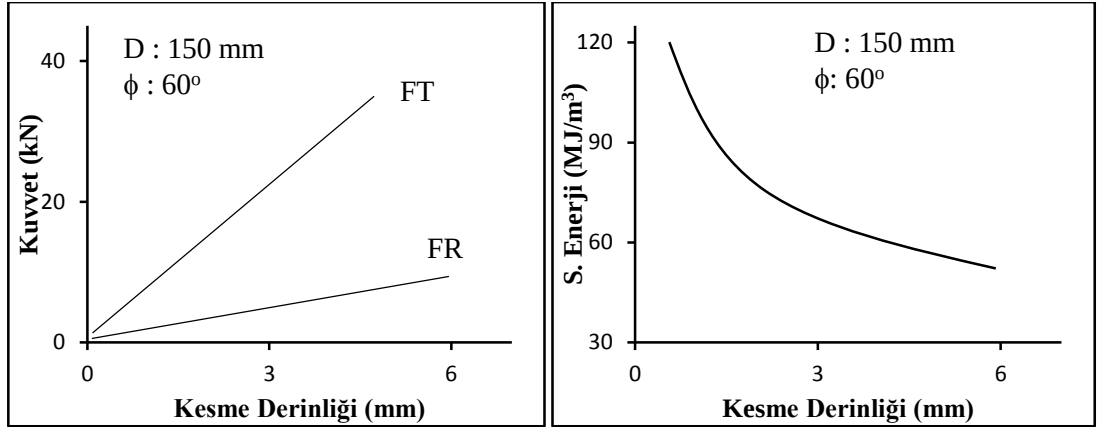
Şekil 2.19 : Disk açısına bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) Spesifik enerji değişimi (Bilgin, 1977).

Aynı çalışmada Bilgin (1977) disk üzerine etki eden kuvvetler ve spesifik enerji değerlerinin disk çapına bağlı olarak değişimini araştırmıştır. Araştırma sonucunda disk çapının spesifik enerji üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı (Şekil 2.20 (A)), buna rağmen disk çapı arttıkça diske etki eden dikey kuvvet değerinin lineer olarak arttığı sonucu elde edilmiştir (Şekil 2.20 (B)).



Şekil 2.20 : Disk çapına bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) Spesifik enerji değişimi (Bilgin, 1977).

Yine aynı çalışmada Bilgin (1977) bu kez kesme derinliğine bağlı olarak kuvvetlerin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini değerlendirmiştir. Yapılan bu değerlendirme sonucunda kesme derinliği arttıkça kuvvetlerin lineer olarak arttığı (Şekil 2.21 (A)), spesifik enerji değerinin ise düştüğü sonucuna varılmıştır (Şekil 2.21 (B)). Elde edilen bu sonuca bağlı olarak derin kazının verimli bir kazı için ne kadar önemli olduğu görülmüştür ancak disklerin üzerinde döndükleri yataklar 20 ton dikey kuvvetle sınırlı olduğundan kesme derinliğini belirli değerin üzerine çıkarmak mümkün olmamaktadır.



Şekil 2.21 : Kesme derinliğine bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) Spesifik enerji değişimi (Bilgin, 1977).

Bilgin (1977) tarafından yapılan bu çalışmaya benzer bir çalışma Roxborough ve Phillips tarafından 1975 yılında yapılmıştır. Yapılan bu araştırmada tasarım parametreleri farklı değerlerde değiştirilerek çok sayıda kesme deneyi yapılmıştır. Kullanılan tasarım parametreleri ve değişim aralıkları Çizelge – 2.2’ de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Yapılan deneysel araştırmalarda kullanılan tasarım parametreleri (Roxborough ve Phillips, 1975).

Tasarım Parametresi	Kullanılan Değerler
Çap (D)	100, 125, 150, 175, 200 (mm)
Kesme derinliği (p)	2, 4, 6, 8, 10 (mm)
Uç açısı (φ)	60, 70, 80, 90, 100 (°)
Kesme hızı (v)	76, 102, 127, 152, 178 (mm/s)
Keskiler arası mesafe (s)	12, 24, 36, 48, 60 (mm)

Ayrıca Roxborough ve Phillips (1975) tarafından yapılan bu çalışmada Bilgin (1977) tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak disk keski üzerine etki eden dikey kuvvet ve yuvarlanma kuvveti değerlendirilirken, hem kesme işlemi sırasında ölçülen kuvvet

değerleri hem de önerilen modeller kullanılarak hesaplanan teorik kuvvet değerleri kullanılmıştır. Yuvarlanma kuvveti ve dikey kuvvet hesaplanırken Eşitlik 2.31 ve Eşitlik 2.32 kullanılmıştır.

$$F_R = 4\pi p^2 \tan \frac{\phi}{2} \quad (2.31)$$

$$F_T = 4\sigma_c \tan \frac{\phi}{2} \sqrt{Dp^3 - p^4} \quad (2.32)$$

Burada;

F_T : Dikey kuvvet (kN)

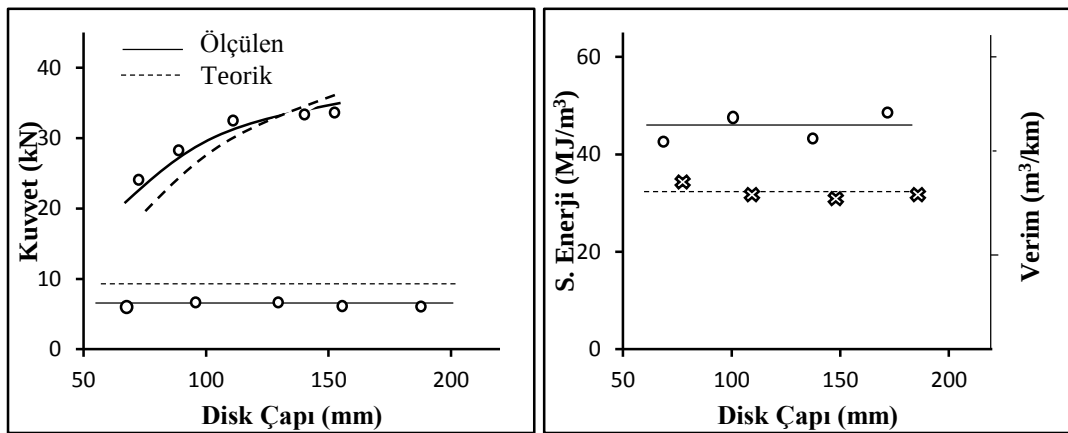
F_R : Yuvarlanma kuvveti (kN)

D : Disk keski çapı (mm)

ϕ : Uç açısı ($^\circ$)

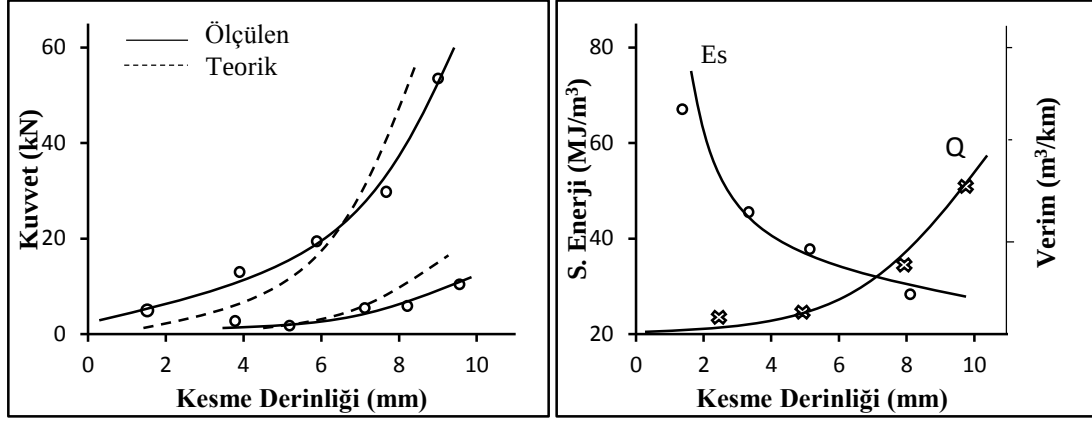
p : Kesme derinliği (mm)

Roxborough ve Phillips (1975) tarafından yapılan bu çalışma kapsamında farklı disk çapına bağlı olarak keskiye etki eden kuvvetlerin değişimi Şekil 2.22(A)' da verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi disk çapı arttıkça diske etki eden dikey kuvvet artmakta ancak yuvarlanma kuvveti disk çapına bağlı olarak değişmemektedir. Ayrıca disk çapına bağlı olarak spesifik enerji ve diskin bir birim ilerlemesi sonucu kazılan miktar olarak tanımlanan verim değerlerinin değişimi değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda disk çapının spesifik enerji ve verim üzerinde etkisinin olmadığı anlaşılmıştır (Şekil 2.22(B)).



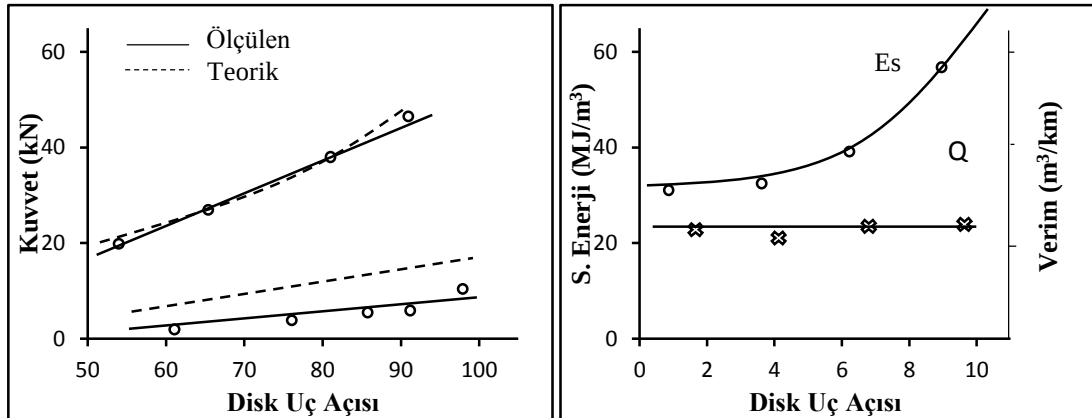
Şekil 2.22 : Disk çapına bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) spesifik enerji ve verim değişimi (Roxborough ve Phillips, 1975).

Yapılan kesme deneyleri sonucunda kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden kuvvetlerin, spesifik enerji ve verim değerlerinin değişimi Şekil 2.23(A) ve Şekil 2.23(B)' de verilmiştir. Bu şekillere göre kesme derinliği arttıkça dikey ve yuvarlanma kuvvetleri artmakta, dikey kuvvetteki artış miktarı daha fazla olmaktadır. Bununla birlikte kesme derinliği arttıkça spesifik enerji değeri azalmakta ama kazılan malzeme miktarı artmaktadır.



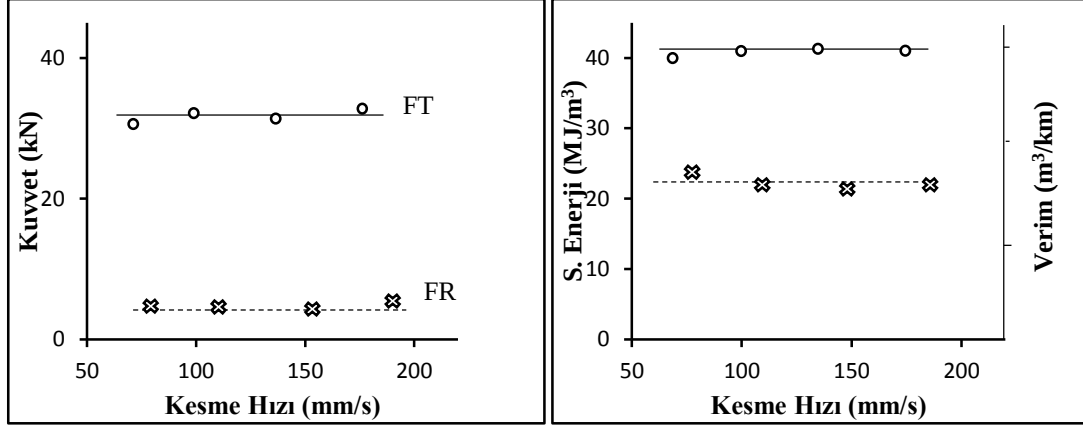
Şekil 2.23: Kesme derinliğine bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) spesifik enerji ve verim değişimi (Roxborough ve Phillips, 1975).

Disk uç açısına bağlı olarak kuvvetlerin ve spesifik enerji - verim değişimi Şekil 2.24' te verilmiştir. Şekillere bakıldığında uç açısı arttıkça keski üzerindeki dikey kuvvetin büyük oranda arttığı yuvarlanma kuvvetinin ise uç açısının artışından daha az etkilendiği görülmektedir (Şekil 2.24(A)). Dikey yönlü itme kuvvetinin artışı disk uç açısının artmasıyla birlikte kayaç yüzeyine etki eden keski alanının artacağı ve diski itmek için daha fazla kuvvet gereksinimi olacağı şeklinde açıklanabilmektedir. Ayrıca uç açısı arttıkça spesifik enerjinin arttığı ancak birim uzunlukta kazılan malzeme miktarının değişmediği görülmektedir (Şekil 2.24(B)).



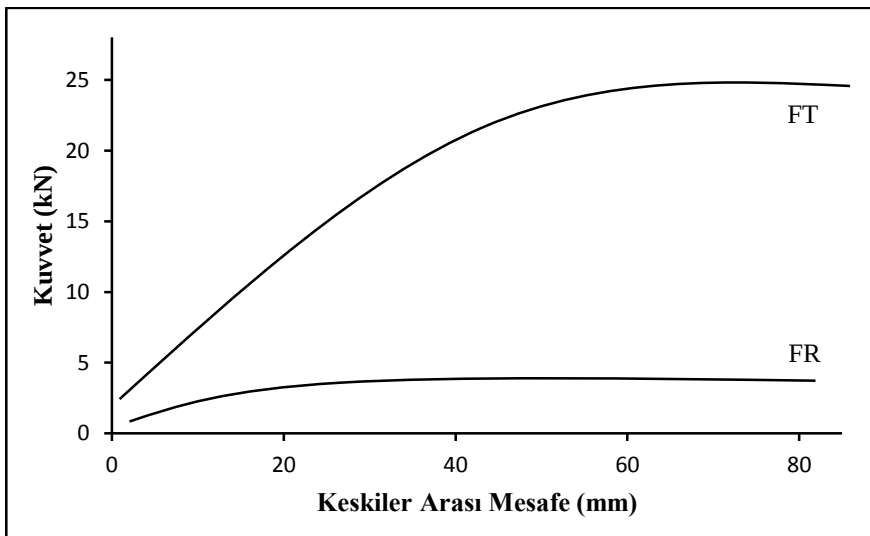
Şekil 2.24: Uç açısına bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) spesifik enerji ve verim değişimi (Roxborough ve Phillips, 1975).

Aynı çalışmada kesme hızının etkisi de araştırılmış ve kesme hızının ne kuvvetler üzerinde ne de spesifik enerji ve verim üzerinde etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil 2.25’ te elde edilen bu sonuçlar verilmiştir.



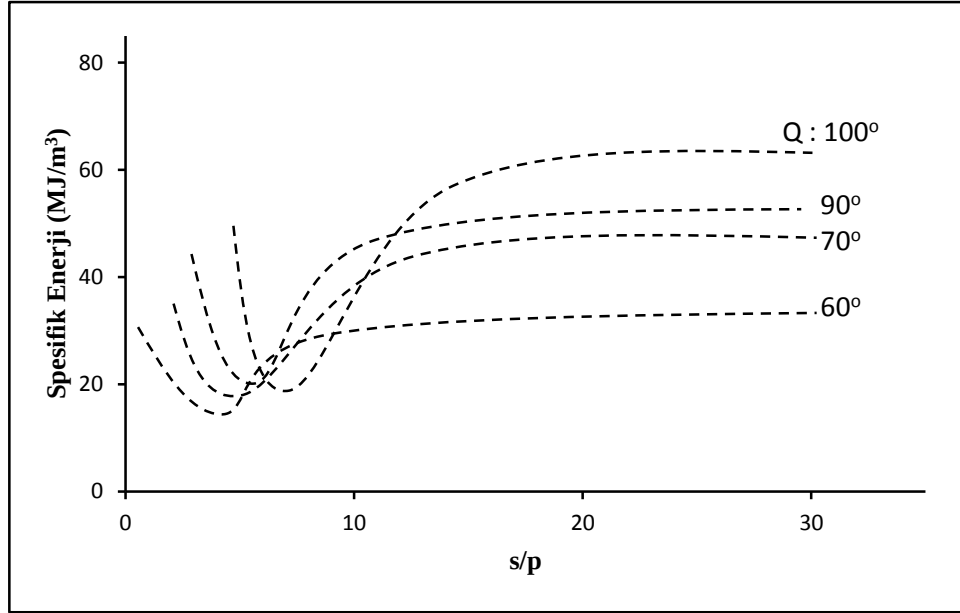
Şekil 2.25: Kesme hızına bağlı olarak; (A) kuvvet değişimi, (B) spesifik enerji ve verim değişimi (Roxborough ve Phillips, 1975).

Şekil 2.26’ da ise aynı çalışma sonucunda keskiler arası mesafeye bağlı olarak keskiler üzerine gelen kuvvetlerin değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi keski üzerine gelen dikey kuvvet ve yuvarlanma kuvvetleri keskiler arası mesafe arttıkça artmaktadır. Kesme derinliğinin 6 mm olarak alındığı bu deneyde keskiler arası mesafenin değişiminden daha fazla etkilenen dikey kuvvet değerinin keskiler arası mesafenin yaklaşık 40-45 mm olduğu noktadan sonra değişmediği ve sabit kaldığı görülmektedir. Buna bağlı olarak bu deney için 6 mm kesme derinliğinde keskiler arası mesafe / kesme derinliği (s/p) oranının yaklaşık 7 olduğu söylenebilmektedir.



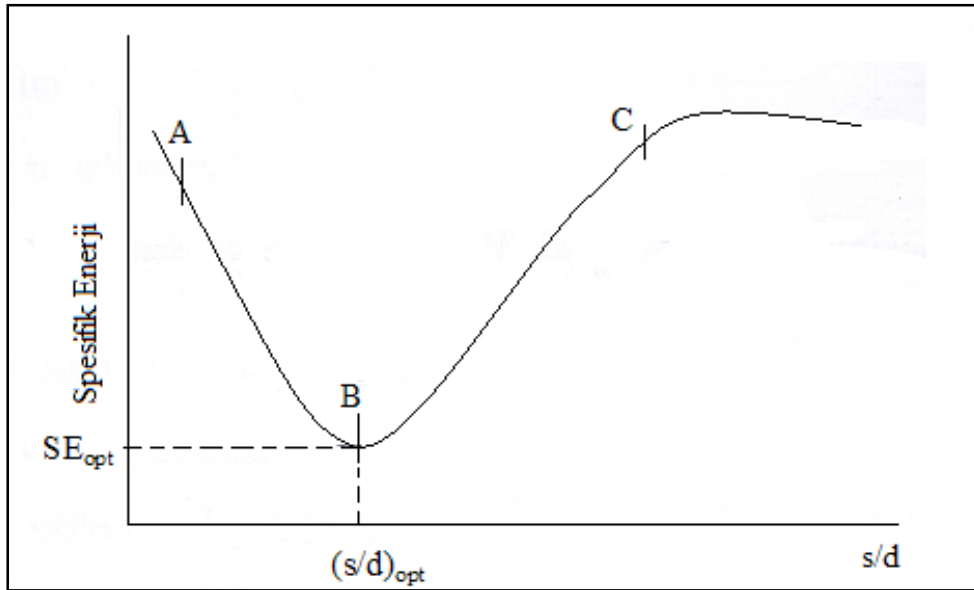
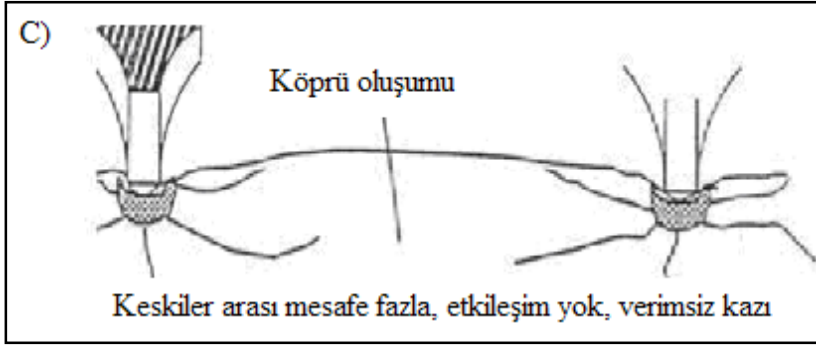
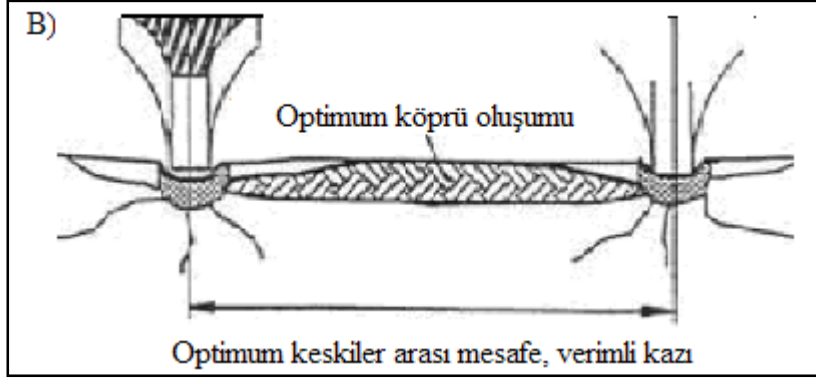
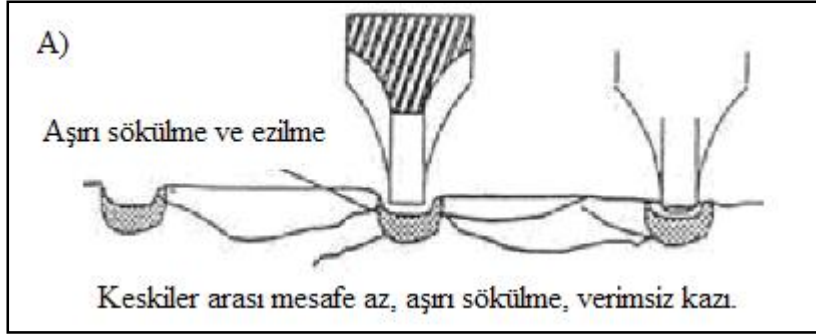
Şekil 2.26: Keskiler arası mesafenin kuvvet üzerine etkisi (Roxborough ve Phillips, 1975).

Roxborough ve Phillips (1975) yine aynı çalışma kapsamında keskiler arası mesafe kesme derinliği ilişkisini farklı uç açısına sahip keskiler kullanarak araştırmışlardır. Sonuç olarak farklı uç açılarında birbirine yakın optimum s/p oranları elde edilmiştir (Şekil 2.27).



Şekil 2.27: Keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji değişimi (Roxborough, F.,F., Phillips, H.,R., 1975).

Keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranının optimum değerinin belirlenmesi verimli bir kazı işlemi için çok önemlidir. Şekil 2.28' de kesme profili sonucu oluşan köprüler ve kesme profilini, matematiksel olarak en iyi ifade eden keskiler arası mesafenin kesme derinliğine oranı (s / d , birimsiz) ile spesifik enerjinin değişimi çizilmiştir. Bu grafik, optimum spesifik enerji değerini belirgin bir şekilde göstermektedir. Grafik üzerinde A ile gösterilen durumda keskiler birbirine yakın olduğu için aşırı sökülme ve kayacı parçalama durumu söz konusudur. Keskiler arası mesafenin fazla olduğu durumda keskiler arası etkileşim olmamakta ve köprü oluşmamaktadır (C noktası, yardımsız kazı modu). Optimum spesifik enerjinin oluştuğu noktada (B noktası, yardımcı kazı modu) minimum enerji ile maksimum kazı yapılmaktadır. Kazı makinelerinin kesici kafa dizaynları ve operasyonel parametreleri makineleri, hep optimum spesifik enerjiye yakın durumda çalışmasına olanak verecek şekilde olmalıdır (Feridunoğlu, 2009).

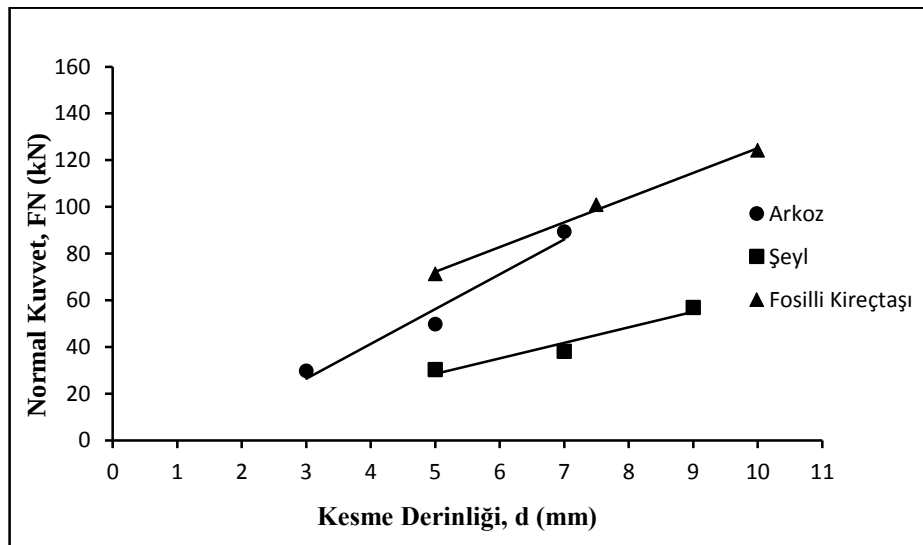


Şekil 2.28: Kesme profili sonucu spesifik enerjinin değişimi (Feridunoğlu, 2009).

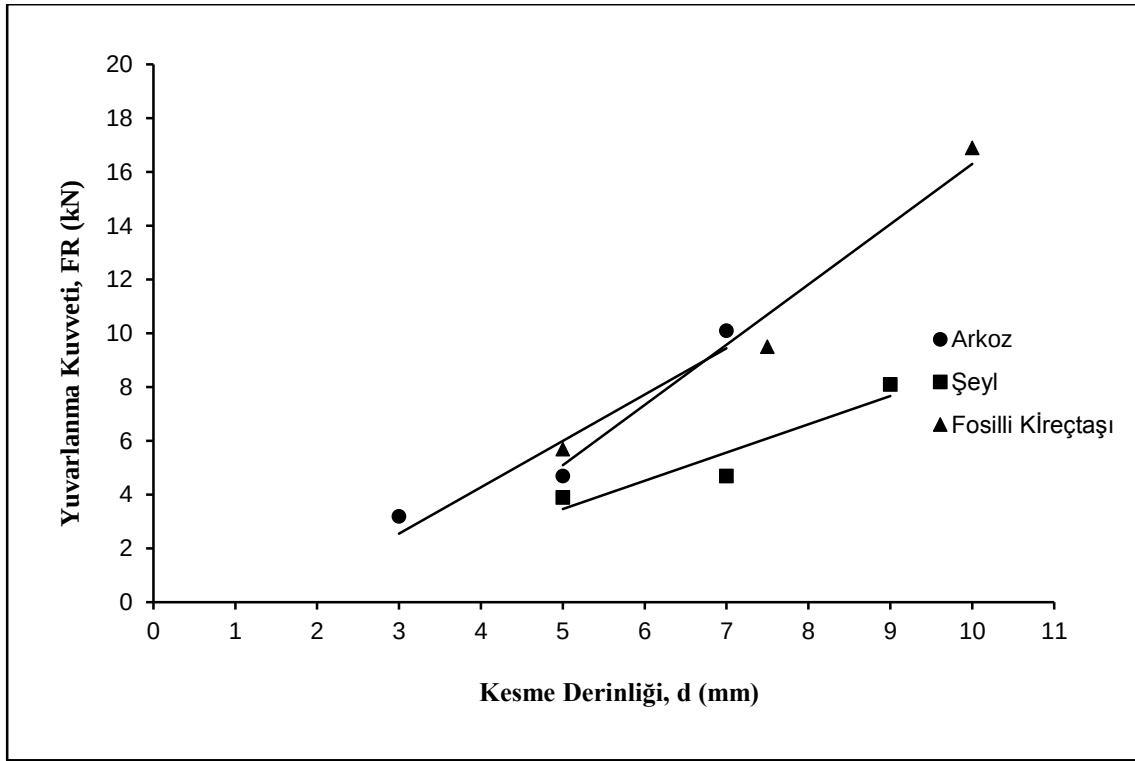
Roxborough ve Phillips, (1975) tarafından yapılan çalışmaya benzer bir çalışma da Balcı ve Tumaç tarafından 2012 yılında yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada üç farklı kayaç üzerinde (arkoz, şeyl ve fosilli kireçtaşı) V-tipli ve CCS tipli disk keskiiler kullanarak kesme deneyleri yapılmıştır. Kesme deneyleri yardımcı ve yardımcı olmayan olarak iki farklı şekilde yapılmış olup deneyler sonunda normal kuvvet (F_{NE}), yuvarlama kuvveti (F_{RE}) ve spesifik enerji (SE_E) değerleri hesaplanmıştır.

Yardımsız olarak yapılan kesme deneyleri sonucunda kesme derinliğine (d) bağlı olarak normal kuvvet, yuvarlama kuvveti ve spesifik enerji değerlerinin değişimi Şekil 2.29, Şekil 2.30 ve Şekil 2.31’ de verilmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı gibi kesme derinliği arttıkça normal kuvvet ve yuvarlama kuvveti artmıştır. Spesifik enerji değeri ise fosilli kireç taşında farklılık göstermekle beraber arkoz ve şeyl numuneleri için kesme derinliği arttıkça azalmıştır.

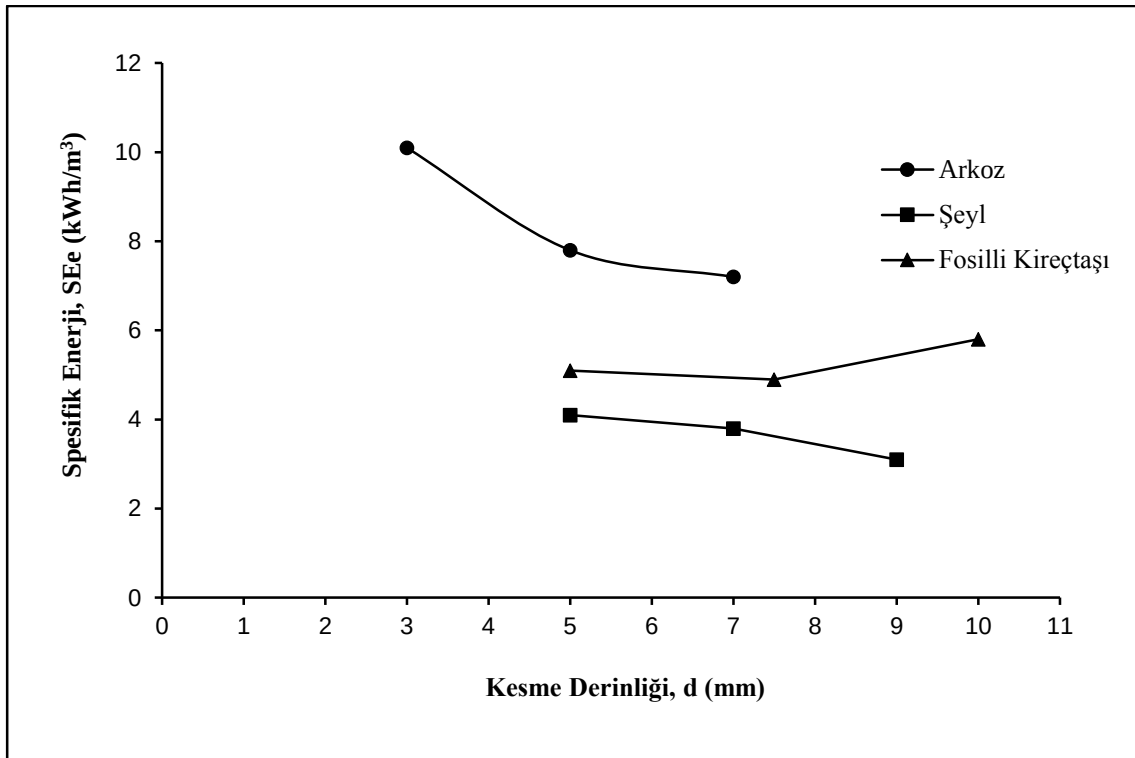
Yardımlı olarak yapılan kesme deneylerinde ise her bir numune için 40 mm, 80 mm ve 75 mm keskiiler arası mesafe (s) uygulanmıştır. Bu deneyler sonunda elde edilen grafikler Şekil 2.32, Şekil 2.33 ve Şekil 2.34’ te verilmiştir. Normal ve yuvarlama kuvvetlerinin kesme derinliği arttıkça arttığı şekillerden görülmektedir. Şekil 2.34’ e bakıldığında ise üç farklı numune için keskiiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerjinin belirli bir noktaya kadar azalıp daha sonra artmaya başladığı görülmektedir. Spesifik enerji değerinin artmağa başladığı nokta optimum keskiiler arası mesafe kesme derinliği oranı olarak kabul edilebilmektedir.



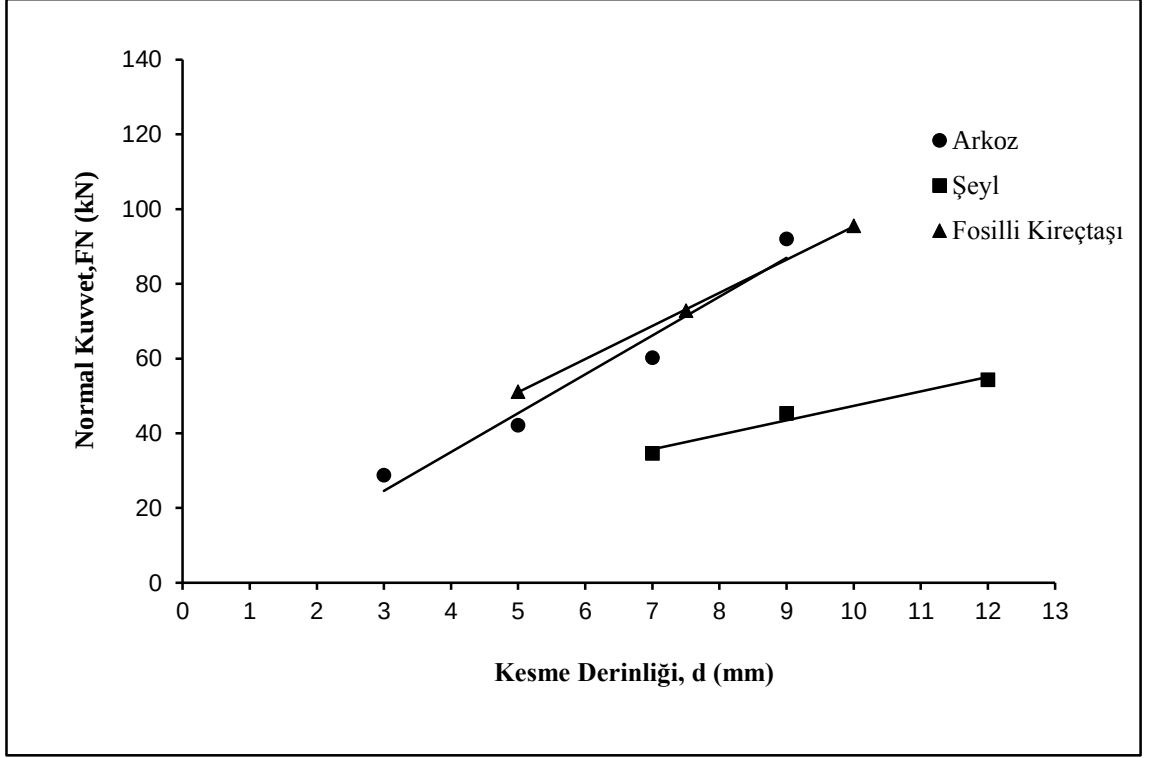
Şekil 2.29: Yardımsız kesme deneyleri sonunda laboratuvar normal kuvveti ile kesme derinliği arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).



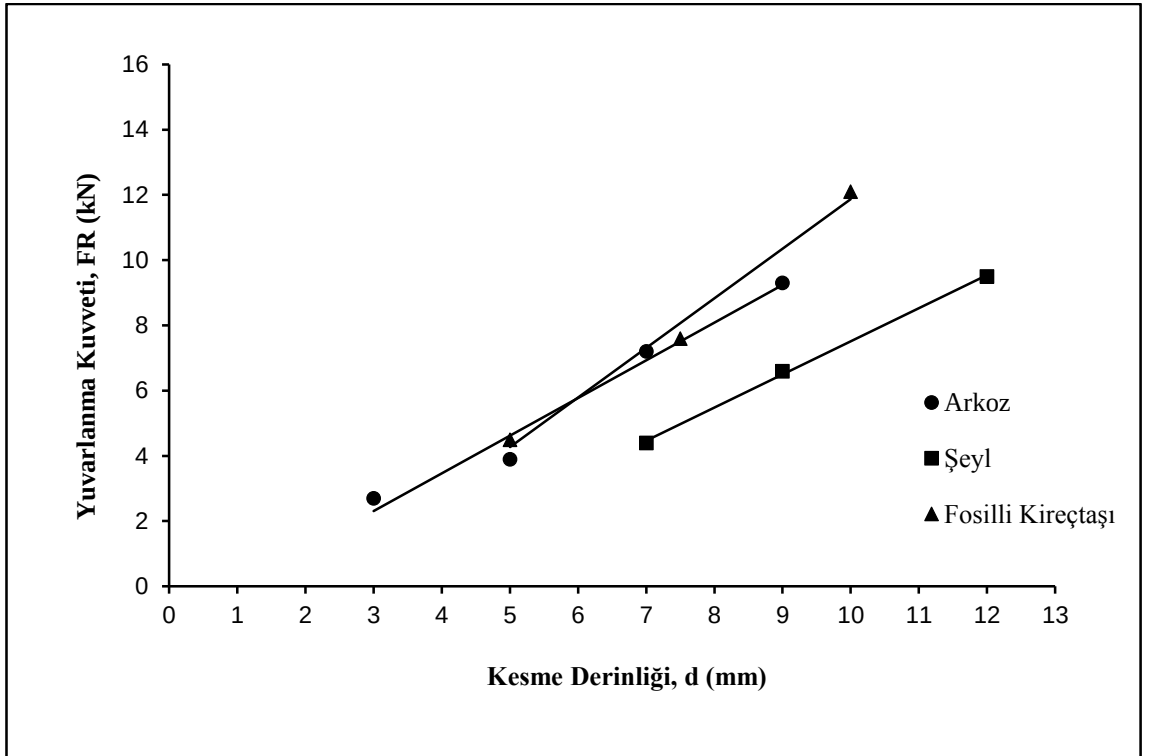
Şekil 2.30: Yardımsız kesme deneyleri sonunda laboratuvar yuvarlama kuvveti ile kesme derinliği arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).



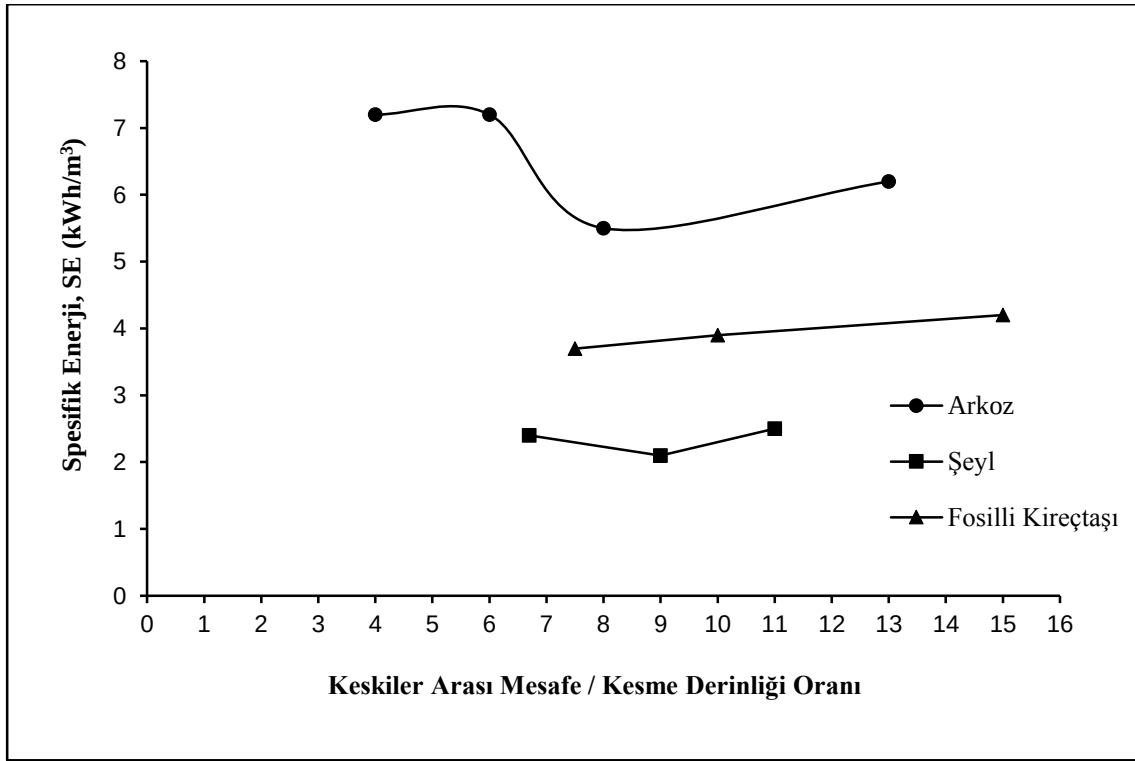
Şekil 2.31: Yardımsız kesme deneyleri sonunda spesifik enerji ile kesme derinliği arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).



Şekil 2.32: Yardımlı kesme deneyleri sonunda laboratuvar normal kuvveti ile kesme derinliği arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).



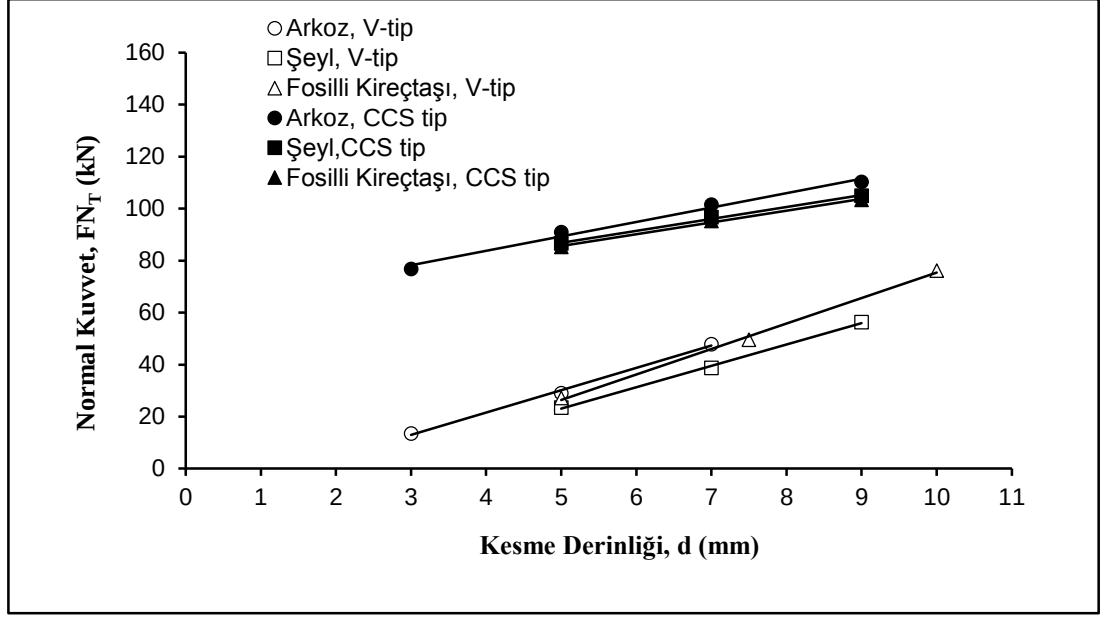
Şekil 2.33 : Yardımlı kesme deneyleri sonunda laboratuvar yuvarlama kuvveti ile kesme derinliği arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).



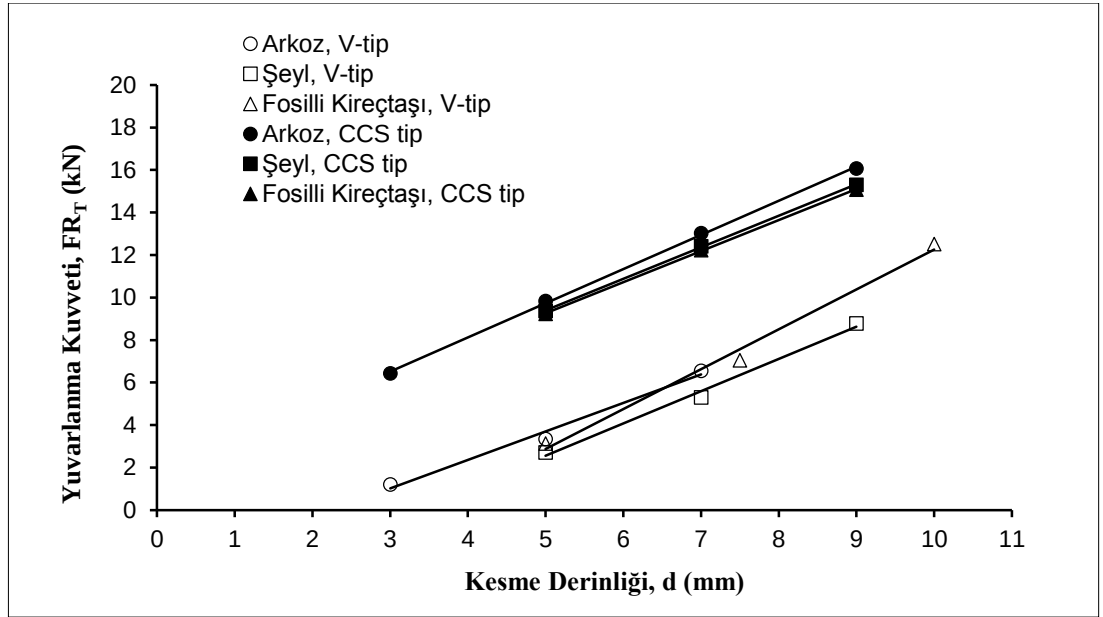
Şekil 2.34 : Yardımlı kesme deneyleri sonunda spesifik enerji ile kesmeler arası mesafe kesme derinliği oranı arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).

Aynı çalışma kapsamında Rostami ve Özdemir (1994) tarafından CCS tip kesmeler için ve Roxborough ve Phillips (1975) tarafından V tip kesmeler için önerilen modeller kullanılarak normal ve yuvarlama kuvvetleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler daha sonra keski kenar yarıçapının etkisini de hesaplama dâhil etmek amacıyla Bilgin (1977), tarafından geliştirilen modele uygun olarak tekrar hesaplanmış ve düzeltilmiş teorik kesme kuvvetleri elde edilmiştir.

Kesme derinliğine bağlı olarak CCS tip ve V tip kesmeler için hesaplanan teorik kesme kuvvetleri (FN_T , FR_T) karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiye bakılmıştır. Şekil 2.35 ve Şekil 2.36’ da verilen bu grafiklere bakıldığında hem normal kuvvet değerinin hem de yuvarlama kuvveti değerinin CCS tip kesmeler için daha fazla olduğu görülmektedir.



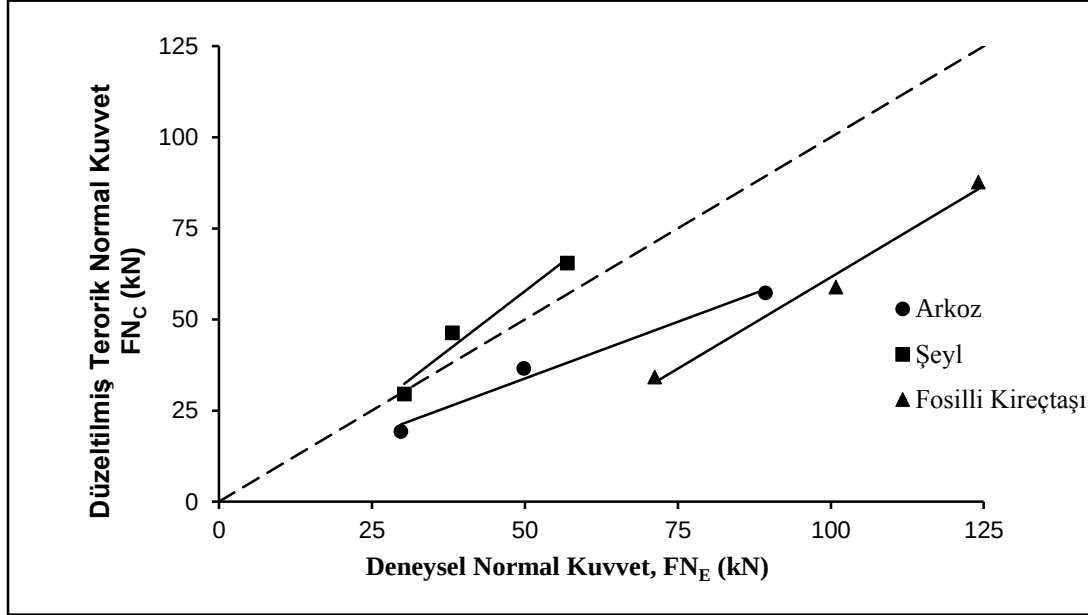
Şekil 2.35 : Kesme derinliği teorik normal kuvvet arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).



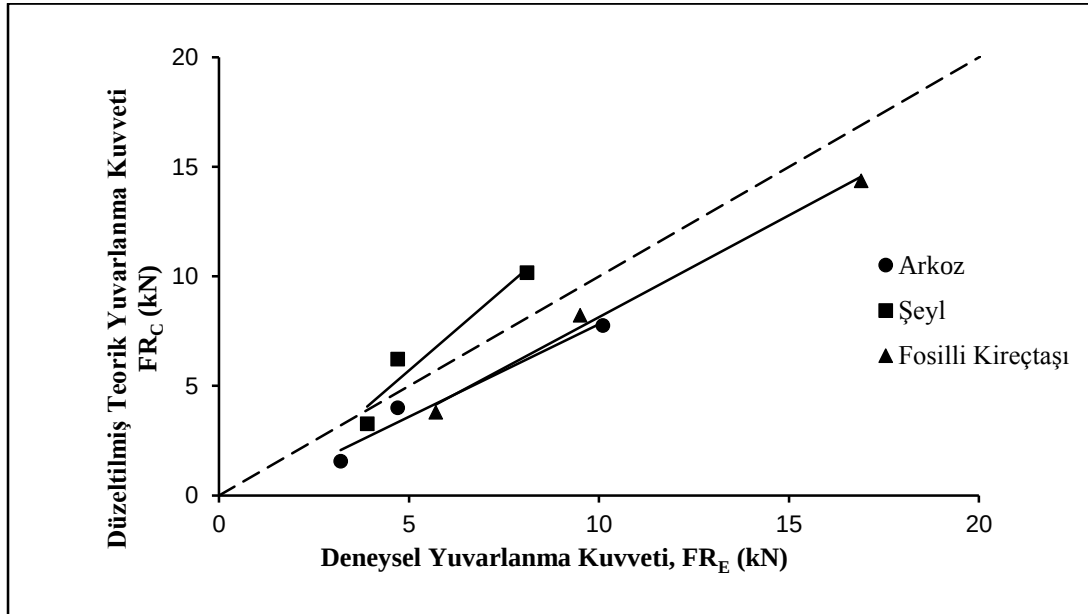
Şekil 2.36 : Kesme derinliği teorik normal kuvvet arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).

Keski kenar yarıçapına göre düzeltme katsayısıyla çarpılıp elde edilen düzeltilmiş normal ve yuvarlanma kuvvetleri değerleri ile deneyler sonunda elde edilen normal ve yuvarlanma kuvvetlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda düzeltilmiş kuvvet değerlerinin deneyler sonunda elde edilen değerlere daha yakın olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 2.37 – 38). Bu sonuçlara göre kazı yapılacak arazinin yapısal özelliklerinin yanı sıra, normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin hesaplanması için

kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerinin tek başına yeterli olmadığı disk keski kenar açısının da değerlendirilmeğe katılması gerektiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.37 : Düzeltilmiş teorik normal kuvvet deneysel normal kuvvet arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).



Şekil 2.38 : Düzeltilmiş teorik yuvarlama kuvveti deneysel yuvarlama kuvveti arasındaki ilişki (Balcı ve Tumaç, 2012).

Morrell ve diğ. (1970) tarafından 90° ve 60° uç açısına sahip iki farklı disk keski kullanılarak sedimanter kayaçlar üzerinde kesme deneyleri yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Bilgin (1977) ve Roxborough ve Phillips (1975) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elde ettikleri

sonuçlara benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Morrell ve diğ. (1970) tarafında yapılan bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak değişen her bir parametre için 90° uç açılı disk keski ile 60° uç açılı disk keski arasında bir oran belirlemiştir. Elde edilen bu oranlar Eşitlik 2.22 – 2.23 – 2.24 – 2.25 – 2.26 – 2.27’ de verilmiştir.

Her iki keski üzerine aynı dikey yönlü kuvvet değeri uygulandığında ($F_{N60} = F_{N90}$), 60° uç açılı disk keski ile açılan kesme hattının genişliğinin (W_{60}) 90° uç açılı disk keskiye (W_{90}) oranla daha geniş olduğu sonucu elde edilmiştir (Eşitlik – 2.33).

$$\frac{W_{60}}{W_{90}} = 1,32 \quad (2.33)$$

Aynı kesme derinliğinde ise ($d_{60} = d_{90}$), oluşacak kesme hattı genişliğinin oranı Eşitlik – 2.34’ te verilmiştir.

$$\frac{W_{90}}{W_{60}} = 1,27 \quad (2.34)$$

Eşit dikey yönlü kuvvet altında ($F_{N60} = F_{N90}$) birim miktar kazı işleminde, pasa - kesme hattı uzunluğu oranının (V/L) her iki keski için karşılaştırılması sonucu elde edilen oran ise Eşitlik – 2.35’ te verilmiştir. Bu eşitliğe göre 60° uç açısına sahip keskiyle yapılan kesme işleminde çıkan pasanın kesme hattı uzunluğuna oranının, 90° uç açılı disk keskiyle yapılan kesme işleminde elde edilen oranın yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir.

$$\frac{V/L_{60}}{V/L_{90}} = 2,06 \quad (2.35)$$

Aynı dikey yönlü kuvvet altında ($F_{N60} = F_{N90}$) her iki farklı keski için kesme derinlikleri (d_{60}, d_{90}) karşılaştırılmış ve 60° uç açılı keskinin 90° uç açılı keskiye oranla daha fazla kesme derinliği oluşturduğu görülmüştür (Eşitlik – 2.36).

$$\frac{d_{60}}{d_{90}} = 1,69 \quad (2.36)$$

Aynı kesme şartları (aynı kesme derinliği ve dikey kuvvet gibi) altında disk keskilere etki eden yuvarlanma kuvvetleri karşılaştırılmış ve 60° uç açılı disk keskiye etki eden yuvarlanma kuvvetinin (F_{R60}) 90° uç açılı keskiye etki eden yuvarlanma kuvvetinden (F_{R90}) daha fazla olduğu görülmüştür (Eşitlik – 2.37).

$$\frac{F_{R60}}{F_{R90}} = 1,46 \quad (2.37)$$

Kesme deneylerinde harcanan enerji miktarı aynı tutularak, kesme işlemi sonucunda kazılan malzeme miktarları karşılaştırılmış (V_{60}, V_{90}) ve aynı uzunluktaki kesme hattında 60° uç açılı keski ile elde edilen malzeme miktarının daha fazla olduğu sonucu çıkmıştır (Eşitlik – 2.38).

$$\frac{V_{60}}{V_{90}} = 1,42 \quad (2.38)$$

Morrell, J.,R., Larson, A.,L., (1974), tarafından yapılan diğer bir çalışmada 4 farklı sert kaya üzerinde tungsten karbid kesme uçlu disk keski kullanarak kesme deneyleri yapılmış ve disk keski tasarım parametrelerine ve kayaç özelliklerine bağlı olarak çeşitli eşitlikler elde edilmiştir.

90° uç açılı disk keski için, kayaç özellikleri ve normal kuvvet değerlerine bağlı olarak kesme derinliğinin hesaplanabilmesi için Eşitlik 2.39 önerilmiştir.

$$D_{90} = -0.006 + F_N \left(\frac{3.26 \times 10^{-4}}{SH} + \frac{1.75 \times 10^{-5}}{P} + \frac{13.92}{YM_s} \right) \quad (2.39)$$

Burada;

F_N : Normal kuvvet (KN)

SH : Shore sertliği

P : Yoğunluk (gr/cm^3)

YM_s : Young modülü (kN/mm^2)

90° uç açılı disk keski için Eşitlik 2.39 önerilmiş ve 60° uç açılı disk keski için kesme derinliğinin hesaplanabilmesi için Eşitlik 2.40 önerilmiştir.

$$D_{60} = 1,69 \times D_{90} \quad (2.40)$$

Kesme genişliğinin belirlenebilmesi için yine aynı çalışma sonucunda Eşitlik 2.41 önerilmiştir.

$$W = 0.025 + D \left(\frac{1.85 \times 10^4}{\sigma_c} + \frac{1.5 \times 10}{P} \right) \quad (2.41)$$

Kesme derinliğinin her bir kazı esnasında değişmesinden dolayı disk keskiye etki eden itme kuvveti (F_T) ve yuvarlanma kuvveti (F_R) değerleri de her bir disk keski geçişinde farklılık göstermektedir.

Bu durumda F_T ve F_R arasındaki ilişki Eşitlik 2.43' deki gibi olmaktadır.

$$\frac{F_T}{F_R} = \frac{D}{P} \sqrt{\frac{D-P}{D}} \quad (2.43)$$

Burada;

F_T : İtme kuvveti (kN)

F_R : Yuvarlanma kuvveti (kN)

D : Disk çapı (mm)

d : Toplam kesme derinliği (mm)

p : Artan boyut oranı (n)

Aşırı söküm durumunda itme kuvvetinin hesaplanmasında ise Eşitlik 2.44 kullanılmaktadır.

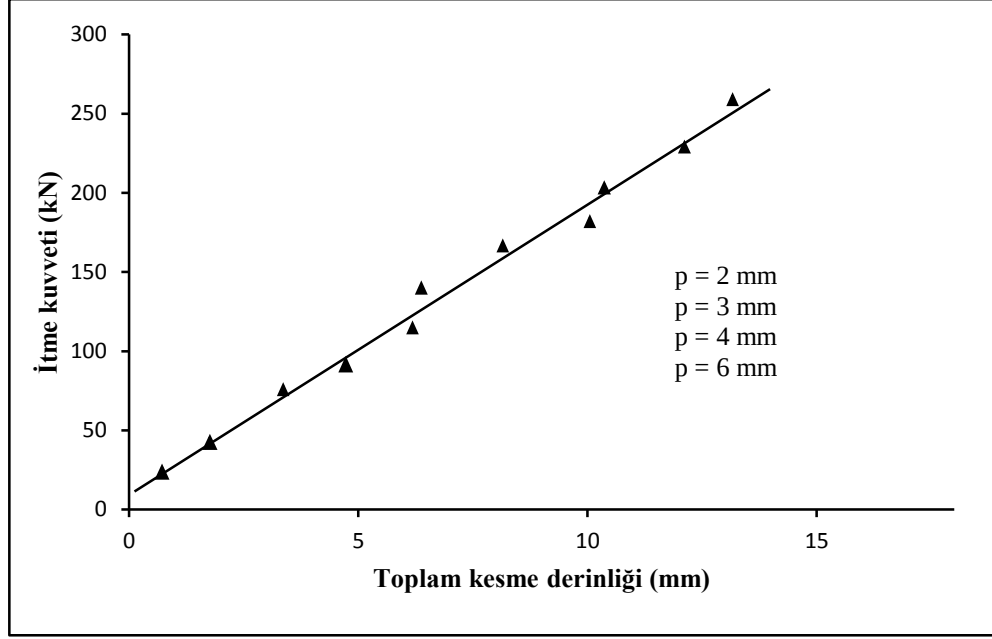
$$F_T = 4\sigma_c \tan \frac{\varphi}{2} \sqrt{D(n p)^3 - (n p)^4} \quad (2.44)$$

Burada;

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

φ : Disk uç açısı ($^\circ$)

Aşırı sökölmenin disk keski performansı üzerine etkisini araştırmak amacıyla South African Chamber of Mines Research Organization (COMRO) tarafından, basınç dayanımı yaklaşık 240 MPa, çekme dayanımı yaklaşık 12.2 MPa ve kesme dayanımı yaklaşık 42 MPa olan numuneler üzerinde disk keskiler (disk çapı: 305 mm, uç açısı: 105°) kullanılarak kesme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçları gösterir grafikler Şekil 2.40 – 41' de verilmiştir.

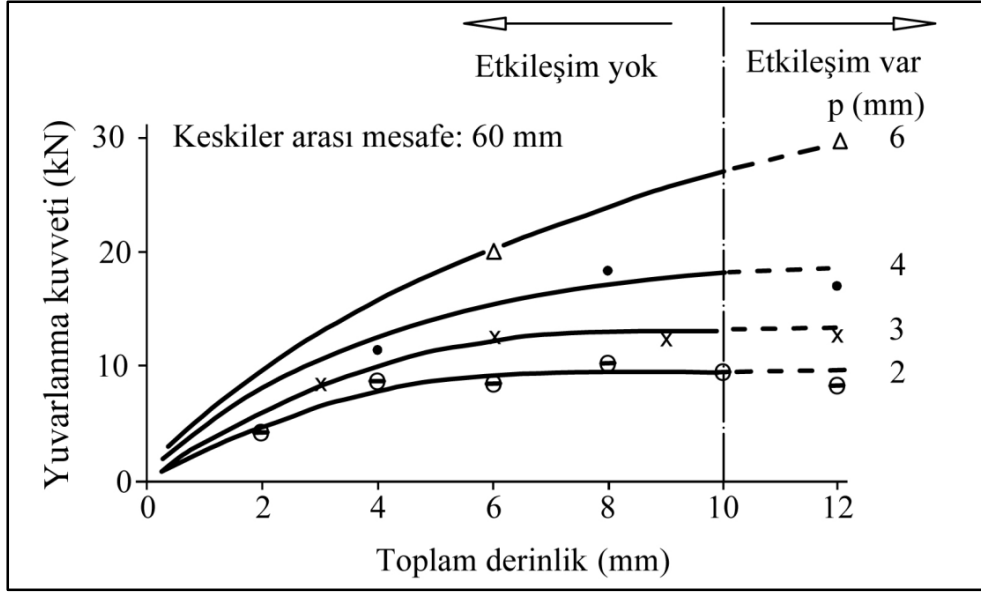


Şekil 2.40 : Disk keskinin kazı hattından çoklu geçişi sonucu toplam kesme derinliği ile itme kuvveti arasındaki ilişki (Roxborough, 2004).

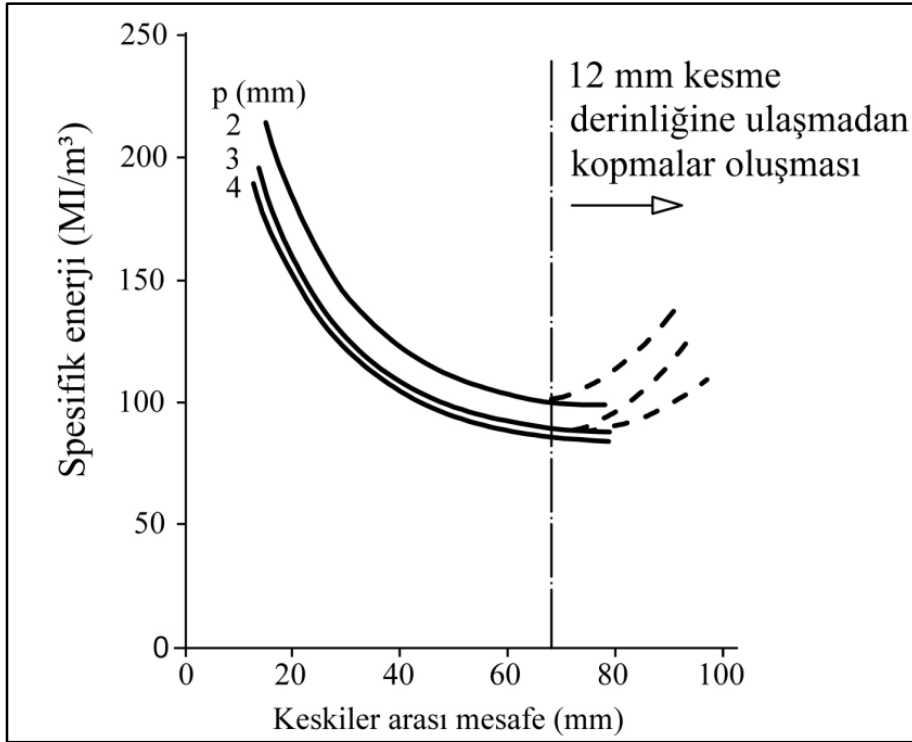
Şekil 2.40’ ta görüldüğü gibi disk keskinin aynı kazı hattında, farklı kesme derinliklerinde (p) oluşan toplam kesme derinliğine (d) bağlı olarak disk keskiye etki eden itme kuvveti çok fazla değişmemekte ve toplam kesme derinliği arttıkça itme kuvveti doğrusal olarak artmaktadır. Örneğin 6 mm kesme derinliğinde disk keskiye etki eden itme kuvveti yaklaşık 125 kN iken, disk keskinin aynı hattın ikinci geçişinde 6 mm’ lik kesme derinliği iki katına çıkarak 12 mm olmuş ve itme kuvveti de yaklaşık iki kat artarak 250 kN değerine ulaşmıştır.

Şekil 2.41’ de ise yuvarlanma kuvvetinin toplam kesme derinliği ile arasındaki ilişki verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi toplam derinlik (d) arttıkça yuvarlanma kuvveti artmakta fakat bu artış kesme derinliği (p) arttıkça daha fazla olmakta ve 100 mm toplam kesme derinliğinden sonra keskinler arasında etkileşim başlamaktadır.

Disk keskinlerle kazı esnasında kesme hattı derinleşmesi sonucu spesifik enerjinin keskinler arası mesafeye bağlı olarak değişimi Şekil 2.42’ de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi keskinler arası mesafe arttıkça 2, 3 ve 4 mm kesme derinliğinde spesifik enerji değeri azalmakta ve yaklaşık 70 mm’ lik kesme derinliğinde ise 12 mm toplam kesme derinliğine ulaşmadan kesme yüzeyinde kopmalar oluşmaktadır.

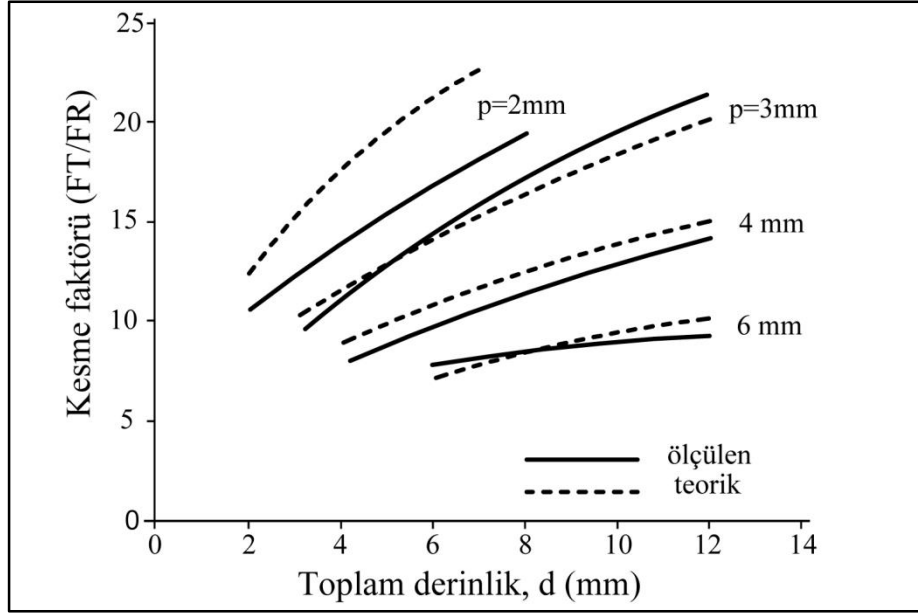


Şekil 2.41 : Disk keskinin kazı hattından çoklu geçişi sonucu toplam kesme derinliği ile yuvarlanma kuvveti arasındaki ilişki (Roxborough, 2004).



Şekil 2.42 : Kesme hattı derinleşmesi durumundaki kazılarda kesmeler arası mesafe ile spesifik enerji arasındaki değişim (Roxborough, 2004).

Disk keskinin aynı kazı hattından birden fazla geçmesi durumunda kesme faktörü (F_T/F_R) ile toplam derinlik arasındaki ilişkiyi gösterir grafik ise Şekil 2.43’ te verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi kesme derinliği (p) küçük olan kazı işlemlerinde disk keskinin aynı hattan geçmesiyle elde edilen kesme faktörünün değişimi daha fazla olmaktadır.



Şekil 2.43 : Disk keskinin kazı hattından çoklu geçişi sonucu toplam kesme derinliği ile kesme faktörü arasındaki ilişki (Roxborough, 2004).

2.7.2 Disk keskinin körelmesi

Kazılabilirlik konusunda önemli bir etkende kesici uçların körelmesidir. Keskinin körelmesi kazı işleminin yapıldığı kayacın özellikle aşındırıcılık özellikleriyle alakalıdır. Keskinin aşınması sonucunda keskinde körelme oluşmakta ve bu da kazı performansını etkilemektedir.

Disk keskinler aynı tür kayaç kazısında kalem uçlu keskinlere oranla daha az aşınmaktadır. Ancak disk keskinin sıkışması gibi özel durumlarda serbest dönememesi halinde aşınma oranı yüksek oranda artmaktadır. Aşınarak körelen keskinin geometrisi ilk imal edildiği haliyle kalmayacağından bu keski üzerine etki eden kuvvelerde değişecek ve kazı performansı etkilenecektir. Bu nedenle disk keskinin körelmesi sonucunda keskinde oluşan disk ilerleme kaybının bulunması amacıyla Eşitlik 2.45 önerilmiştir (Roxborough, 2004). Bu eşitlikten elde edilen yeni disk ilerleme değeriyle disk keskiye etki eden kuvvetler yeniden hesaplanabilmektedir.

$$p_w = \frac{f}{2 \tan \frac{\phi}{2}} \quad (2.45)$$

Burada;

p_w : Disk ilerleme kaybı

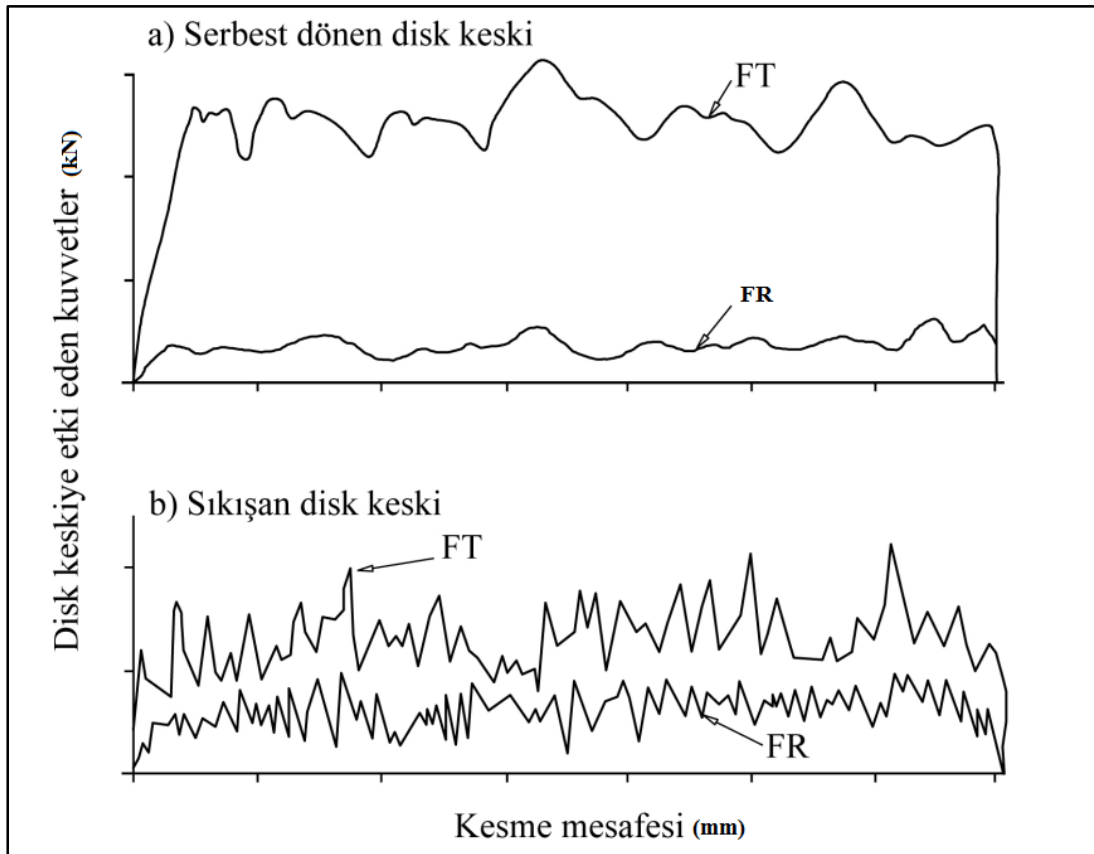
f : Disk uç genişliğindeki aşınma miktarı

φ : Uç açısı

2.7.3 Disk keskinin sıkışması

TBM kazıları sırasında karşılaşılan birçok problem vardır. Bunlardan birisi de TBM' in kesici kafasına yerleştirilen disk keskinin sıkışması ve dönmemesi problemidir. Böyle bir durumda kesici uç üzerine etki eden kuvvetler anormal şekilde değişecektir. Disk keski üzerine etki eden kuvvetlerin keskinin sıkışıp dönmemesi durumundaki değişimi Şekil 2.44' te verilmiştir.

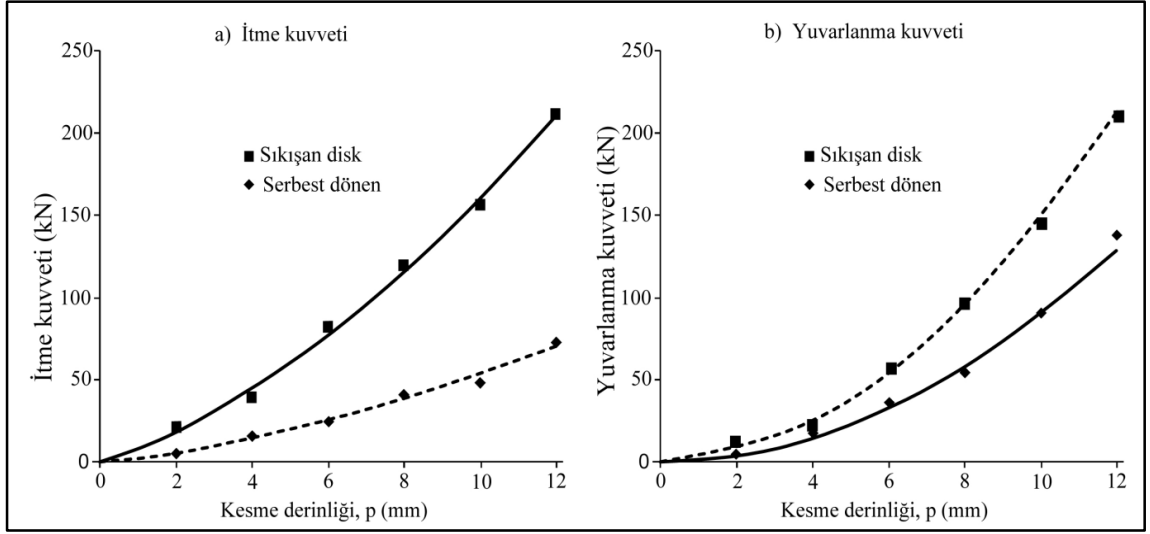
Şekilde 2.44' te görüldüğü gibi disk keskinin serbest dönmesi durumuna kıyasla keskinin sıkışması halinde ani olarak yuvarlanma kuvveti artmakta ve itme kuvveti azalmaktadır.



Şekil 2.44 : Serbest dönen ve sıkışan disk keskinin üzerine etki eden kuvvetlerin gösterimi (Roxborough, 2004).

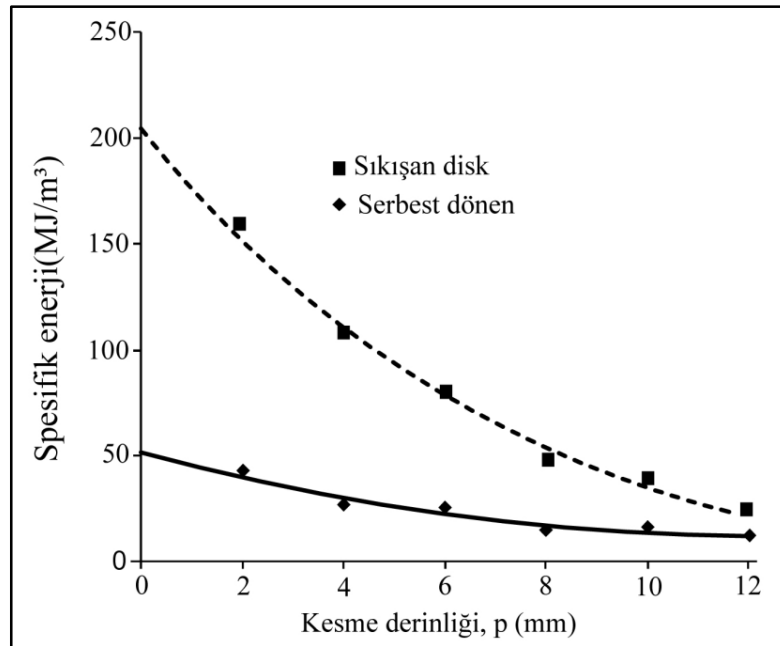
Şekil 2.45' te kumtaşı üzerinde yapılan kesme deneyleri sırasında serbest dönen ve sıkışan keskinin üzerine etki eden kuvvetlerin değişimi gösterilmiştir. Yine bu

şekillerde itme kuvvetinin sıkışan keselerde düştüğü (a) ve yuvarlanma kuvvetinin ise arttığı görülmektedir (b).



Şekil 2.45 : Kesme derinliğine bağlı olarak serbest dönen ve sıkışan disk keski üzerine gelen itme kuvvetinin (a) ve yuvarlanma kuvvetinin (b) değişimi (Roxborough, 2004).

Yine sıkışan ve serbest dönen disk keskilerin karşılaştırılması konusunda incelenmesi gereken konulardan biriside spesifik enerji değişimidir. Şekil 2.46’ da bu değişimi gösterir grafik verilmiş olup grafikten kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji değişiminin sıkışan keselerde daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 2.46 : Serbest dönen ve sıkışan disk keskiler için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerjinin değişimi (Roxborough, 2004).

2.8 TBM Performans Tahmin Yöntemleri

Tam cepheli tünellerin açma makinelerinin performans tahmini için birçok model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerde daha çok kayaç özelliklerine bağlı değişkenler ve kazıcı makine özelliklerine bağlı değişkenler kullanılmıştır. Burada özellikle disk keski tasarım parametrelerinin kullanıldığı ve kabul görmüş modellerden bahsedilecektir.

Trondheim Üniversitesi ve Norveç Teknoloji Enstitüsü tarafından 1994 yılında TBM performans tahmini için bir model geliştirilmiştir. Bu modelde; kayaçların dayanımı, kırılabilirlik, aşındırıcılık ve çatlak yapısı ile makine özelliklerinden bir keskiye gelen kuvvet, keski yapısı, keski çapı, keski arası mesafe, tork ve devir sayısı dikkate alınmaktadır. Bu yöntemde kazılacak kayaya kırılabilirlik testi, minyatür delme testi ve aşındırıcılık testleri uygulanır ve arazide çatlak sistemleri gözlemlenir. Keski aşınmasının tahmininde aşındırıcı mineral yüzdeleri de göz önünde bulundurulur. Elde edilen indeks değerler, tünellerin özellikleri ve makine spesifikasyonları çeşitli abaklar üzerinde kullanılarak itme kuvveti net ilerleme hızı, keski sarfıyatı, makineden faydalanma oranı ve maliyetler tahmin edilebilir. Bu yaklaşım ile performans tahmini için Eşitlik 2.46 kullanılmaktadır (University of Trondheim, 1994).

$$P = i_b \cdot K_s \cdot K_d \quad (2.46)$$

Burada;

P : Bir devirdeki ilerleme (mm/devir)

i_b : Keski başına düşen kuvvet

K_d : Keski çapı için düzeltme faktörü

K_s : Çatlak sıklığı için düzeltme faktörü

Hughes (1986) tarafından yine disk keski tasarım parametrelerinin ve makine özelliklerinin kullanıldığı bir performans tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelde kayaç özelliklerinin belirlenebilmesi için de kayacın tek eksenli basınç dayanımı değeri modelde kullanılmıştır. Geliştirilen bu model Eşitlik 2.47' de verilmiştir.

$$V = \frac{6.P^{1,2}.N.n}{\sigma_c^{1,2}.r^{0,6}}$$

(2.47)

Burada;

V : Kazı hızı (m/h)

P : Keski basına itme kuvveti (kN)

N : Kesici kafa dönüş hızı (devir/sn)

n : Disk sayısı

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm²)

r : Disk yarıçapı (m)

Ayrıca makine gücü Eşitlik 2.48' den hesaplanabilmektedir.

$$Makine \text{ gücü (kW)} = 28,45.D + 9,07.D^2 \quad (2.48)$$

Burada;

D : Makine çapı (m)

Rostami ve diğ. (1994) tarafından Colorado School of Mines' ta geliştirilen başka bir performans tahmin modeli gerçek boyutlu bir keski ile kaya bloğunun kesilmesi ve gerekli spesifik enerjinin hesaplanması esasına dayanmaktadır. Tam boyutlu kesme deneylerinde araziden getirilen blok numuneler gerçek boyuttaki keski ile kesilir. Kesme işlemi sırasında keski üzerine gelen kuvvetler ölçülür. Daha sonra spesifik enerji değeri hesaplanarak Eşitlik 2.49 kullanılarak kazı miktarı teorik olarak hesaplanmaktadır.

$$ICR = k \cdot \frac{P}{SE_{opt}} \quad (2.49)$$

Burada;

ICR : Kazı miktarı (m³/h)

P : Kesici kafa gücü (kW)

SE_{opt} : Optimum spesifik enerji (kWh/m³)

k : Kesici kafa gücünü kayaca iletme katsayısı (0,85-0,90)

Robbins marka tünel açma makinesi üzerinde Graham tarafından bir çalışma yapılmış ve performans tahmini için Eşitlik 2.50 geliştirilmiştir (Graham, 1976).

$$P = 3940x \frac{F_c}{\sigma_c} \quad (2.50)$$

Burada;

P : Bir devirdeki ilerleme (mm/devir)

F_c : Ortalama kesme kuvveti (kN)

σ_c : Kayacın basınç dayanımı (kPa)

Rostami (2008), tarafından geliştirilen başka bir performans tahmin modelinde, tünel açma makinelerinin tasarım parametreleri detaylıca kullanılmıştır. Model performans tahmini için basit simülasyon modellerinin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Elde edilen model Eşitlik 2.51 – 52’ de verilmiştir.

$$ROP = p \cdot RPM \cdot \frac{60}{1000} \quad (2.51)$$

$$AR = ROP \cdot U \cdot 24 \quad (2.52)$$

Burada;

ROP : TBM ilerleme hızı, m/h

P : Kesici kafanın dönüşünde elde edilen kesme derinliği, mm/devir

RPM: Kesici kafa dönüş hızı, devir/dak

AR : Günlük ilerleme hızı, m/gün

U : Makineden faydalanma oranı

Graham (1976) tarafından geliştirilen modele benzer bir model de Farmer ve Glossop (1980) tarafından geliştirilmiş ancak bu model de kayacın tek eksenli basınç dayanımı yerine kayacın çekme dayanımı değeri kullanılmıştır (Eşitlik 2.53).

$$P = 624x \frac{F_c}{\sigma_t} \quad (2.53)$$

Burada;

P : Bir devirdeki ilerleme miktarı (mm/dev)

F_c : Ortalama kesme kuvveti (kN)

σ_t : Kayacın çekme dayanımı (kPa)

Bamford (1984) tarafından geliştirilen başka bir modelde ise TBM özellikleri ile birlikte kayaç özelliklerinin tanımlanması amacıyla yerinde yapılan Schmidt çekici deney sonuçları ve içsel sürtünme açısı değeri kullanılmıştır (Eşitlik 2.54). Bunun yanında yine Bamford (1984) tarafından geliştirilen Eşitlik 2.55 kullanılarak TBM keski tüketimi de hesaplanabilmektedir. Keski tüketimi hesaplanırken kayacın darbe dayanımı değeri modele dâhil edilmiştir.

$$ICR: 0,535S - 8,49 - 0,00344T - 0,000823N + 0,0137\emptyset \quad (2.54)$$

$$Keski \text{ tüketimi } \left(\frac{keski}{km} \right) = 1,73S - 8,3 + 0,0259T - 0,0319RIHN + 0,0344\emptyset \quad (2.55)$$

Burada;

ICR : Net kazı hızı (m/h)

S : Schmidt çekici değeri

T : Makine itme gücü (kN)

N : Koni delici indeksi (N/mm)

$\emptyset$: İçsel sürtünme açısı ($^{\circ}$)

$RIHN$: Darbe dayanımı indeksi

Kayaç kütle özellikleri kullanılarak elde edilen bir model de Cassinelli ve diğ. (1982) tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model de RMR değeri kullanılarak TBM net kazı miktarı tahmin edilebilmektedir (Eşitlik 2.56).

$$ICR = -0,0059RMR + 1,59 \quad (2.56)$$

Burada;

ICR : TBM kazı hızı (m/h)

RMR : Kaya kütle puanı

Wijk (1992) tarafından geliştirilen başka bir model de ise kayacın tek eksenli basınç dayanımı değeri ile hem disk keski hem de makine özellikleri kullanılmıştır. Bu yaklaşımda keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetleri Eşitlik 2.57 – 2.58 kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan kuvvet değerlerinden sonra Eşitlik 2.59 – 61 kullanılarak TBM performansı tahmin edilebilmektedir.

$$FT = 3. (w + x. \tan(\theta)). \sigma_c. \sqrt{x. d} \quad (2.57)$$

$$FR = 3. \sigma_c. x. (w + 2. x. \frac{\tan(\theta)}{3}) \quad (2.58)$$

$$\mu = \frac{FR}{FT} \quad (2.59)$$

$$G = N. FT \quad (2.60)$$

$$T = \mu. G. D. \frac{N+1}{4.N} \quad (2.61)$$

Burada;

FT : İtme kuvveti (N)

FR : Yuvarlanma kuvveti (N)

W : Disk uç genişliği, m

x : Kesme derinliği, m

d : Disk keski çapı, m

σ_c : Kayacın basınç dayanımı (Pa)

θ : Disk keski uç açısı/2 (°)

G : TBM toplam itme gücü (N)

D : Tünel çapı (m)

N : Disk keski sayısı

μ : Sürtünme kayıpları

3. YENİ TAŞINABİLİR DOĞRUSAL KAZI DENEY SETİNİN GELİŞTİRİLMESİ

3.1 Daha Önce Geliştirilen Kazı Deney Setleri ve Yapılan Çalışmalar

Kayaç kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri laboratuvar ortamında yapılan kaya kesme deneyleridir (ISRM, 1981). Bu deney yöntemlerinin ülkemizde ilk kullanımı özellikle 1980' li yıllardan sonra İTÜ ve ODTÜ' de kazı mekaniği alanında yapılan çalışmalarla hız kazanmıştır (Bilgin ve Shahriar, 1987; Ceylan, 1987). İTÜ' de kazı mekaniği alanında ilk çalışmalar küçük boyutlu kazı deney setinin kurulmasıyla başlamıştır (Bilgin ve Shahriar, 1987). Şekil 3.1' de gösterilen küçük boyutlu kazı deney seti McFeat-Smith ve Fowell (1977,1979) tarafından geliştirilmiş standart bir laboratuvar deneyidir.



Şekil 3.1 : İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekanizasyonu ve Teknolojileri Laboratuvarında bulunan küçük boyutlu kazı deney seti.

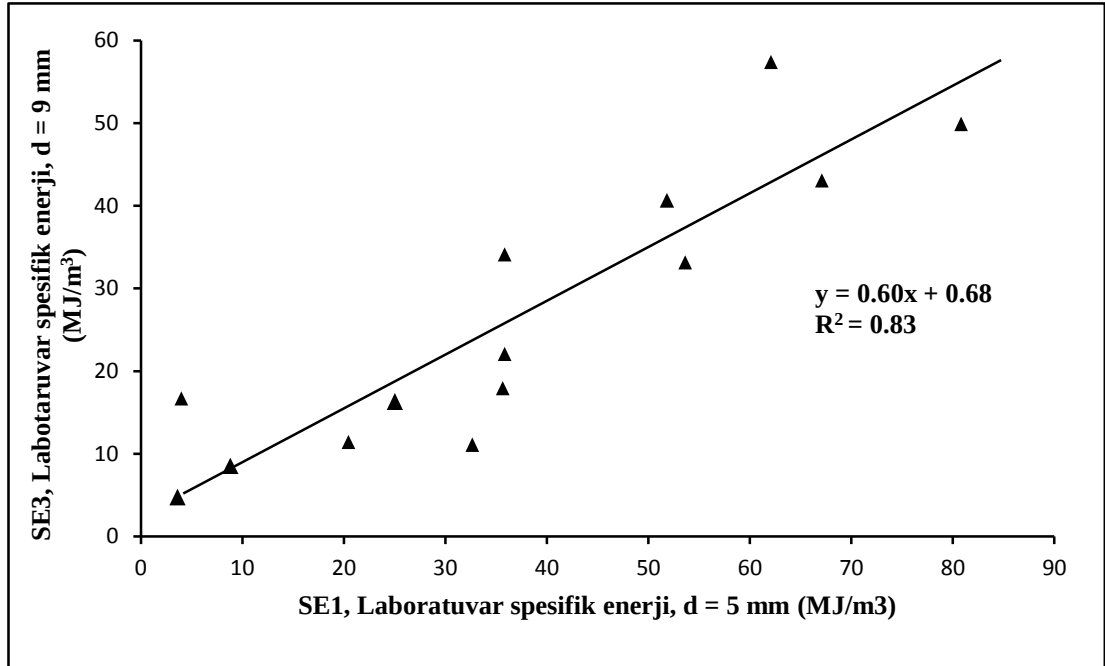
Küçük boyutlu kesme deneylerinde 7.6 cm çapında karot veya 20 x 10 x 10 cm boyutlarında numune kullanılmaktadır. Numune sabitlendikten sonra kesme açısı -5° , temizleme açısı 5° ve genişliği 12.7 mm olan kama uçlu keski kullanılarak 5 mm kesme derinliğinden kesilir (McFeat – Smith ve Fowell, 1977). Kesme sırasında oluşan kuvvetler birim deformasyon ölçer ile donatılmış dinamometre ile bilgisayara kayıt edilir. Kayıt edilen kesme kuvvetlerinin ortalaması, birim kesme hattından çıkan pasa miktarına bölünerek spesifik enerji bulunur. Bulunan bu indeks değer daha önceden geliştirilmiş abak yardımıyla kollu galeri açma makinelerinin performans tahmininde kullanılır (Fowell ve McFeat - Smith 1976; McFeat - Smith, Fowell, 1977). Laboratuvarında ölçülen spesifik enerjiye göre masif çatlak aralığı geniş formasyonlarda kullanılabilecek kollu galeri açma makinelerinin tiplerini ve karşılaşılabilecek problemleri belirten bir sınıflama sistemi geliştirmişlerdir (McFeat - Smith ve Fowell, 1979).

Kayaçların kazılabilirliğinin araştırılmasında yaygın olarak kullanılan bu test cihazı ülkemizde Ortadoğu Teknik ve Selçuk Üniversitelerinde de mevcuttur (Dursun, 2012). Ayrıca küçük boyutlu kazı deney setinde yapılan kazı deneyleri yardımıyla doğal taş üretiminde yaygın şekilde kullanılan zincirli mermer kesme makinelerinin performanslarının artırılmasıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır (Çopur ve diğ., 2008, 2010). Yapılan bu çalışmada araştırmacılar doğal taşlar üzerinde kesme deneyleri yaparak kesici kol üzerinde keskinin yerleştirilmesiyle ilgili bir model önermişlerdir.

Kollu galeri açma makinelerinin veya zincirli mermer kesme makinelerinin tasarımında veya performans tahmininde küçük boyutlu kazı seti kullanılabilsede, ülkemizde özellikle son zamanlarda artan tünel projelerinde TBM kullanımının artmasına paralel olarak TBM projelerinin daha sağlıklı yapılabilmesi için Tam Boyutlu Doğrusal Kazı Deney Seti' ne ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda tam boyutlu doğrusal kaya kesme deney seti, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü' nde, Türkiye' deki mekanize tünel açma yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla NATO-TU projesi çerçevesinde kurulmuştur (Eskikaya ve diğ, 2000). Tam boyutlu doğrusal kazı seti; tam cepheli tünel açma makineleri (TBM), kısmi kesitli tünel açma makineleri (roadheader), kesici yükleyiciler (shearer-loader), sürekli kazıcılar (continuous miner) gibi mekanize kazı makinelerinin performansını tahmin etmek amacı ile kullanılmaktadır.

Tam boyutlu doğrusal kazı setinde gerçek boyuttaki keskilerle farklı kesme derinliklerinde keskiler arası mesafeler değiştirilmekte, bu sayede bu değerler için normal kuvvetler, kesme kuvvetleri, yanal kuvvetler ve spesifik enerji değerleri bulunabilmektedir. Spesifik enerji değeri bulunduğundan sonra bir tünel açma makinesinin net kazı hızı geliştirilen bir model kullanılarak hesaplanabilmektedir (Rostami ve diğ., 1994).

Tam boyutlu doğrusal kazı setiyle küçük boyutlu kazı deney seti arasındaki ilişkiler daha sonra yapılan bir doktora çalışması kapsamında incelenmiştir (Balcı, 2004). Balcı (2004) tarafından yapılan bu çalışma kapsamında farklı kesme derinliğinde ve keskiler arası mesafeler değiştirilerek hem küçük boyutlu hem de büyük boyutlu kazı setinde birçok kesme deneyleri yapılmıştır. Kesme deneyleri sonucunda elde edilen farklı sonuçlar karşılaştırılarak aradaki ilişki kontrol edilmiştir (Balcı, 2004; Balcı ve Bilgin, 2007). Şekil 3.2’ de yapılan bu çalışma sonucunda her iki deney setinden elde edilen spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkiye ait grafik verilmiştir.



Şekil 3.2 : Küçük boyutlu kazı deney seti spesifik enerji değeri (SE1) ve tam boyutlu kazı deney seti spesifik enerji değeri (SE3) arasındaki ilişki (Balcı ve Bilgin, 2007).

İTÜ Maden Mühendisliği Bölümünde kurulan tam boyutlu ve küçük boyutlu kazı deney setleri kullanılarak yapılan sanayiye yönelik projeler ve bilimsel çalışmalar sırasında yapılan kazı deneyleri sonucunda, bu deney setlerinin dezavantajları tespit edilmiştir. Örneğin; büyük boyutlu kazı setinde kazı deneyi için büyük blok

gerektiğinden ve deneyin yapılabilmesi için yetişmiş insan gücüne ihtiyaç duyulduğundan bu deney her zaman yapılamamaktadır. Buna karşın küçük boyutlu kazı setinde karot numune veya küçük blok numuneler üzerinde kazı deneyi yapılabilir ancak bu deney setinde ise sadece kama uçlu keskinlerle deney yapılabilir olduğundan TBM projelerinde bu deney seti kullanılamamaktadır. Ayrıca her iki deneyde sadece laboratuvar ortamında kullanılabildiğinden, kullanımı daha pratik ve taşınabilir bir kazı setinin geliştirilmesine İTÜ Maden Mühendisliği bölümünde 2004 yılında başlanmıştır (Bilgin ve diğ., 2006). Daha sonra yapılan çalışmalar sonucunda “taşınabilir (minyatür) doğrusal kazı seti” genel hatları ile ortaya çıkmıştır (Bilgin ve diğ., 2006, Feridunoğlu, 2009). Şekil 3.3’ te verilen taşınabilir doğrusal kazı setiyle hem laboratuvar ortamında hem de arazide daha pratik ve daha ucuz kazı deneylerinin yapılması amaçlanmıştır.



Şekil 3.3 : Taşınabilir doğrusal kazı seti.

Daha sonra yapılan bir çalışmada geliştiren taşınabilir doğrusal kazı seti ile tam boyutlu kazı seti arasındaki ilişkiler araştırılmıştır (Tumaç, D., 2010). Tumaç (2010), tarafından yapılan çalışmada aynı tür kayaç örnekleri üzerinde disk keskinler kullanılarak tam boyutlu doğrusal kazı deney setinde ve mini disk keskinler kullanılarak taşınabilir doğrusal kazı deney setinde kesme deneyleri yapılmış ve seçilen bir TBM

için tasarım parametreleri farklı farklı hesaplanmıştır. Daha sonra tam boyutlu kazı seti ile taşınabilir kazı seti arasındaki ilişki üzerinde durulmuş ve iki deney seti sonuçları arasında TBM performansı tahmini açısından bir ilişkinin olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak yapılan tork tahmininde tam boyutlu kazı setinden elde edilen değerin taşınabilir kazı setinden elde edilen değerin yaklaşık 2 katı, g tahmininde bu oranın yaklaşık 2 kat, itme kuvveti oranının yaklaşık 4 kat ve net kazı hızı oranının ise yaklaşık 25 kat olduğu belirlenmiştir.

3.2 Geliştirilen Yeni Taşınabilir Doğrusal Kazı Deney Seti (PLCM)

Tasarlanan yeni taşınabilir doğrusal kaya kesme deney seti (PLCM) yurtiçinde imal ettirilmiş ve bu deney setinin genel bir görünümü şekil 3.4' te verilmiştir.



şekil 3.4 : Taşınabilir doğrusal kaya kesme setinin genel görünümü

Geliştirilen yeni taşınabilir doğrusal kaya kesme seti tasarlanırken deney setinin çalışma prensibi uluslararası çapta kabul görmüş ve gerçek keskilerle deney yapma imknı sağlayan tam boyutlu kaya kesme deney setinin (LCM) alışma prensibi esas alınmış ve tasarımılandırma ona göre yapılmıştır. şöyle ki; PLCM deney setinde LCM deney setinde olduğu gibi keskici uç sabit tutulmakta ve içerisine numune yerleştirilmiş olan kesme kutusu hidrolik pistonlar yardımıyla hareket ettirilerek doğrusal bir kaya kesme işlemi yapılmaktadır. 115 x 300 x 250 mm (Yükseklik,

Genişlik, Uzunluk) boyutlarına kadar keserek yüzeyi düzeltilmiş bir kayaç numunesini içine yerleştirilebilen kesme kutusu bir mengene sistemi içersine yerleştirilmekte ve bu sistem hidrolik silindir vasıtasıyla tezgâh üzerinde hareket ettirilebilmektedir. Bunun yanında keskiler arası mesafe ve kesme derinliği değerlerinin ayarlanabilmesi için kaya kesme seti yatayda ve düşeyde hareket ettirilebilmektedir. Keskiler arası mesafe ve kesme derinliği değerlerinin ayarlanabildiği sistemlerin görünümü Şekil 3.5 – 3.6’ da verilmiştir.



Şekil 3.5 : Keskiler arası mesafenin ayarlama aparatının görünümü.



Şekil 3.6 : Kesme derinliği ayarlama aparatının görünümü

Geliştirilen yeni taşınabilir doğrusal kaya kesme deney setinde kama ve konik keskiler (Şekil 3.7) ve özel imal ettirilen mini diskler (CCS ve V-Tipi) (Şekil 3.8) ile kaya kesme deneyleri yapılabilmektedir.



Şekil 3.7 : Kama ve konik disklerin görünüşü.



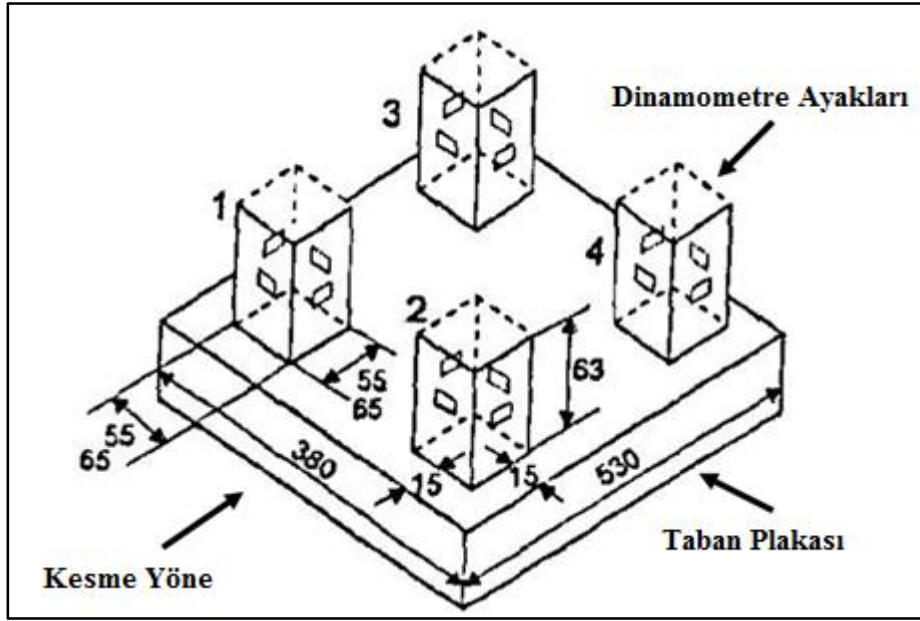
Şekil 3.8 : Mini disklerin (CCS ve V-Tipi) görünüşü.

3.2.1 Ölçme sisteminin tasarımı ve imalatı

Taşınabilir doğrusal kaya kesme setinde kullanılması düşünülen kuvvetölçer ve ölçme sistemi tasarımı yapılırken yine tam boyutlu doğrusal kaya kesme setindeki gibi olması planlanmıştır. Tam boyutlu kesme deney seti veri toplama sistemi donanım

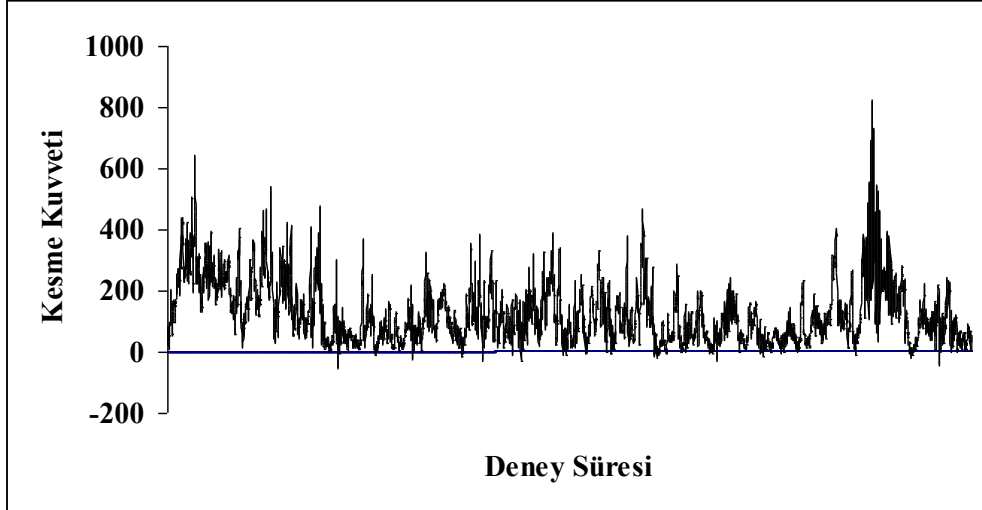
olarak, analog / dijital dönüştürücü kart olan bir bilgisayar, gerilim pulu' na akım besleyen ve köprülerdeki gerilimi dengeye getiren amplifikatör, sinyal koşullayıcı ve gerilim pulundan oluşmaktadır. Kesme sırasında toplanan veriler özel geliştirilen yazılım ile analiz edilir.

Dinamometre yüksek kaliteli uçak alüminyumundan yapılmıştır ve 50 ton dikey, 20 ton yatay kuvvet kapasitelidir. Kesme deneyi sırasında keskiye gelen kuvvetler Şekil 3.9' da verilen dinamometrenin 4 ayağında bulunan gerilim pulu köprüleri sayesinde ölçülmektedir.



Şekil 3.9 : Kuvvet ölçer (Dinamometre) iç yapısının görünümü

Gerilim pulları yatay ve düşey olarak yapıştırıldıkları ayaklarda meydana gelen deformasyon ile uzayıp kısalır ve en kesitleri dolayısı ile dirençleri değişir. Böylece dengede olan gerilim pulu köprülerinde potansiyel fark oluşmaktadır. Bilgisayarda bulunan analog / dijital dönüştürücü kart, kuvvet ile oluşan bu potansiyel fark sinyalini sayısallaştırarak saniyede 2000 defa kayıt eder (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : Kesme kuvvetlerinin kesme hattı boyunca değişimi

3.2.2 Ölçme sistemi elemanları ve tanıtılması

Kaya kesme esnasında, keskilere birbirlerine dik üç yönde kuvvetler gelmektedir. Birbirlerine dik üç yöndeki kuvvetleri ölçmek için bu çalışmada gerilimölçer (gerilim pulu) tabanlı bir ölçme sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle gerekli literatür araştırmaları sonucu gerilimölçerli (gerilim pulu) 2 tonluk kuvvetleri ölçebilecek bir dinamometre tasarımı yapılmış ve yapılmıştır. Şekil 3.11’ de kuvvet ölçerin (dinamometrenin) genel görünüşü ve test cihazına montajı görülmektedir.



Şekil 3.11 : Dinamometrenin genel görünüşü ve test cihazına montajı

Dinamometrenin yapımında kullanılan malzeme, 5083 alüminyum serisi olup fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir. Ölçme kirişlerinin hassasiyeti ± 0.02 mm. Toleransla işlenmiştir.

Çizelge 3.1 : Dinamometrenin yapımında kullanılan alüminyum malzemenin özellikleri.

Birincil Alüminyum Alaşımı	5083
Kimyasal Bileşimi	ALMG 4.5 MN
Standart	-AFNOR A-G 4.5 MC-UNI 7790-BS N8
Gerilim Gücü (RM)	min 275 N/mm ²
Akma Dayanıklığı (Rp 0.2)	min 125 N/mm ²
Uzama (A5%)	max 17
Brinel Sertlik HB	min 70
Spesifik Ağırlık (yoğunluk)	2.66 kg/dm ³
Isı İletkenliği	110-120 W/M* K
Elektrik İletkenliği	17 M/OHM-mm ²
Elastisite Modülü	71.000 N/mm ²
Lineer Isıl Genleşme	23.8 * 10-6/K
İşlenebilirlik	Orta
Kaynak Edilebilirlik	Yüksek
Cilalama	Düşük
Paslanmaya Dirençli	Yüksek

Yapılan literatür çalışması göstermiştir ki, bu türlü ölçme sistemlerinde kullanılan gerilimölçerlerin seçimi ve yapıştırılması çok önemlidir. Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde çok daha hassas ve iyi sonuçlar veren gerilimölçerler üretilmektedir. Gerilimölçer seçiminde dikkat edilmesi gereken özellikler aşağıda verilmiştir.

- Kalibrasyon sabiti sıcaklık ve zamanla değişmemelidir.
- Birim uzama ve kısalma 1×10^{-6} hassasiyeti ile ölçülebilmeli
- Noktasal ölçme yapılabilmelidir.
- Dinamik ve statik ölçme yapılabilmelidir.
- Ekonomik olmalıdır.
- Ölçümler kolay olmalıdır.
- Gerilimölçer cevabı uygulanan yüke karşılık, doğrusal olmalıdır.
- Hassas ölçüm yapılabilmelidir.

Bu özelliklere ve dinamometre malzemesine en iyi uyan gerilimölçer tipi Measurement Grubu' nun üretmiş olduğu CEA tipi gerilim ölçer olarak belirlenmiştir. Bu tip gerilimölçerlerin daha önce seçilen ve uygulanan gerilimölçerlerden farkı üç

kat daha hassas olması, dinamik yüklerin ölçülmesinde cevap karakteristiğinin daha iyi olması ve laboratuvar koşullarında uzun süre bozulmadan kalabilmesidir.

Gerilimölçerlerin yerlerinin seçiminde bilgisayar programlarından yararlanılmıştır. Gerilimölçerlerin yapıştırılması ve yüzey hazırlama işlemleri için gerekli aşamalar titizlikle uygulanmış ve dinamometre yapılmıştır. Şekil 3.12’ de uygulama kiti ve gerilimölçerler görülmektedir.



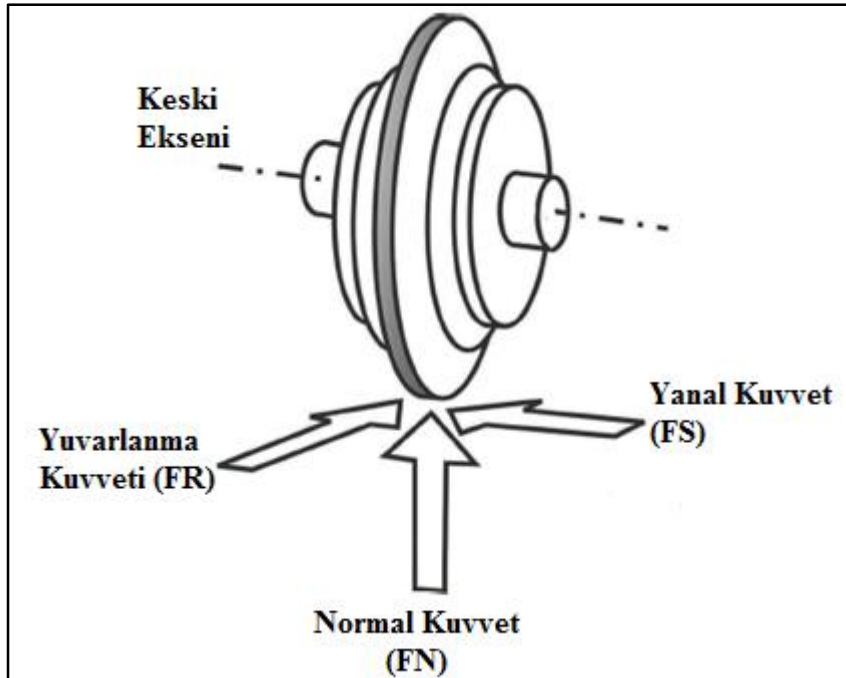
Şekil 3.12 : Gerilimölçerlerin ve uygulama kitinin görünümü.

Gerilimölçerleri özel yapıştırıcılarla dinamometre kirişlerine tespit ettikten sonra, altı ayrı Wheatstone köprüsü teşkil edecek şekilde kablo bağlantıları yapılmıştır. İlk önce gerilimölçerlerin uçları terminale lehimlenmiş ve daha sonra terminalden çıkan uçlar kabloya lehimlenmiştir. Gerilimölçer yapıştırılan ve ölçme devreleri oluşturulan dinamometrenin kazı setine montajı için gerekli cıvatalar ve keski ucunu tutan aparatlar tornada yaptırılmıştır. Tasarımlandırılan ve imal edilen gerilimölçer tabanlı dinamometre taşınabilir test cihazına monte edilmiştir (Şekil 3.13).



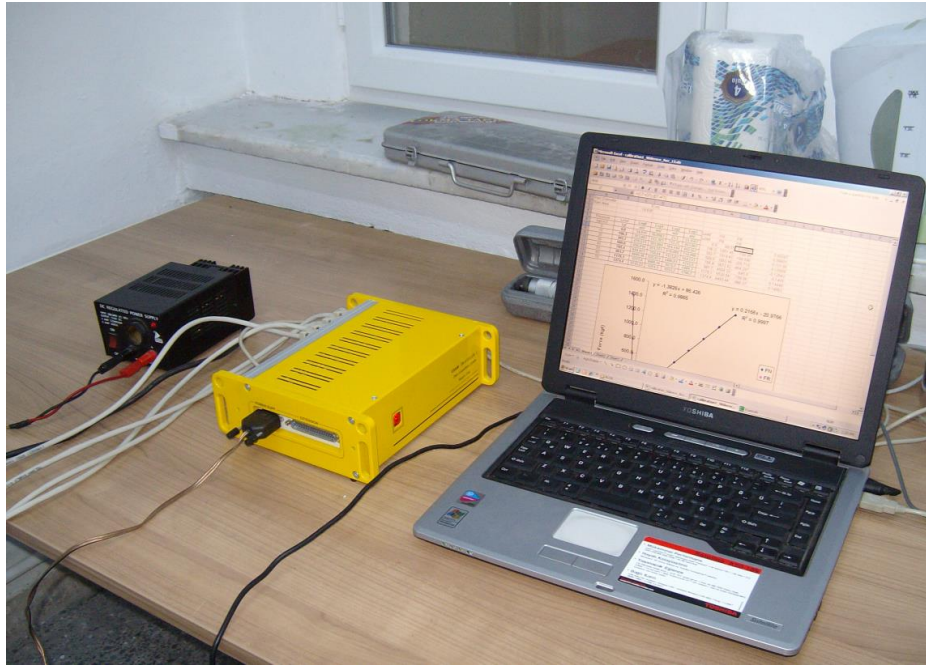
Şeki 3.13 : Dinamometrenin genel görünümü

Üç eksenli kuvvetölçer yardımı ile kaya kesme sırasında kesici uca gelen kuvvetin dikey, kesme ve yanal bileşenlerini ayrı ayrı belirleyebilmek için oluşan elektriksel sinyallerin bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. Kaya kesme sırasında açığa çıkan kuvvet diyagramı Şekil 3.14’ te görüldüğü gibi değişmektedir.



Şekil 3.14 : Disk keskiye etki eden kuvvetlerin genel gösterimi (Bilgin ve diğ, 2014).

Kesme sırasında kayadan bir parça kopana kadar keski kuvveti artmakta, parça koptuktan sonra azalmakta sonra tekrar artmaktadır. Bu durum kesme sonuna kadar devam etmektedir. Kaya kesmede kuvvetlerin değişimi 300 Hz'den büyük olması beklenmektedir. Bu kuvvetlerin dijital olarak örnekleilmesi ancak 1000 Hz civarında bir frekans kullanılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle kesme esnasında oluşan analog sinyalleri dijital sinyale çeviren Strain Gage Veri Toplama Sistemi olarak ESAM Traveller 1 ölçme sistemi kullanılmıştır. Veri toplama sistemi şekil 3.15' de görölmektedir.



şekil 3.15 : ESAM traveller 1 veri toplama sistemi.

3.3 Mini Disk Keski Kuvvet Ölçerinin Kalibrasyonu

Kesme kuvvetlerini doğru ölçmek için her keski tipi için kalibrasyon yapmak gereklidir. Kalibrasyonun amacı veri toplama sistemi ile kayıt edilen mili volt (mv) değerinde potansiyel farkı gerçekte ne kadar kuvvete karşılık geldiğinin bulunmasıdır. Bunun tayini için kesit alanı bilinen, yağ basıncının sağlıklı okunabileceğii manometresi olan bir hidrolik krik o kullanılmaktadır (şekil 3.16). Hidrolik krik o ile keskiye miktarı bilinen kuvvetler uygulanarak veri alınır (şekil 3.17). Farklı kuvvet değerlerine karşılık gelen mv değerlerinin oranının aynı olması dinamometrenin işlerliğini göstermektedir. Kalibrasyonun bir diğ er önemli katkısı dinamometrenin ayaklarındaki köprüler arası etkileşimin olup olmadığını gösterebilmesidir. Örneğ in

keskiye sadece düşey kuvvet uygulandığında yatay ve yanal yönde kuvvet oluşmaması gerekmektedir.



Şekil 3.16 : Kalibrasyon çalışmalarında kullanılan hidrolik krika

Köprüler arasındaki etkileşim olup olmadığını kontrol etmek için dinamometre kalibrasyonu en üç kez tekrar edilmiştir.

Yeni tasarımılandırılan bir ölçme sistemimde, en önemli hususlardan biri belirli koşullarda ölçülen değerlerin tekrar edilebilmesi ve sonuçların güvenilir olmasıdır. Bu nedenle yeni tasarımılandırılan dinamometrenin güvenilirliğini test etmek için aynı şartlarda ölçümler en az üçer kez tekrar edilmiş, giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki ilişkilerin doğrusal olup olmadığı kontrol edilmiştir.

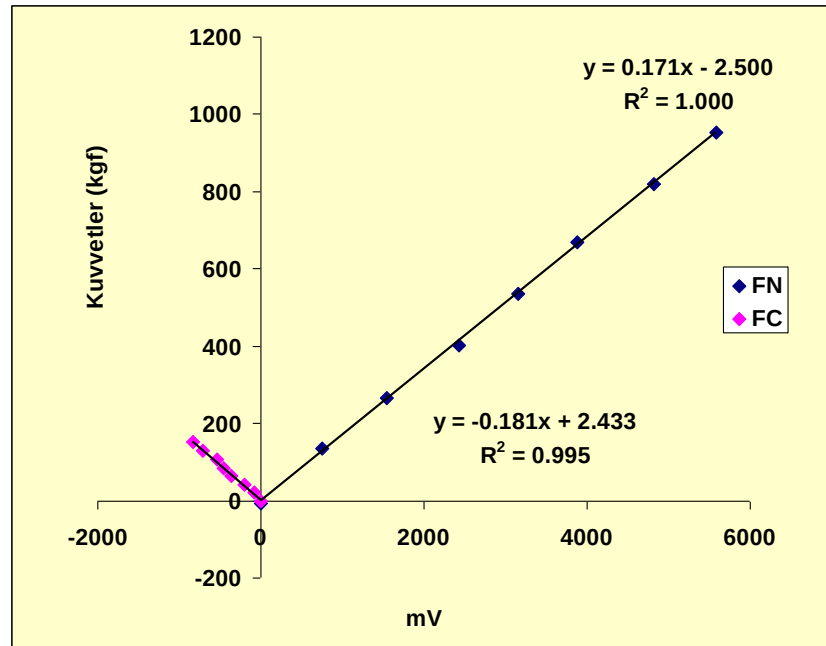
Mini disk keskinin kalibrasyonunda, 9 derece eğimli yüzeyde ve 90 derecede (dik yükleme) kesit alanı $19,6 \text{ cm}^2$ olan hidrolik piston kullanılmıştır (Şekil 3.16). Pistona ilk on yüklemede 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 bar basınç uygulanmış ve veri toplama sistemi ile dinamometre ayaklarındaki gerilim pullarında oluşan mili voltlar mertebesindeki sinyaller kayıt edilmiştir. 9 derecelik eğimde kuvvetler bileşenlere ayrılarak hem yatay hem düşey kuvvetler elde edilmiştir (Şekil 3.18). Giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki tipik bir ilişki Şekil3.18’ de gösterilmektedir. 90 derecelik

yüklemede sadece normal kuvvetleri temsil eden ölçü ayaklarından sinyal alınması gerekirken, yuvarlanma kuvvetlerini temsil eden ayaklarda da sinyal alınmıştır. Buna rağmen etkileşim %1.5 civarında olduğu için sonuçlar kabul edilebilir seviyede olduğu kabul edilmiştir.

Şekil 3.19' daki sonuçlara bakıldığında FN ve FR için oluşan kalibrasyon katsayıları FN için 0.171 kg/mv ve FR için 0.181 kg/mv olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.17 : Mini Disk (CCS ve V-Tipi) keskinin kalibrasyon görünüşü

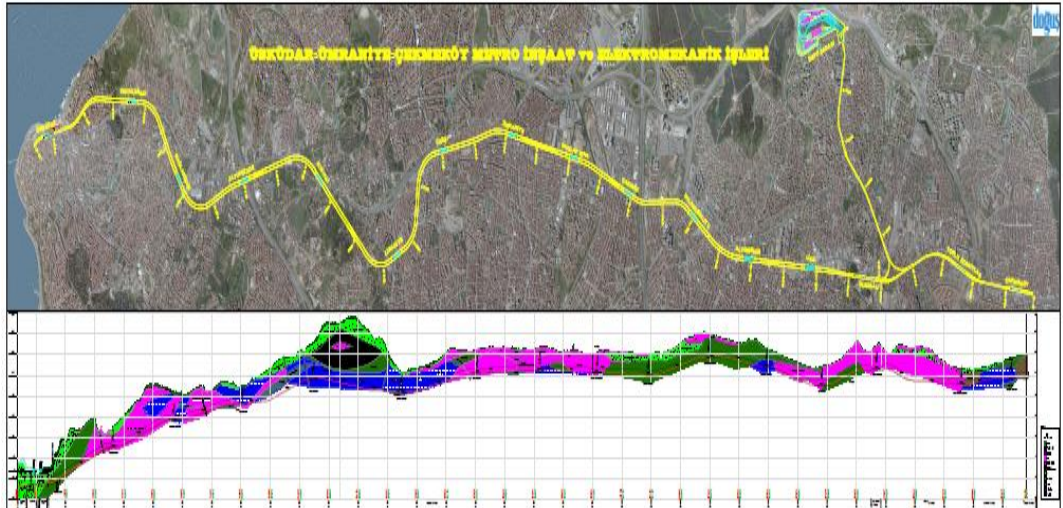


Şekil 3.18 : Mini Disk (CCS ve V-Tipi) keskinin kalibrasyon sonuçları.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

4.1 Fiziksel ve Mekanik Özellik Deneyleri

Yapılan bu doktora tezi kapsamında 10 farklı kayaç numunesi seçilmiştir. Seçilen bu numunelerden 5 tanesi (bej mermer, kireçtaşı, kumtaşı, küfeki kireçtaşı ve traverten) daha önce İTÜ Maden Mühendisliği Kazı Teknolojileri Laboratuvarında kullanılan ve fiziksel mekanik değerleri bilinen numunelerdir. Diğer 5 farklı numune (kireçtaşı (A), altere kireçtaşı, konglomera, diyabaz ve Çamurtaşı) ise yapılan bu çalışmanın “arazi çalışmaları” kısmını oluşturan ve halen yapımı devam eden Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı projesinden temin edilmiştir. Proje kapsamında kazı mekaniği yönünden incelenecek olan metro hattı Üsküdar ile İstanbul’ un doğu tarafında bulunan Ümraniye ve Çekmeköy ilçelerini birbirine bağlayan bir toplu taşıma projesidir. Yapımı devam eden bu metro hattı toplam 16.7 km uzunluğunda ve 16 istasyondan oluşacak şekilde projelendirilmiş olup metro hattı güzergahının havadan görüntüsü ve jeolojik kesiti Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı güzergahı ve jeolojik kesiti.

Doktora tezinin arazi çalışmalarını oluşturan metro hattı kazısından numune alma işlemleri TBM kazı hızına bağlı olarak devam ettirilmiş olup TBM’ in farklı

istasyonlar arasındaki kazı işlemlerinin tamamlanması takip edilmiştir. İstasyonlar arasında tamamlanan kazı işlemleri sonrasında TBM' in istasyondan çıkışıyla birlikte arından bloklar halinde dökülen numuneler alınmıştır. TBM kesici kafasının iki istasyon arasındaki kazı işlemlerini bitirdikten sonra görünümü ve alınan blok numuneler Şekil 4.2 – 4.3' te verilmiştir.



Şekil 4.2 : Kesici kafanın istasyon girişindeki görünümü.



Şekil 4.3 : Çarşı – Libadiye arası (S6 shaftı) kazı hattından alınan kireçtaşı örnekleri.

Metro hattı kazısı sırasında alınan numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler Amerikan Standart ve Test Metotları (ASTM) ve Uluslararası Kaya Mekaniği Birliği' nin (ISRM) belirlediği standartlara göre yapılmıştır (ISRM, 2006; ASTM, 2005) ve deney sonuçları Çizelge 4.1 - 4.2' de verilmiştir.

4.1.1 Yoğunluk (birim hacim ağırlığı) tayini

Numunelerin yoğunluklarının belirlenmesi için öncelikle blok numunelerden karot numuneler alınmış ve bu numunelerin hacimleri hesaplanmıştır (V). Hacimleri hesaplanan bu numunelerin daha sonra hassas terazide ağırlıkları belirlenmiş (m) ve daha sonra Eşitlik 4.1 kullanılarak kayaçların doğal yoğunlukları belirlenmiştir (ISRM, 2006).

$$d = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

Burada;

d : Yoğunluk, gr/cm³.

m : Numune ağırlığı, gr.

V : Numune hacmi, cm³.

4.1.2 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımının tayini amacıyla yapılır. Deneyde boy/çap oranı 2.5-3.0 arasında olacak şekilde hazırlanmış, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz-düz ve herhangi bir kırık ve çatlak içermeyen karot örnekleri kullanılmış olup deneyler stiff machine test cihazında yapılmıştır (Şekil 4.4). Örneğin tek eksenli basınç dayanımını (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (ISRM, 2006).

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (4.2)$$

Burada.

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, MPa.

F : Kırılma yükü, N.

A : Silindirik örneğin kesit alanı, mm².



Şekil 4.4 : İTÜ Kaya Mekaniği Laboratuvarında bulunan stiff machine test cihazı.

4.1.3 Statik elastisite modülü ve poisson oranı

Bu deneyde amaç, yükleme koşuluna bağlı olarak numune üzerinde oluşan gerilim – birim deformasyon eğrilerinin çizilmesi ile elastisite modülü ve poisson oranının belirlenmesidir. Bu deneyde tek eksenli basınç dayanımı için hazırlanan karot numuneleri kullanılarak deneyler Şekil 4.4’ te verilen deney seti kullanılarak yapılmıştır. Eşitlik 4.3 – 4.4’ te çapsal ve eksenel deformasyon hesabını göstermektedir (ISRM, 2006).

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4.3)$$

Burada;

ε_a : Eksenel birim deformasyon, mm.

Δl : Karotun ekseni boyunca uzunluktaki değişim, mm.

l_0 : Karotun deney öncesindeki boyu.

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta D}{D_0} \quad (4.4)$$

Burada;

ε_d : Çapsal birim deformasyon, mm.

ΔD : Çaptaki değişim, mm.

D_0 : Karotun deney öncesindeki çapı, mm.

Statik elastisite modülü (ε_a , GPa) hesaplanırken kayacın tek eksenli basınç dayanımı değerinin yaklaşık %50' si gibi bir değerde gerilim deformasyon eğrisi çizilerek hesaplanmıştır (ISRM, 1981). Eşitlik 4.5 kullanılarak ise statik poisson oranı (ν) hesaplanmıştır.

$$\nu = \frac{\varepsilon_d}{-\varepsilon_a} \quad (4.5)$$

* Eşitlikteki bilinmeyenler yukarıda açıklanmıştır.

3.1.4 Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı deneyi

Bu deney, disk şeklinde hazırlanmış kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini amacıyla yapılır. Deneyde kalınlık/çap oranı 0.5-1.0 arasında olacak şekilde sağlam ve çatlaksız karot numuneler hazırlanmış olup deneyler Şekil 4.5' te verilen Ele marka Autotest 3000 model test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Eşitlik 4.6 kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır (ISRM, 2006).



Şekil 4.5 : Dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı değerlerinin tayini için kullanılan hidrolik pres.

$$\sigma_t = \frac{2.F}{\pi.D.L} \quad (4.6)$$

Burada;

σ_t : Numunenin dolaylı çekme dayanımı, MPa.

F : Numunenin yenildiği anki yük değeri, N.

D : Numune çapı, mm.

L : Numune boyu, mm.

4.1.5 Nokta yükü dayanımı deneyi

Nokta yük dayanım indeksi, tek eksenli basınç ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütlesi sınıflaması sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılır (Karpuz ve Hindistan, 2006). Nokta yük dayanımı deneyi (eksenel) için karot numuneler hazırlanmış olup deneyde Şekil 4.6’ da verilen deney aleti kullanılmıştır. Deneyler sonunda numunelerin nokta yük dayanımı değerlerinin belirlenmesi için Eşitlik 4.7 – 4.8 kullanılmıştır (ISRM, 2006).



Şekil 4.6 : Nokta yük dayanımı aleti.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (4.7)$$

Burada;

I_s : Nokta yük dayanım indeksi, MPa.

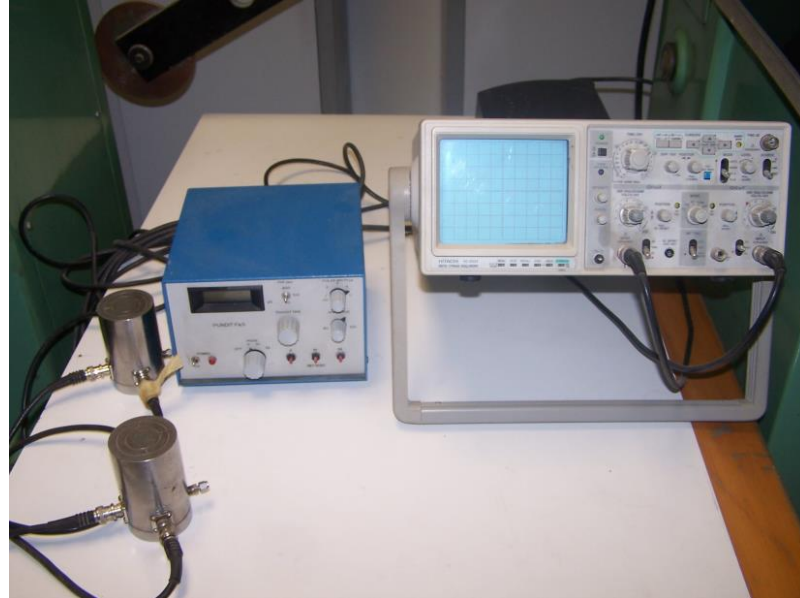
P : Kırılma yükü, N.

D_e^2 : $4A/\pi$, eksenel deneyler için konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin kesit alanı, mm^2 .

$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi.

4.1.6 Dinamik elastisite modülü ve poisson oranının belirlenmesi

Bu deney, kayaç örnekleri içerisinde geçirilen sıkışma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak, kayaç malzemesinin dinamik Young modülü ile dinamik Poisson oranının tayini amacıyla yapılır. Yöntem, homojen ve izotrop veya çok az derecede anizotropiye sahip kayaçlarda uygulanır. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için hazırlanan karot numuneler üzerinde yapılan bu deneyde PUNDIT laboratuvar deney aleti (Şekil 4.7) kullanılmıştır (King, 1983). Numuneler sinyal üreten alıcı ve vericinin arasına konulmuş ayrıca kaya ile sinyal üreticisinin arasına 0,0038 cm kalınlığında kurşun folyo konularak temas yüzeyinin daha sağlam olması sağlanmıştır. Hazırlanan bu set, eksenel yükü sabit verebilen bir presin arasına konularak yaklaşık 200 kg'lık sabit yükle yüklenmiş ve çıkan sinyaller iki kanallı osiloskop yardımı ile görüntülenmiştir. Hangi tip dalga hızı (P veya S) ölçülecekse anahtar yardımı ile seçilmiş ve dalganın numune boyunca geçiş zamanı dijital göstergeden okunmuştur (Kahraman, 2002).



Şekil 4.7 : Akustik P ve S dalga hızları tayini PUNDIT deney aleti.

Deneyler sonunda kayaç numunelerinin dinamik elastisite modülü ve poisson oranı değerleri Eşitlik 4.8 – 4.11 kullanılarak hesaplanmıştır (ASTM, 2005).

$$V_p = \frac{L}{t_p} \quad (4.8)$$

$$V_s = \frac{L}{t_s} \quad (4.9)$$

$$E_{dyn} = p V_s^2 \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (4.10)$$

$$\nu_{dyn} = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (4.11)$$

Burada;

E_{dyn} : Dinamik elastisite modülü, Pa.

ν_{dyn} : Dinamik poisson oranı.

p : Kayacın doğal birim hacim ağırlığı, kg/m³.

V_p : P dalgasının yayılma hızı, m/s.

V_s : S dalgasının yayılma hızı, m/s.

L : Silindirik numunenin boyu, mm.

t_p : P dalgasının ölçülen yayılma zamanı, μ s.

t_s : S dalgasının ölçülen yayılma zamanı, μ s.

4.1.7 Laboratuarda Schmidt çekici deneyi

Bu deney, Schmidt çekici kullanılarak, kayaçların Schmidt geri sıçrama sertliğinin tayini amacıyla yapılır. Bu çekiç silindirik kaplı bir kutu içinde bulunan yay, çekiç ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır. Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik uç kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır ve zıplama mesafesi çekiç üzerindeki kadrandan okunur böylece Schmidt indeksi olarak tanımlanır. Deneyler blok numuneler üzerinde L-9 tipi geri tepmeli çekiç (Şekil 4.8) kullanılarak yapılmıştır. Deney prosedürü olarak blok numune üzerinde 10 farklı noktada okuma yapılmış ve üç set olarak tekrarlanmıştır (ISRM, 2006).



Şekil 4.8 : Schmidt çekici deney aleti.

4.1.8 Shore scleroscope sertlik deneyi

Shore scleroscope deneyi, kayaçların sertliğinin ölçülmesinde kullanılan kolay ve ekonomik bir yöntemdir. Elmas uçlu bir ağırlık önceden hazırlanmış kayaç yüzeyi üzerine düşürülür. Ağırlık sıkalalı cam tüp içinde serbestçe gidip gelebilmektedir. Elmas uçlu ağırlığın zıplama yüksekliği Shore sertliğini verir. Her zıplamadan sonra yüzey kompaktlaştığından, sertlik değeri belirli bir zıplama sayısına kadar yükselir ve sabit kalır (Balcı ve diğ., 2006; Tumaç ve diğ., 2007). Deneyler blok numuneler üzerinde C-2 tipi Shore scleroscope deney aleti (Şekil 4.9) kullanılarak yapılmıştır. Deney prosedürü olarak blok numune üzerinde 10 farklı noktada okuma yapılmış ve üç set olarak tekrarlanmıştır.



Şekil 4.9 : C-2 tipi Shore scleroscope deney aleti.

4.1.9 Cerchar aşındırıcılık deneyi

Bu test Fransız kömür enstitüsünde tünel açma makinelerinin imalatı ve verimliliği için kaya aşındırıcı lığının değerlendirilmesinde oldukça yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu deneyde yeni kırılmış taze kayaç yüzeyi, ucu 90° konik, çekme dayanımı 2000 N/mm² olan keskilerle ve 70 N' luk baskı kuvvetiyle 10 mm çizilmiş ve keski ucunda meydana gelen aşınma yüzeyinin çapı aşınma indeksi olarak belirlenmiştir (West, 1989). Şekil 4.10' da verilen Cerchar aşındırıcılık deney aleti kullanılarak yapılan bu deney yöntemi, kayaçların aşındırıcılığını belirten, keski tüketimi ve maliyetleri hakkında bilgi veren indeks bir testtir.



Şekil 4.10 : Cerchar aşındırıcılık deney aleti.

Çizelge 4.1 : LCM ve PLCM deneyleri için kullanılan numunelerin fiziksel mekanik özellikleri.

	Traverten	Kireçtaşı	Bej Mermer	Kumtaşı	Küfeki Kireçtaşı
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.92 ± 0.06	2.7 ± 0.01	2.7 ± 0.01	2.8 ± 0.01	2.16 ± 0.02
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	9.10 ± 1	70.2 ± 12.5	160.7 ± 10	120.6 ± 21.5	15.6 ± 3.3
Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	3.17 ± 0.26	7.73 ± 1.33	7.82 ± 1.82	11.94 ± 1.32	1.14 ± 0.16
Statik Elastik Modül(GPa)	3.96 ± 2.39	14.39 ± 3.12	22.61 ± 8.55	21.79 ± 9.51	4.87 ± 0.84
P Dalga Hızı (m/s)	4223 ± 171	6434 ± 362	7109 ± 1526	7152 ± 117	4042 ± 230
S Dalga Hızı (m/s)	2212 ± 145	3130 ± 150	3419 ± 339	3619 ± 146	1920 ± 102
Dinamik Elastik Modül (GPa)	24.57 ± 2.84	71.16 ± 6.52	85.46 ± 20.81	97.3 ± 6.72	21.64 ± 2.4
Dinamik Poisson Oranı	0.31 ± 0.03	0.34 ± 0.02	0.35 ± 0.1	0.33 ± 0.01	0.35 ± 0.02
Schmidt Çekici Değeri	45.8 ± 3.41	57.4 ± 4.1	70.4 ± 4.42	50.2 ± 3.2	15.6 ± 3.62
Shore Sertlik Değeri	36.3 ± 6.84	56.5 ± 3.83	62 ± 1.84	60.5 ± 2.73	18.8 ± 3.92
Nokta Yük Dayanımı (I _{s(50)})	1.23 ± 0.16	2.03 ± 0.21	3.81 ± 0.16	3.2 ± 1.07	0.5 ± 0.12

Çizelge 4.2 : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tüneline alınan numunelerin fiziksel mekanik özellikleri.

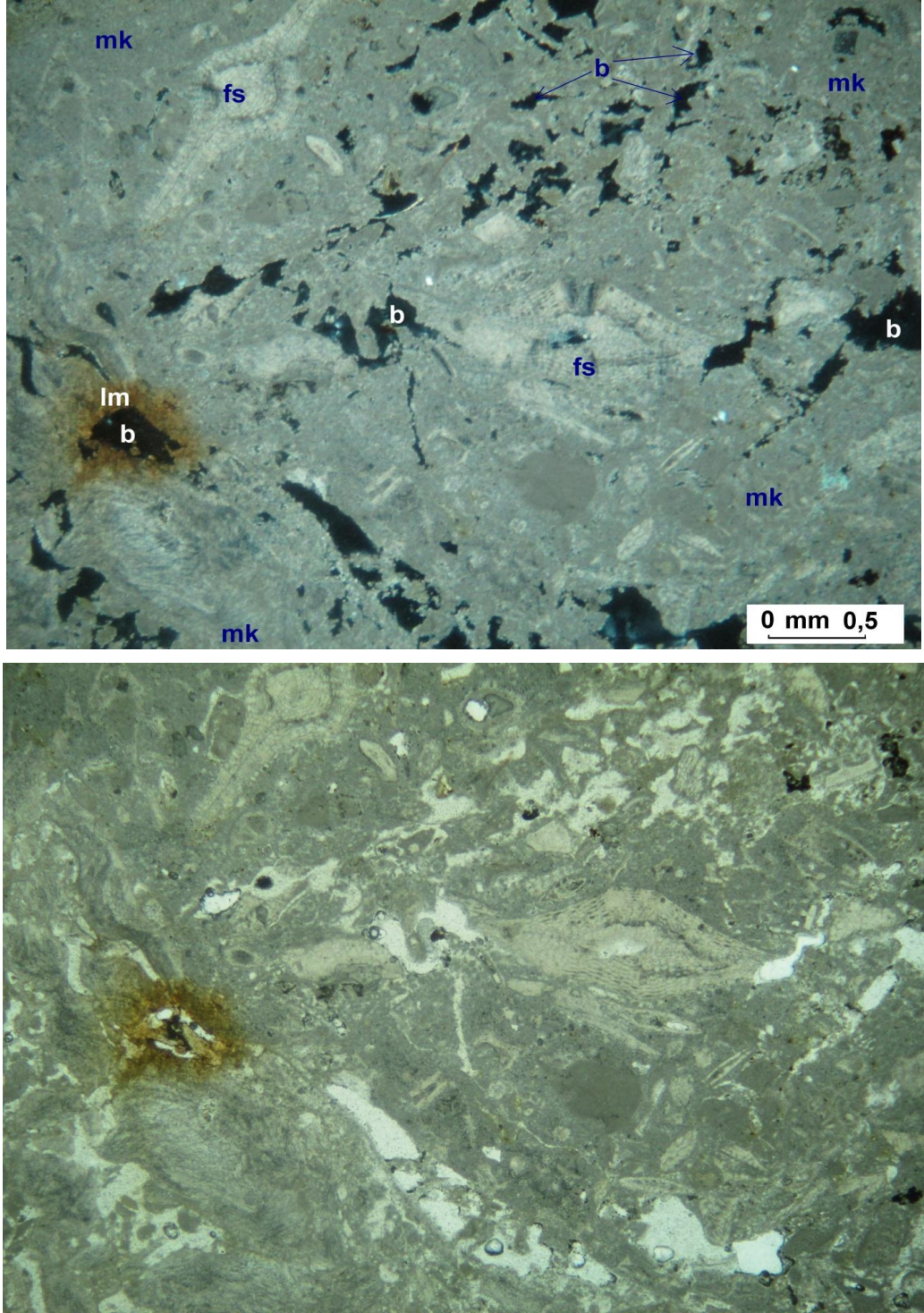
	Kireçtaşı (A)	Altere Kireçtaşı	Konglomera	Diyabaz	Çamurtaşı
Yoğunluk (gr/cm ³)	2.63 ± 0.02	2.44 ± 0.03	2.71 ± 0.01	2.66 ± 0.01	2.58 ± 0.04
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	41.8 ± 2.41	10.9 ± 4.5	30.3 ± 1.07	43.8 ± 1.51	24.4 ± 2.3
Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	4.96 ± 1.19	2.35 ± 0.20	4.59 ± 1.50	6.55 ± 1.41	3.56 ± 0.68
Statik Elastik Modül(GPa)	9.1 ± 1.39	1.2 ± 0.12	6.5 ± 0.56	16.4 ± 3.21	6.7 ± 0.41
Statik Poisson Oranı	0.05 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.13 ± 0.03	0.15 ± 0.02	0.15 ± 0.01
P Dalga Hızı (m/s)	4758 ± 233	2229 ± 211	3272 ± 326	4100 ± 157	4160 ± 170
S Dalga Hızı (m/s)	2857 ± 105	1118 ± 103	1885 ± 139	2333 ± 214	2564 ± 102
Dinamik Elastik Modül (GPa)	53.59 ± 4.84	11.64 ± 1.52	24.02 ± 3.81	36.44 ± 6.31	40.69 ± 6.4
Dinamik Poisson Oranı	0.22 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.25 ± 0.1	0.26 ± 0.01	0.19 ± 0.02
Schmidt Çekici Değeri	36.6 ± 3.01	35.6 ± 5.31	49 ± 2.6	56.6 ± 4.42	39.8 ± 5.14
Shore Sertlik Değeri	32.6 ± 3.58	18.8 ± 2.68	43.4 ± 3.10	47.9 ± 2.47	30.4 ± 6.18
Nokta Yük Dayanımı (I _{s(50)})	2.59 ± 0.77	1.09 ± 0.14	1.61 ± 0.19	2.88 ± 0.27	1.01 ± 0.52

4.1.10 Petrografik analiz sonuçları

Yerbilimleri açısından işlem yapılacak formasyonun doğru ve geniş kapsamlı tanımlanması hiç şüphesiz çok önemli bir aşamadır. Formasyon, yapısının gözle görülebilen veya fiziksel mekanik testler yardımıyla tanımlanabilen özellikleri yanında daha küçük ölçekli incelemeler sonucunda elde edilebilecek özelliklere sahiptir. Petrografik analiz işte bu noktada kayacın gözle görülemeyen özelliklerinin tayini amacıyla yapılan bir incelemedir. Mekanize kazıcıların kullanılacağı projeler için özellikle formasyon içinde var olan ince boyutlu aşındırıcı minerallerin varlığı bu yöntemle tespit edilebilmektedir. Bunun yanında kazılacak formasyonun mineral bileşimi ve bunların %' lik oranları, çimentolanma derecesi ve mineral tane boyutlarının belirlenmesi yine bu deney yöntemiyle belirlenebilen ve kazı performansı yönünden etkili parametrelerdir. Bu kapsamda aşağıda verilen sıraya uygun olarak 10 farklı kayaç numunesinin petrografik özelliklerinin tanımlanması amacıyla her bir kayaç için ince kesit numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler üzerinde yapılan analizler sonucunda her bir kayacın petrografik özellikleri İTÜ jeoloji Mühendisliği Öğretim Üyesi sayın Prof. Dr. Ali Haydar GÜLTEKİN tarafından tanımlanmış ve aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Küfeki kireçtaşı
- Traverten
- Kireçtaşı
- Kumtaşı
- Bej mermer
- Konglomera
- Diyabaz
- Altere kireçtaşı
- Çamurtaşı
- Çamurtaşı

Kayaç tipi : Sedimanter
Doku : Mikritik/kristalin
Alterasyon : Yok
Kayaç adı : Küfeki kireçtaşı



Şekil 4.11 : Küfeki kireçtaşı numunesi polarizan mikroskop görüntüsü. Çift nikol (yukarıda) görüntüsündeki siyah kesimler kayaçta gözlenen boşluklardır (b). fs: fosil, mk: mikritik kalsit, lm: limonit.

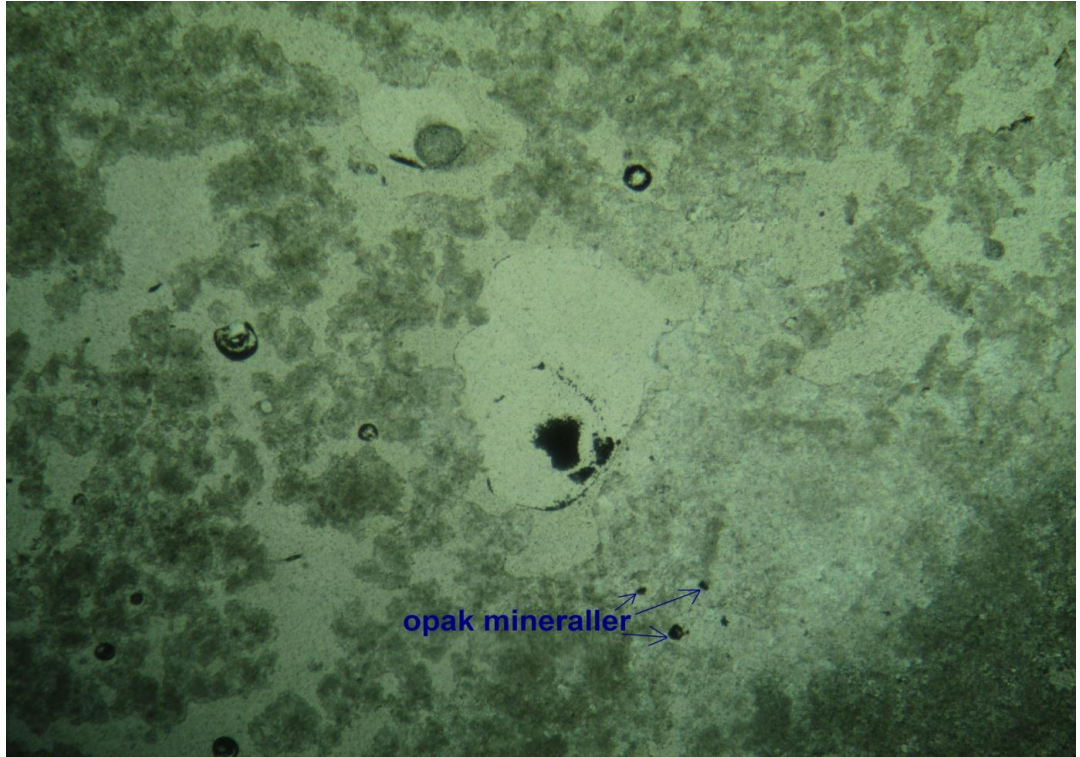
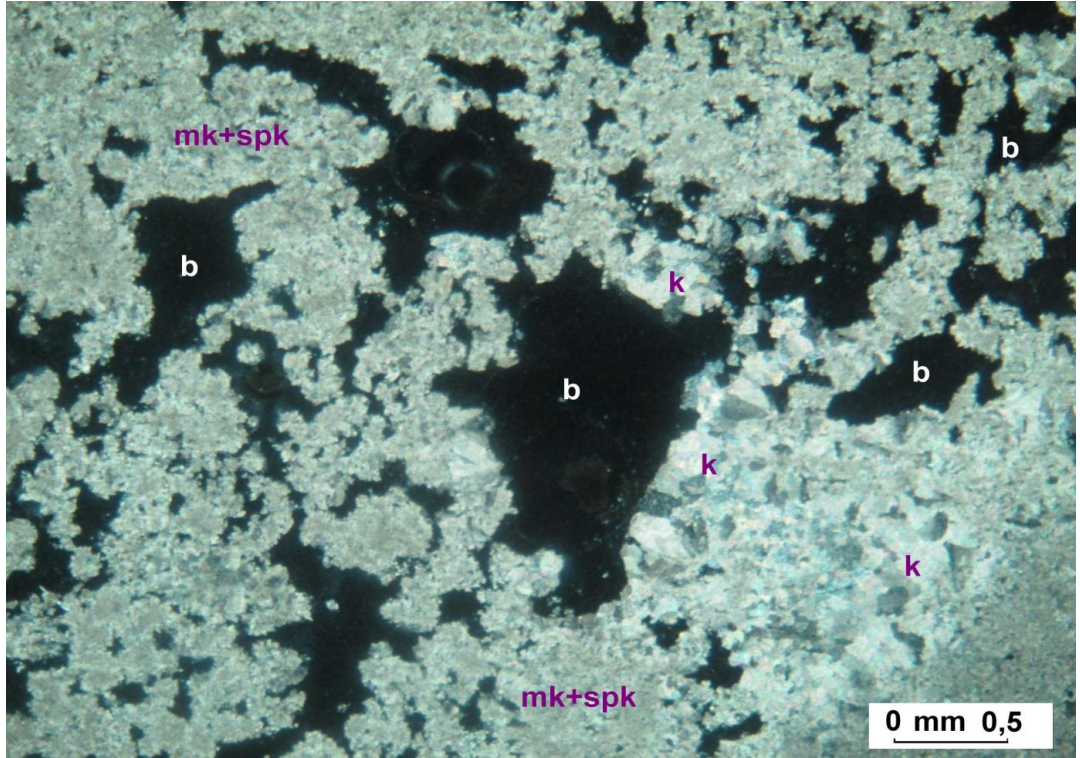
Çizelge 4.3 : Küfeki kireçtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.

Mineraller	Mineral içeriği (% orta.)	Mohs Sertliği	Tane boyu (mm)	Tanımlamalar ve yorumlar
Kristalen Kalsit	25-30	2,5	0,02-0,3	İri kristalin kalsitler genellikle özşekilsiz taneler halinde gözlenir. Mikritik kalsitlerle bir arada bulunurlar. Esas olarak fosil kavkılarda ve kayaç boşlukların çevresinde gelişmişlerdir. Bu noktalarda ikincil karakterdedirler. Fosil kavkılar bütünüyle ikincil kalsitlere dönüşmüştür.
Mikritik kalsit	58-60	2,5	< 0,01	Birincil özellikte mikritik kalsit modal bileşimin büyük çoğunluğunu oluşturur. Herhangi bir alterasyon verisi göstermez. Bol olarak bulunmaları kayaca massif bir görünüm verir. Mikritik kalsitin oluşturduğu zemin içinde bir miktar kilde çökelmiştir.
Boşluk ve gözenekler	10-12		< 5	Gelişi-güzel dağılmış, farklı şekillerdeki boşluk ve gözeneklerdir. Bazıları limonit dolgulu veya limonit sıvamalıdır. Boşlukların çevresinde kalsitler iri kristallidir.
Opak mineraller	2-3	4-4,5	< 0,1	Opak mineraller limonit ve hematitten oluşur. Limonitler ince taneli (< 0,03), hematitler ise daha iri tanelidir (0,1 mm civarı). Mikritik kalsitten oluşan zemin içinde saçılı olarak bulunurlar.

Düşünceler; **Makro özellikler:** Beyaz, bej, sarımsı renklerde önemli oranda erime boşluklu ve gözenekli, fosil kavkılı tekrar çimentolanmış parçalar içeren kayadır. Yüzey ve bazı boşluk ve gözenekler limonit sıvamalıdır. Genel olarak masif ve kompakttır. Kayaçta ikincil kılcal çatlaklar ve dolgular bulunmaz. Seyreltik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede kuvvetli bir reaksiyon gözlenmiştir. Çıplak gözle bakıldığında herhangi bir metalik mineral gözlenmemiştir.

Mikro özellikler: Mikroskop verilerine göre, çoğunlukla mikritik ve kristalin kalsitten oluşur, bunlara az miktarlar kil ve opak minerallerinin eşlik eder. Bol miktarda çıplak gözle de görülebilen fosil ve boşluk içerir. Fosil kavkılar tekrar kristalleşmiş, bunun sonucunda aragonitik kavkı kristalin kalsite dönüşmüştür. Kayaçta yer yer mikrosparitik dokular da gözlenmektedir.

Kayaç tipi : Sedimanter
Doku : Mikritik
Alterasyon : Yok veya çok zayıf killeşme
Kayaç adı : Traverten



Şekil 4.12 : Traverten örneğinin çift nikol (yukarıda) ve tek nikol (aşağıda) görüntüleri. Kayaç yüksek oranda boşluk (b) içerir. mk+spk: mikritik kalsit+sparitik kalsit, k: kristalin kalsit.

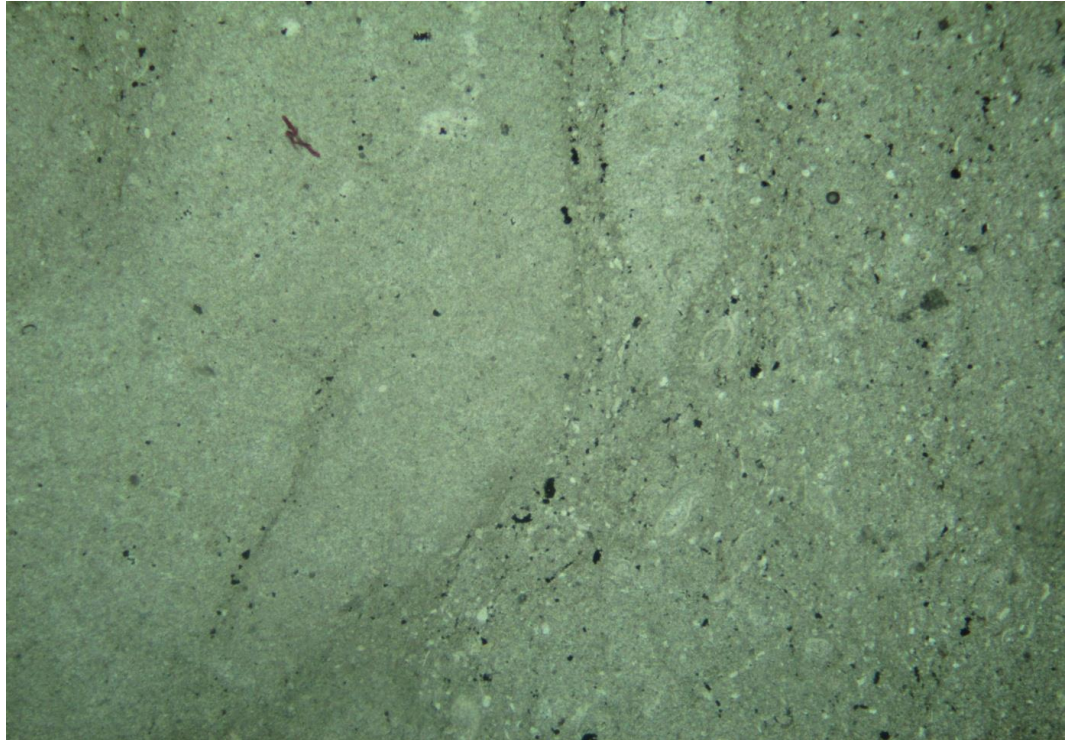
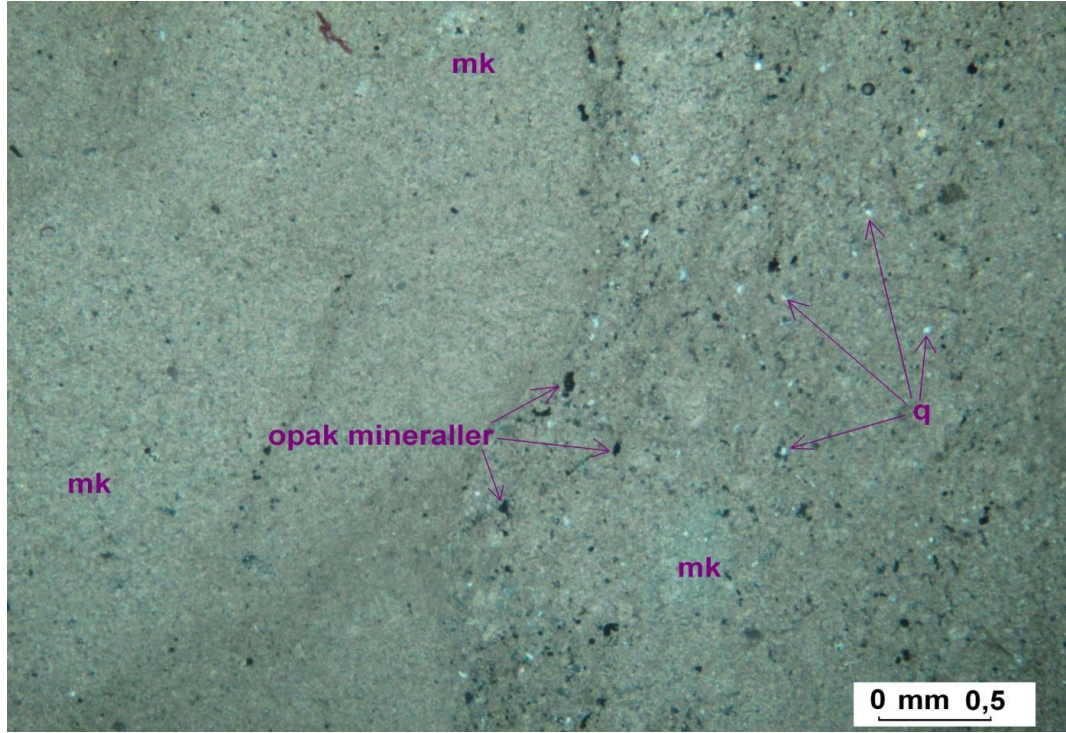
Çizelge 4.4 : Traverten örneği için ince kesit analiz sonuçları.

Mineraller	Mineral İçeriği (% orta.)	Mohs Sertliği	Tane boyu (mm)	Tanımlamalar ve yorumlar
Mikritik+ sparitik kalsit	57-62	2,5	< 0,03	Mikritik kalsitler, spari kalsitler ile bir arada veya geçişler gösterir. Mikritikler kayacın massif görünümünü sağlayan bir zemin oluşturur. Bu zemin içinde yüksek oranda boşluklar bulunur. Bir miktar kille iç içedir. Herhangi bir ayrışma verisi sunmaz. Homojen görünüm ve özellikler sunar.
İkincil kalsit (İri kristalize)	10-12	2,5-3	0,01-0,4	İri taneli kristalin kalsitler esas olarak kayacın içinde bol miktarda bulunan boşlukların çevresinde oluşmuşlardır. Bazı kristallerde dilinim izleri belirgindir. Kenetlenmeleri oldukça iyi, yarı özşekilli, temiz yüzeyli taneler olarak gözlenirler. Spari kalsitlere geçişler gösterirler.
Boşluk ve gözenekler	28-30		< 1,5	Mikritik hamur içinde gelişi-güzel dağılmış, farklı büyüklükteki boşluk ve gözeneklerdir. Düzensiz kenar yapısı ile belli bir şekil göstermezler. Belirgin şekilde çevrelerinde bulunan kalsitler iri kristallidir. Boşluklar birbiri ile kısmen bağlantılıdır.
Opak mineraller	2-3	4-4,5	< 0,1	Kalsitlere eşlik eden çok az orandaki opak mineraller demir oksit/hidroksitler (limonit, hematit) türü minerallerdir. İnce tanelenmiş, saçılı ve hematit-limonit dönüşümleri içerirler.

Düşünceler; **Makro özellikler:** Beyaz, bej, sarımsı renklerde önemli oranda boşluk ve gözenekli kayadır. Masif yapıda ve homojen özellikler gösterir. Alterasyon verileri belirgin değildir. Nadiren yüzey ve boşluklar limonit sıvamalıdır. Genel olarak ince taneli, sert, herhangi bir yönlenme göstermeyen sedimanter yapıdadır. Kayaçta ikincil kılcal çatlaklar ve dolgular bulunmaz. Seyreltik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede kuvvetli bir reaksiyon gözlenmiştir. Sarımsı bej rengi ve boşluklu oluşu kayacın en belirgin özelliğini oluşturur.

Mikro özellikler: Polarizen mikroskop altında yapılan inceleme sonucunda; kayacın büyük çoğunlukla mikritik ve spari kalsitten oluştuğu bu minerale belli bir oranda kristalin kalsit, kil ve opak minerallerinin eşlik ettiği görülmüştür. Örnekte fosil kavrı ve izleri gözlenmemiştir. Belirlenen bulguların tamamı sedimanter ortamda kimyasal yolla oluşan kireçtaşlarının yapı ve dokuları ile uyumluluk gösterir. Mikroskobik inceleme, mineralojik bileşim yanında, kayacın bol miktarda boşluk ve gözenekli olduğunu ortaya koymuştur.

Kayaç tipi : Sedimanter
Doku : Mikritik
Alterasyon : Yok veya çok zayıf killeşme
Kayaç adı : Kireçtaşı



Şekil 4.13 : Kireçtaşı örneğinin çift nikol (yukarıda) ve tek nikol (aşağıda) mikroskop görüntüleri. q: kuvars, mk: mikritik kalsit.

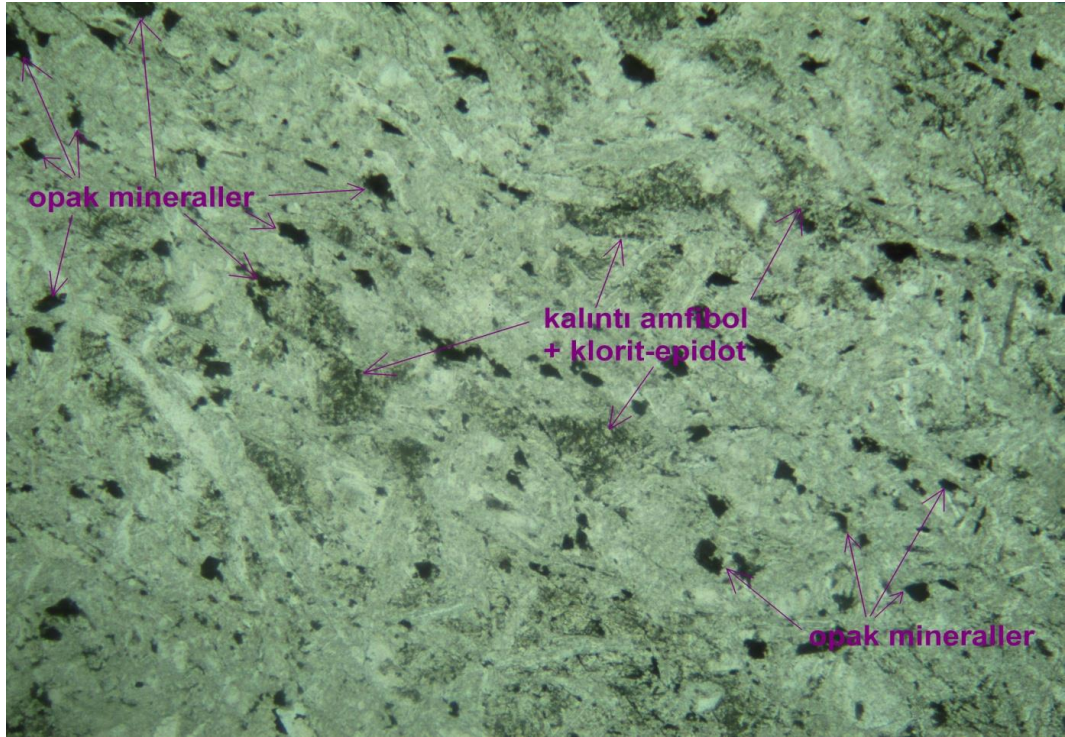
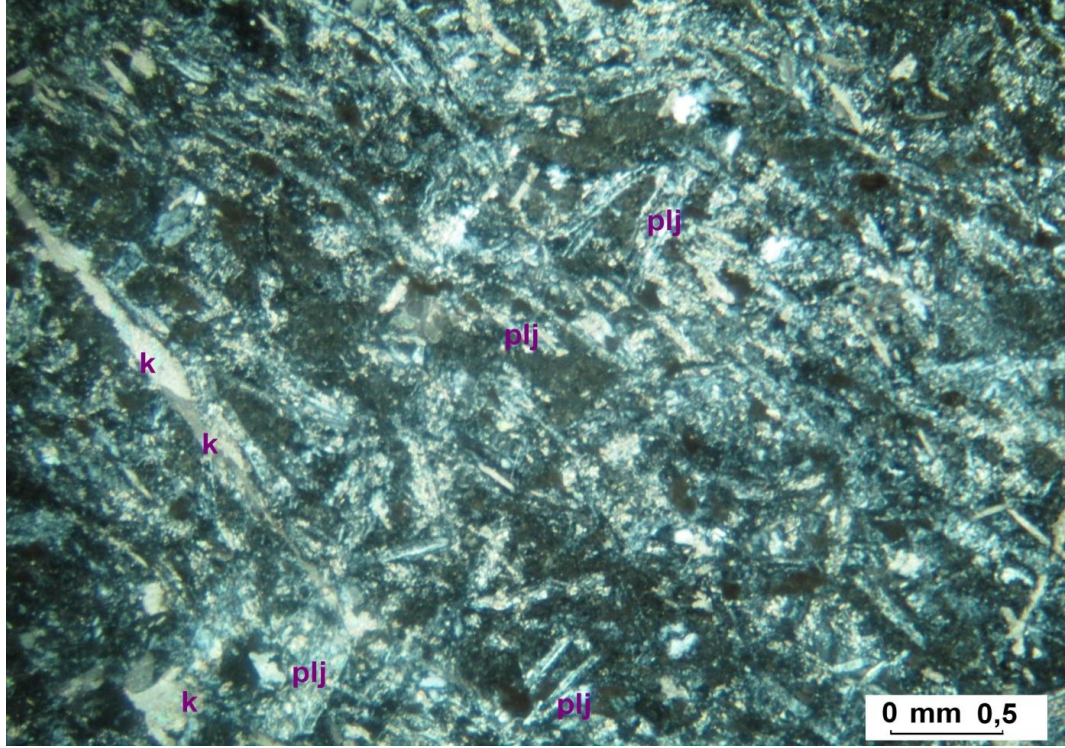
Çizelge 4.5 : Kireçtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.

Mineraller	Mineral İçeriği (% Orta.)	Mohs Sertliği	Tane boyu (mm)	Tanımlamalar ve yorumlar
Mikritik kalsit	90-93	2,5	< 0,01	Mikritik kalsitler kayacın modal bileşiminin büyük çoğunluğunu oluşturur. Oldukça ince tanelenmişlerdir ve spari kalsit geçişleri göstermezler. Mikritik kalsitin oluşturduğu homojen zemin içinde yer yer iri kalsitler, kuvars ve opaklar homojen genel görünümü bozar. Bu temel zemin içinde muhtemelen bir miktar kilde bulunur.
İkincil kalsit	3-4	2,5-3	0,01- 0,4	İkincil kalsitler ise çoğunlukla kayaç içindeki erime boşluklarında gelişmiştir ve boşlukları tamamen doldurmuştur. İri taneli, temiz yüzeyli ve rekristalize karakter gösterirler. Çoğunlukla farklı alanlarda birden fazla tanenin oluştuğu kümelenmeler gösterirler.
Kuvars	2-3	7	< 0,1	Kuvarslar gelişi-güzel saçılı halde, daha az belli bir hat boyunca sıralanmış olarak gözlenirler. Çökelme sonrası deformasyon etkileri yansıtmazlar. Yarı-köşeli, yarı yuvarlak taneler halinde bulunurlar. İnce tanelenmişlerdir. Kayaç içinde belli zonlarda belli-belirsiz kuvarsça zengin mercekler gelişmiştir.
Opak mineraller	2-3	4-4,5	< 0,1	Kayaçın opak mineralleri demir oksit/hidroksitler türü (limonit, hematit) minerallerdir. Bu minerallerin içeriği kuvarsça bol zonlarda belirgin şekilde daha yüksektir. Saçılı tek tane halinde çökelmişlerdir.

Düşünceler; **Makro özellikler:** Siyah, gri tonlarda masif, homojen, yoğun kayaç örneğidir. Oldukça ince tanelenmiş bir yapı ve doku içerir. Kılcal çatlak ve buna bağlı dolgular içermez. Kayaç yüzeyi temizdir. Herhangi bir limonitik sıvama bulunmaz. Çıplak gözle herhangi bir metalik sülfür minerali gözlenmemiştir. Seyretilik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede kuvvetli reaksiyon izlenir. Genel olarak masif, kompakt ve homojen doku ve yapı özelliği ile belirginleşen karbonat kayasıdır.

Mikro özellikler: Genel olarak kayaç, zayıf çalkantılı çökelme ortamı ürünüdür ve azda olsa mercekli zonlar gösterir. Mikritik kireçtaşı- kumlu mikritik kireçtaşı geçişleri göstermesi muhtemeldir. Çökelme ortamına zaman zaman karasal kökenli detritik malzeme taşınmıştır. Fosil içermez. Boşluk veya mikro gözenek bulunmaz. Modal bileşimin büyük çoğunluğunu mikritik kalsit oluşturur.

Kayaç tipi	: Magmatik damar kayası
Doku	: Porfirik, ofitik
Alterasyon	: Killeşme, karbonatlaşma, kloritleşme, epidotlaşma
Kayaç adı	: Diyabaz

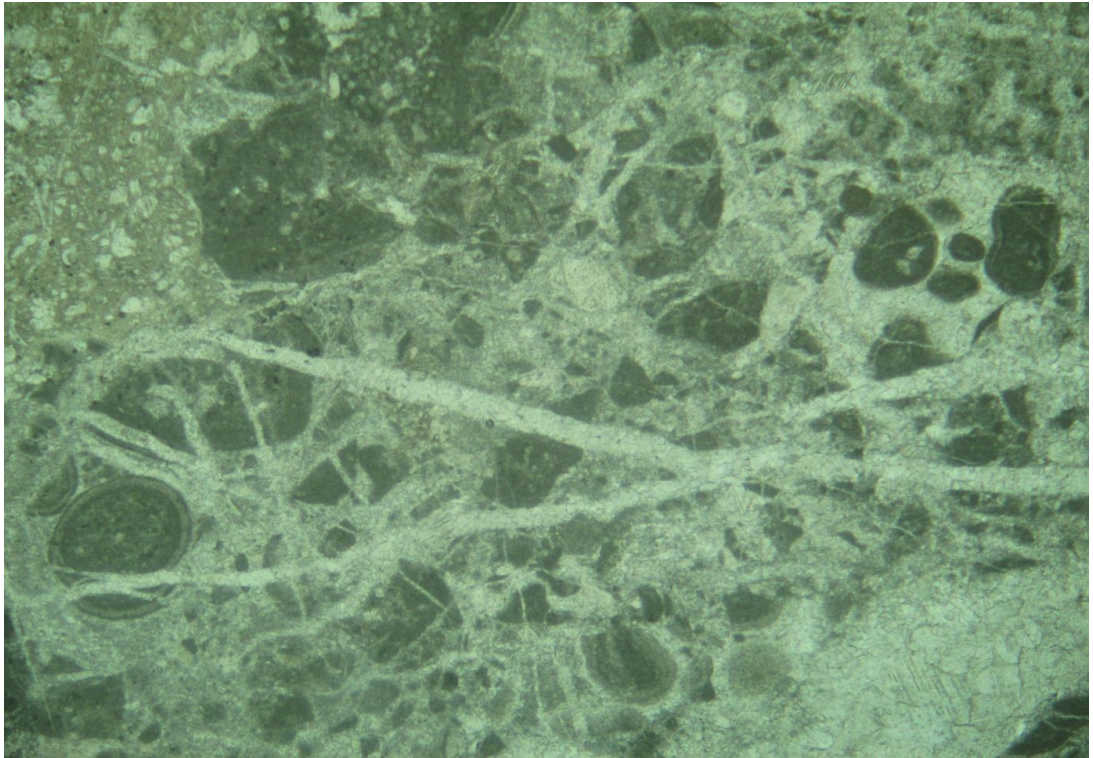
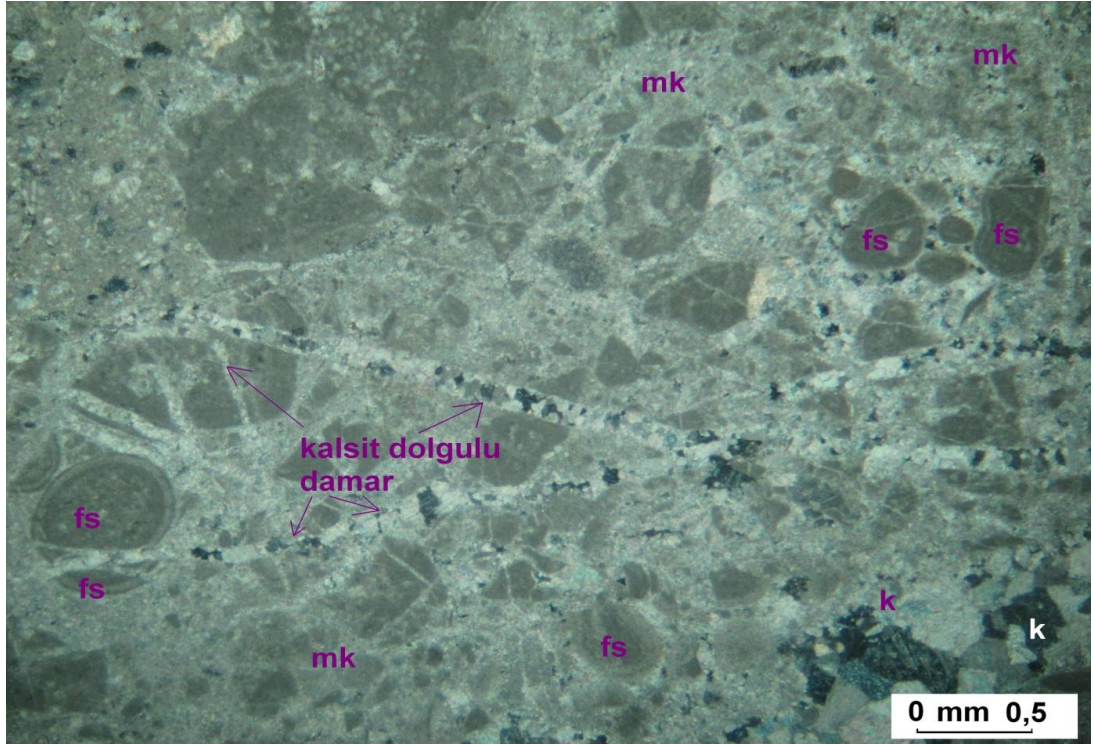


Şekil 4.14 : Kumtaş ı örneğinin polarize ışık (yukarda) ve beyaz ışık (aşağıda) görüntüleri. k: kalsit, plj: plajioklaz.

Çizelge 4.6 : Kumtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.

Mineraller	Mineral içeriği (% orta.)	Mohs Sertliği	Tane boyu (mm)	Tanımlamalar ve yorumlar
Plajiolaz	66-72	4-4,5	< 0,8	Kayacın modal bileşiminin büyük çoğunluğunu plajiolazlar oluşturur. Birincil özelliklerini kaybetmiş, esas olarak killeşmiş ve karbonatlaşmıştır. Plajiolazlar ofitik dokuda orta iri taneler halindedir. Çubuksu yapıda ve birbirlerini keser şekilde oluşmuşlardır. Aralarındaki boşlukları mafik mineraller doldurmuştur. Herhangi bir ikizlenme göstermezler. Muhtemelen oligoklaz-andezin bileşimdedirler.
Amfibol +piroksen	14-15	5-6	< 0,5	Plajiolazlara benzer şekilde afiboller yoğun şekilde ayrılmış, ayrışma ile birlikte klorit+epidot ve karbonat (kalsit) minerallerine dönüşmüşlerdir. Alterasyon türü olarak propilitleşmeden bahsetmek mümkündür. Amfibollerin bir kısmı piroksendir ancak alterasyon kesin verileri gölgelemiştir. Başlıca amfibol minerali hornblendir. Biçimsiz şekilde, parçalanmış granüler halde gözlenirler. Alterasyonla birlikte çevrelerinde ve içlerinde opak mineraller gelişmiştir.
Klorit+epidot	2-3	2-2,5 5-6	< 0,2	Mafik minerallerin ayrışma ürünü olarak kristallenmişlerdir. Amfibol ve piroksenler ile birlikte gözlenirler. Genellikle ince granüler veya yassı taneler halinde oluşmuşlardır.
Kalsit (Karbonatlaşma)	4-6	2,5-3,0	0.01-0,1	Ayrışma ürünü karbonat minerali kalsittir. Bu mineral bazı noktalarda mikro çatlakları doldurmuştur. Nadiren taneler romboedrik yapıda ve dilinimlidir. Genel olarak yassı ve uzamış kristaller halinde bulunur. İnce tanelenmiştir. Çoğunlukla bir arada, kümelenmeler oluşturur.
Opak mineraller	8-10	5-6	< 0.1	Kayaç bol oranda ince taneli opak mineral içerir. Bu minerallerin büyük çoğunluğunu özşekli / özşekilsiz manyetit türü demir mineralleri oluşturur. Esas olarak mafik mineral çatlak ve kırıklarında ayrışma ürünü olarak gelişmişlerdir. Manyetit-hematit dönüşümleri muhtemeldir.
Düşünceler	Makro özellikler: Gri, yeşilimsi gri tonlarda kayaç örneğidir. Orta-iri tanelenmiş kristalin yapı ve doku belirgindir. Kılcal çatlak ve buna bağlı dolgular zayıfta olsa izlenir. Ayrışma verileri belirgindir. Ayrışma ile birlikte gelişmiş farklı renkli kesimler bir arada gözlenir. Seyretilik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede genel olarak çok zayıf reaksiyon izlenir. Ancak bazı noktalarda reaksiyon şiddeti yüksektir. Mikro özellikler: Mineraloji esas olarak yoğun şekilde ayrılmış plajiolaz ve amfibolden oluşur. Yapıda daha az oranda piroksen amfibollere eşlik eder. Ayrışma sonucu ilksel doku ve yapı büyük ölçüde tahrip olmuştur. Klorit+epidot, kalsit ve kil mineralleri ayrışma (hidrotermal) ürünü mineraller olarak gelişmiştir. Kayaç b kodlu örneğe benzerlik gösterir. Magmatik damar kayasıdır. Kayacın yapısında bulunan kilin bir kısmı atmosferik ayrışma sonucu plajiolaz, klorit, epidot gibi minerallerden itibaren gelişmiştir.			

Kayaç tipi : Sedimanter
Doku : Mikritik/kristalin
Alterasyon : Yok
Kayaç adı : Bej mermer



Şekil 4.15 : Bej mermer örneğinin çift ve tek nikol görüntüleri. Kalsitler mikro çatlaklarda ikincil kristalize oluşumlar sergiler. fs: fasıl kalıntıları, mk: mikritik kalsit, k: iri kristalize kalsit.

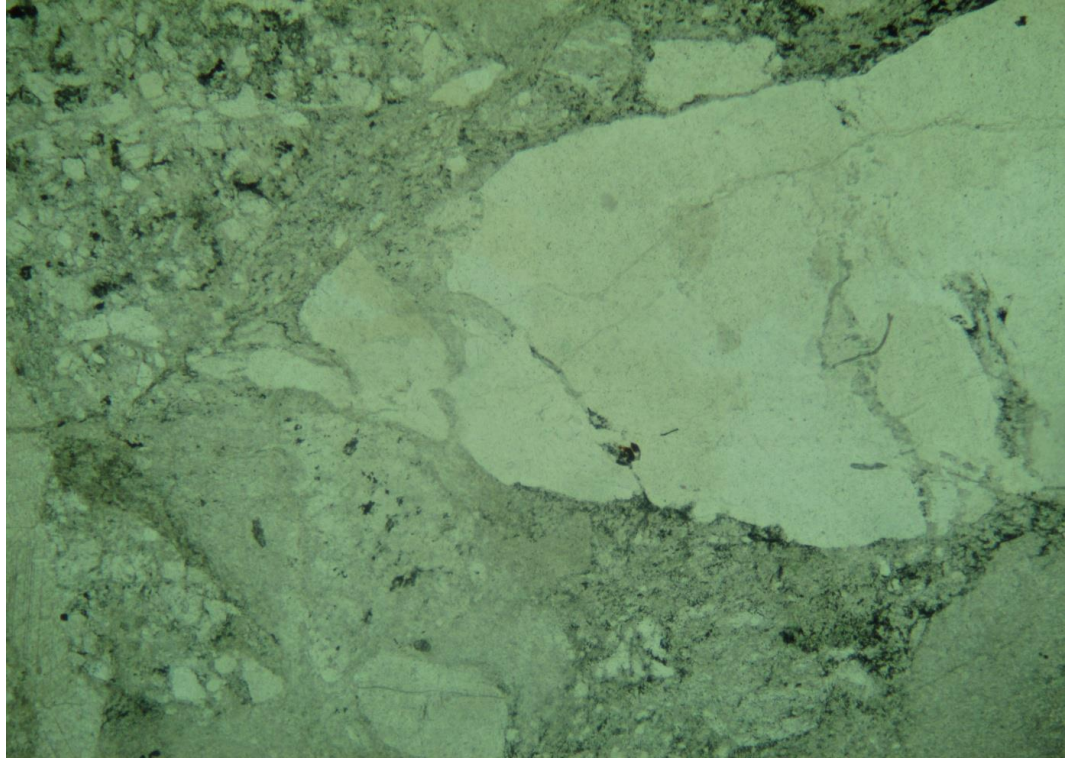
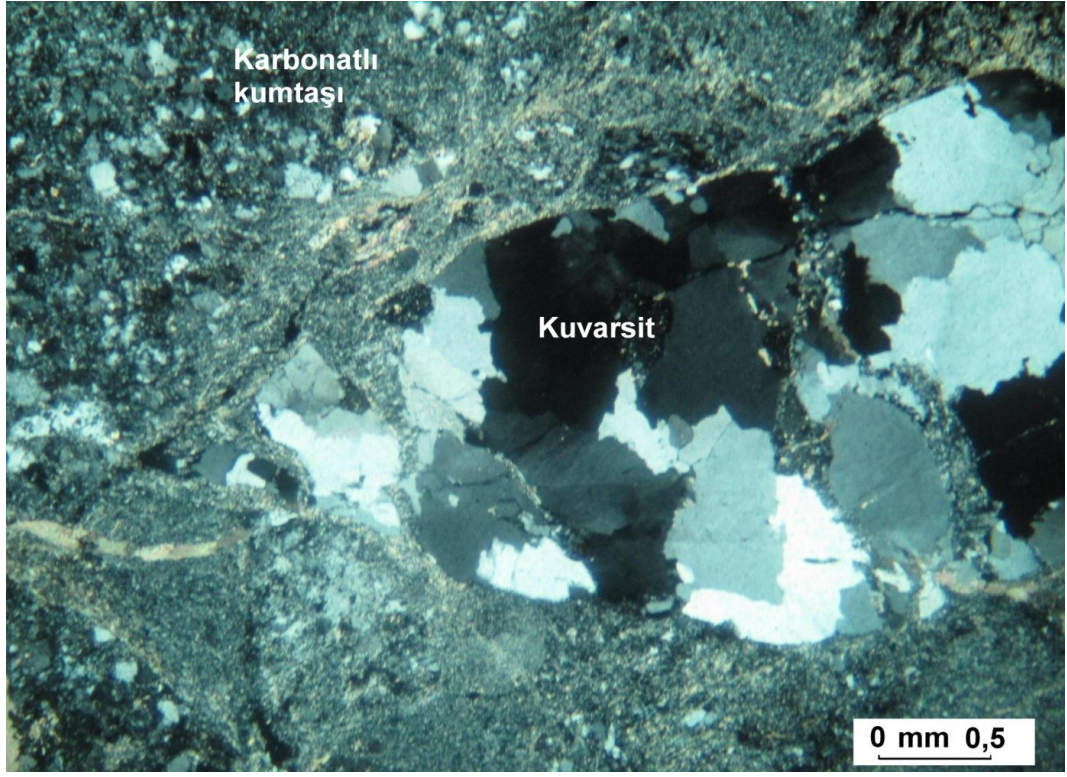
Çizelge 4.7 : Bej mermer örneği için ince kesit analiz sonuçları.

Mineraller	Mineral İçeriği (% orta)	Mohs Sertliği	Tane boyu (mm)	Tanımlamalar ve yorumlar
Mikritik kalsit	61-67	2,5	< 0,01	Mikritik kalsitler genelde birincildir. Herhangi bir alterasyon göstermezler. Kayaçta bol miktarda gözlenen fosilleri birbirine bağlayan bir çimento görevi görürler. Bunun dışında kavkılarda dönüşüm ürünü olarak da bulunurlar. Mikritik çimento içinde bir miktar detritik kökenli kil de yer alır. Mikritik zemin gelişi-güzel çok sayıda mikro damarlarca kesilmiştir.
İkincil Kristalen Kalsit	32-38	2,5-3	< 0,4	Bazı tanelerde tipik romboedrik dilinim belirgindir. Özşekilli, yarı özşekilli kristaller halinde oluşmuşlardır. Bu tür kalsitler kayacı bir ağ gibi kesen ve taşlaşma sonrası oluşmuş mikro çatlaklar içindedir. Bu oluşumlar dışında kayacın erime boşluklarını dolduracak şekilde iri taneli olarak da kristallenmişlerdir. Tek tane halinde bulunmaktan çok aderansları yüksek topluluklar oluştururlar. Herhangi bir alterasyon verisi göstermez.
Opak mineraller	0,5-1	1-2	< 0,01	Opak mineraller limonitten oluşur. Limonitler çok ince taneli veya mikritik zemini boyar şekilde bulunur.

Düşünceler; **Makro özellikler:** Beyaz, bej, sarımsı tonlarda masif, homojen, yoğun kayaç örneğidir. Oldukça ince taneli olmakla birlikte, kristalin yapı ve doku belirgindir. Gelişi güzel yönlerde ve birbirlerini keser şekilde kılcal çatlak ve dolguları rahatlıkla gözlenir. Bunlar bazen saydam mineral dolguludur. Çıplak gözle herhangi bir metalik sülfür minerali gözlenmemiştir. Az da olsa bazı yüzeyler limonitçe sıvanmıştır. Seyreltik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede kuvvetli reaksiyon izlenir.

Mikro özellikler: Mineralojik olarak mikritik ve kristalin kalsitten oluşan, bunlara az miktarlar kil ve opak minerallerinin eşlik ettiği kayaçtır. Fosil kavkılar tekrar kristalleşmiş, mikritik kalsite dönüşmüştür. Kayaç bol miktarda mikro çatlak içerir. Çatlakların genişliği 1,0 mm'ye kadar çıkar. Kayacın en belirgin özelliği bol miktarda fosil içermesidir. Bu özelliği ile organik kökenli karbonat kayası görünümü verir. Oluşum süreçlerinde, çalkantılı ortamlarda ilksel bileşenleri parçalanmış, daha sonra tekrar bir araya gelerek çökelmişlerdir.

Kayaç tipi : Sedimanter
Doku : Petromikt (polinjenik) doku
Alterasyon : Zayıf şekilde karbonatlaşma, silisleşme
Kayaç adı : Konglomera

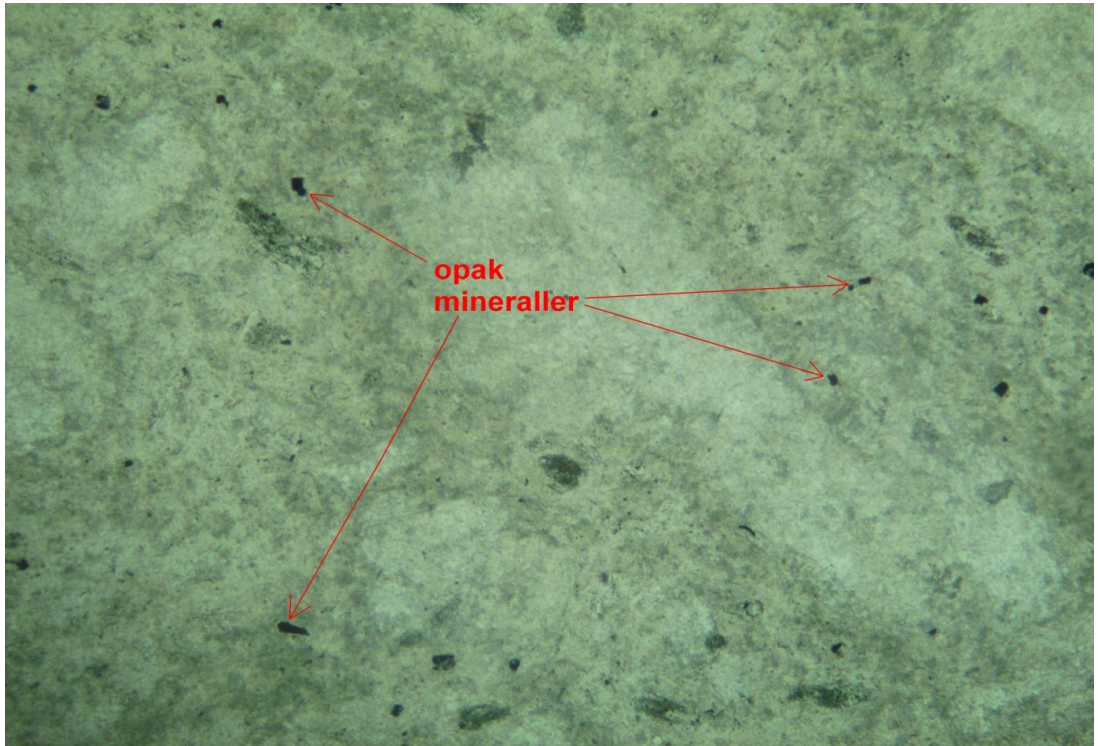
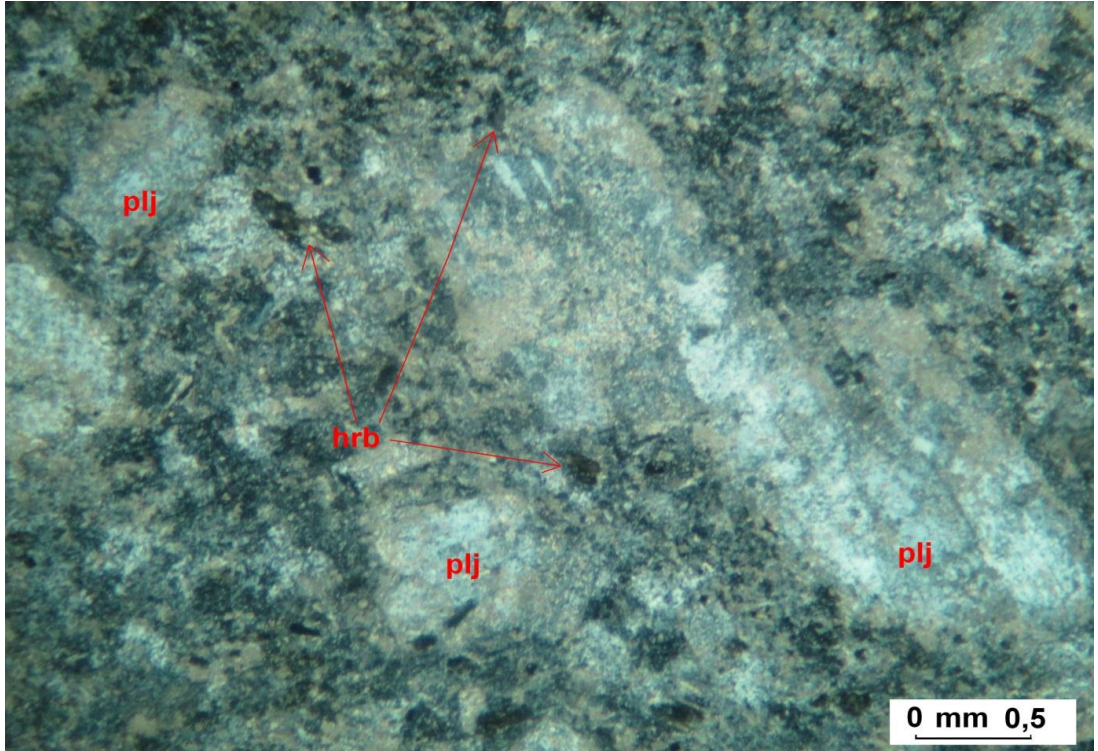


Şekil 4.16 : Konglomera örneğinin polarize ışık (yukarıda) ve beyaz ışık (aşağıda) altındaki görüntüsü.

Çizelge 4.8 : Konglomera örneği için ince kesit analiz sonuçları.

Mineraller/ Kayaç parçaları	Mineral/ kayaç içeriği (% orta.)	Mohs Sertliği	Tane boyu (mm)	Tanımlamalar ve yorumlar
Kuvars- mika şist/kalk şist	50	4,4-5 3,5-4	Kayaç parçaları için 10 mm altı	Köşeli-yarı köşeli kayaç parçalarından oluşurlar. Şistozide belirgindir. Kuvarslarda dalgalı yanma-sönme izlenir. Mikalar esas olarak muskovitten oluşur. Kalk şistlerde bu minerallere yönelmiş kalsitler eşlik eder. Tane boyu 0,7 mm ve altı. Tekdüze yapılı olmayan kuvars mika şistlerde bazen kuvars, bazen muskovit baskın mineraldir. Bu nedenle birim değişik düzeylerde kuvarsit, kuvars mika şist ardalanması gösterir. Mikro kıvrımlar nadirdir.
Kuvarsit	10	< 7	Mikalar için 0,01-0,3	Kuvarsitler % 97 oranında kuvars mineralinden oluşur. Kısmen yönlü yapılı kuvarslar dalgalı yanma sönme verir ve tane boyutları 0,04-0,8 mm aralığında kalır. Taneler kenetlidir ancak bazı noktalarda mikalarca (% 2-3) çevrelenmiştir.
Kumtaşı/k arbonatlı kumtaşı	20	< 6	0,02-0,6	Kumtaşlarının modal bileşiminde % 65-70 oranında kuvars, % 4-5 oranında feldspat, % 1-2 oranında opak mineral ve % 25-30 oranında silisli amorf çimento bulunur. Karbonatlı kumtaşlarında bu minerallere ilave olarak % 5-10 oranında kalsitlere rastlanılır. Bu kayaçlarda çimento karbonatlıdır.
Mikritik kireçtaşı	10	2,5-3.0	Mikritik kalst:<0.01 İkincil kalsit: <0.3	Mikritik kireçtaşları, % 85-90 birincil mikritik kalsit, % 10-15 ikincil iri taneli, dilinimli kalsitler ve çok az oranda opaklardan yapıldır.
Matriks/ha mur	10		<0.01	Kayaç parçaları az miktarda silisli-demirli bir çimento/matriks içindedir. Pek çok yerde kayaç ve mineral parçaları birbirleri ile kenetlidir. Matriks ince boyutlu kuvars+kalsit+mika+killerden yapıldır.
Düşünceler	Makro özellikler: Gri, morumsu gri, kahve tonlarda, farklı boyutlu kayaç parçalarının bir araya geldiği örnektir. Masif yapı belirgin olup, yoğun ve kompakttır. Kayaç parçaları yarı köşeli-yarı yuvarlak olup boyutları cm'ye kadar yükselir. Bazı noktalarda çatlak dolguları kristalleşmiştir. Kısmen ayrılmış, yüzeyleri zayıf bir şekilde demirce sıvanmıştır. Seyreltik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede zayıfta olsa reaksiyon izlenir. Buradan yapısında bir miktar karbonat gurubu mineraller ve/veya bu mineralleri içeren kayaç parçalarının da olduğu anlaşılır. Kayaç ve mineral parçalarında yönelme izlenir. Mikro özellikler: Örnek ince kesitinin polarizen mikroskop altında yapılan incelemesinde, farklı türde kayaç ve mineral parçalarının bir araya gelmesi ile oluşan ve deformasyon etkileri içeren konglomeradır. Kayaç oluşumunu takiben metamorfik etkilere maruz kalmış, ilksel doku ve kayaç sınırları kısmen kaybolmuştur. Pek çok yerde kayaç ve mineral parçaları birbirleri ile kenetlidir. Aralarındaki boşlukları çimento/matriks doldurmuştur. Genel olarak tüm kayaç türleri değişen oranda opak içeriklidir. Bunlar muhtemelen demir minerallerinden oluşur. Bu tür minerallerin içeriği % 0,5-3 aralığında kalır.			

Kayaç tipi : Magmatik damar kayası
Doku : Porfirik
Alterasyon : Killeşme, karbonatlaşma, silisleşme
Kayaç adı : Diyabaz

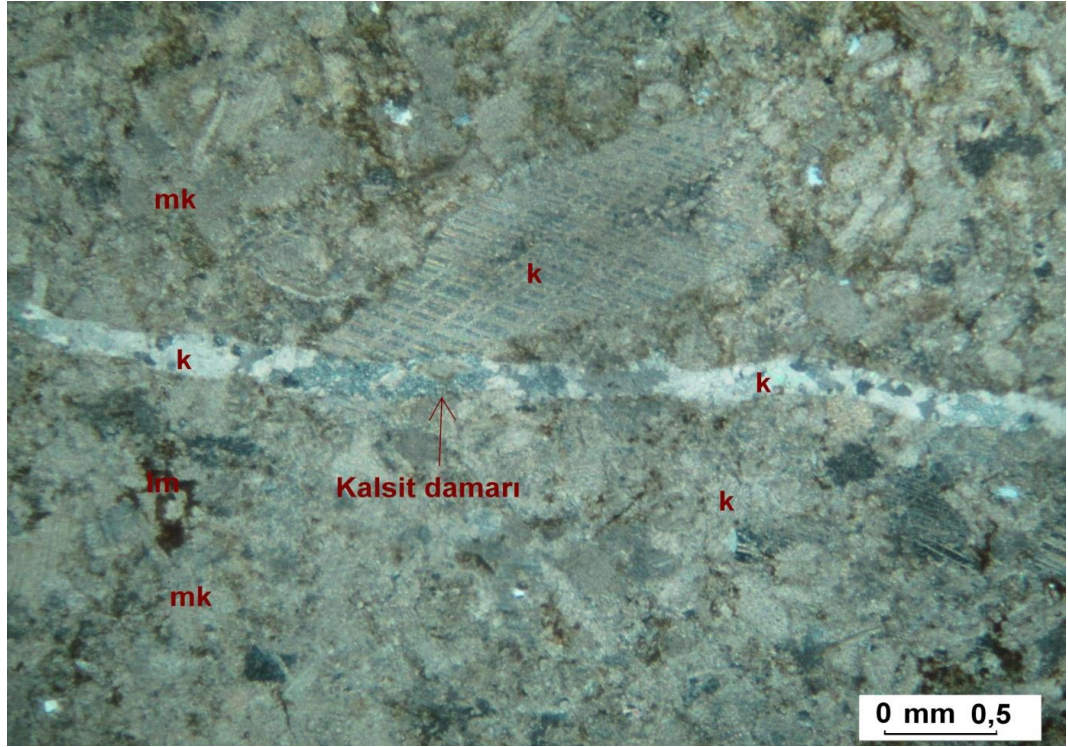


Şekil 4.17 : Diyabaz örneğinin polarizan mikroskop altında çift nikol (yukarıda) ve tek nikol (aşağıda) görüntüleri. plj: plaioklaz, hrb: hornblend. Kayaç etkili şekilde ayrışma ile karbonatlaşmış ve killeşmiştir.

Çizelge 4.9 : Diyabaz örneği için ince kesit analiz sonuçları.

Mineraller	Mineral İçeriği (% orta.)	Mohs Sertliği	Tane boyu (mm)	Tanımlamalar ve yorumlar
Plajiyoklaz	75-80	4-4,5	< 1,4	Kayacın modal bileşiminin büyük çoğunluğunu plajiyoklazlar oluşturur. Aterasyon ile ilksel özelliklerini büyük ölçüde kaybetmiş, esas olarak karbonatlaşmış ve killeşmiştir. Serisitleşme ihmal edilir orandadır. Plajiyoklaz fenokristalleri iri lamel ve birbirlerini keser şekildedirler. Bileşimleri muhtemelen polisentetik ikizli oligoklas-andezin türüdür. Ancak ayrışma ile birlikte polisentetik ikizler kaybolmuş veya kalıntı halde kalmıştır.
Amfibol (Hornblend)	14-16	5-6	< 0,5	Amfiboller yoğun şekilde ayrıışmış olmakla birlikte tanınabilir konumdadır. Bu tür minerallerin ayrışması ile gelişen epidot ve klorit türü minerallerin varlıkları önemsizdir. Ayrışma ile birlikte esas olarak karbonatlaşmış, kalsit ve kil minerallerine dönüşmüştür. Amfibol türü hornblendir.
Kalsit (Karbonatlaşma)	3-4	2,5-3,0	0.01-0,1	Kayaçta kalsit ayrışma ürünü olarak gelişmiş ikincil bir mineraldir. Oldukça ince tanelenmiştir. Çoğunlukla bir arada, kümelenmeler oluşturur. Seyreltik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede bazı noktalarda gözlenen zayıf reaksiyonlar bu tür kalsit kümelenmelerine denk düşer. İnce taneli oluşu nedeniyle dilinim izleri belirgin değildir.
Kuvars (ikincil)	1-2	7	< 0.02	İnce tanelenmiştir. Kuvars taneleri beyaz, sarımsı beyaz tonlarıyla hemen dikkat çekmez. Kayaçta silisleşme ürünü olarak gelişmiştir. Çoğunlukla ince kümelenmeler halinde, nadiren tek tane halinde izlenir.
Opak mineraller	2-3	5-6	< 0.1	Kayaç genelde ince taneli opak mineral içerir. Bu minerallerin büyük çoğunluğunu özşekli / özşekilsiz manyetit türü demir mineralleri oluşturur
Düşünceler	Makro özellikler: Gri, bej renklerde sert, masif ve kompakt kayaç örneğidir. Yapı ve doku yönüyle homojendir ve iri beyaz renkte mineral taneleri içerir. Bunlar kayaca benekli bir görünüm verir. Bu tür mineraller, kayaç yüzeyinin yarısından fazlasını kaplar. Ayrışma verileri belirgindir. Seyreltik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede bazı noktalarda zayıf reaksiyon izlenir. İkincil çatlak ve bunlara bağlı dolgu izlenmez. Mikro özellikler: Kayaç etkili şekilde ayrıışmış, ilksel doku ve yapısını büyük ölçüde kaybetmiştir. Ayrışma sonucu esas olarak kalsit ve kil mineralleri gelişmiştir. Çok az oranda da silisleşmiştir. Kayacın modal bileşiminin büyük çoğunluğunu altere plajiyoklazlar oluşturur. Bu mineral ve modal bileşimde yer alan hornblendler alterasyonla çoğunlukla karbonat ve kil minerallerine dönüştüğünden yapıda kalıntı halde bulunurlar. Kayaç dokusal özelliklere dayalı olarak, bir magmatik damar kayası olan diyorit porfir olarak adlandırılmıştır. Doku ve yapıdaki değişimler dikkate alındığında diyabaz olarak tanımlanması da hatalı olmayacaktır.			

Kayaç tipi : Sedimanter
Doku : Mikritik/kristalin
Alterasyon : Yok
Kayaç adı : Yarı mikritik-yarı kristalin kireçtaşı



Şekil 4.18 : Altere kireçtaşı örneğinin polarizan mikroskop altında çift nikol (yukarıda) ve tek nikol (aşağıda) görüntüleri. k: kalsit, mk: mikritik kalsit, lm: limonit. Kayaç ikincil kalsit dolgulu mikro çatlaklar içerir.

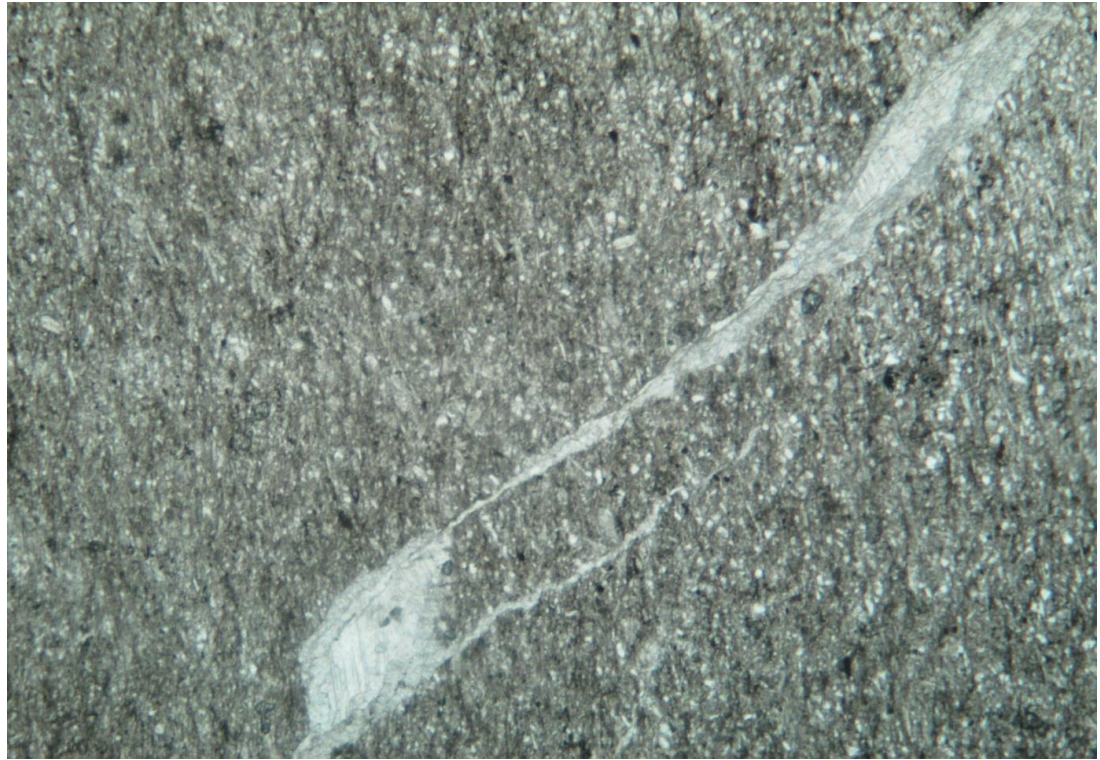
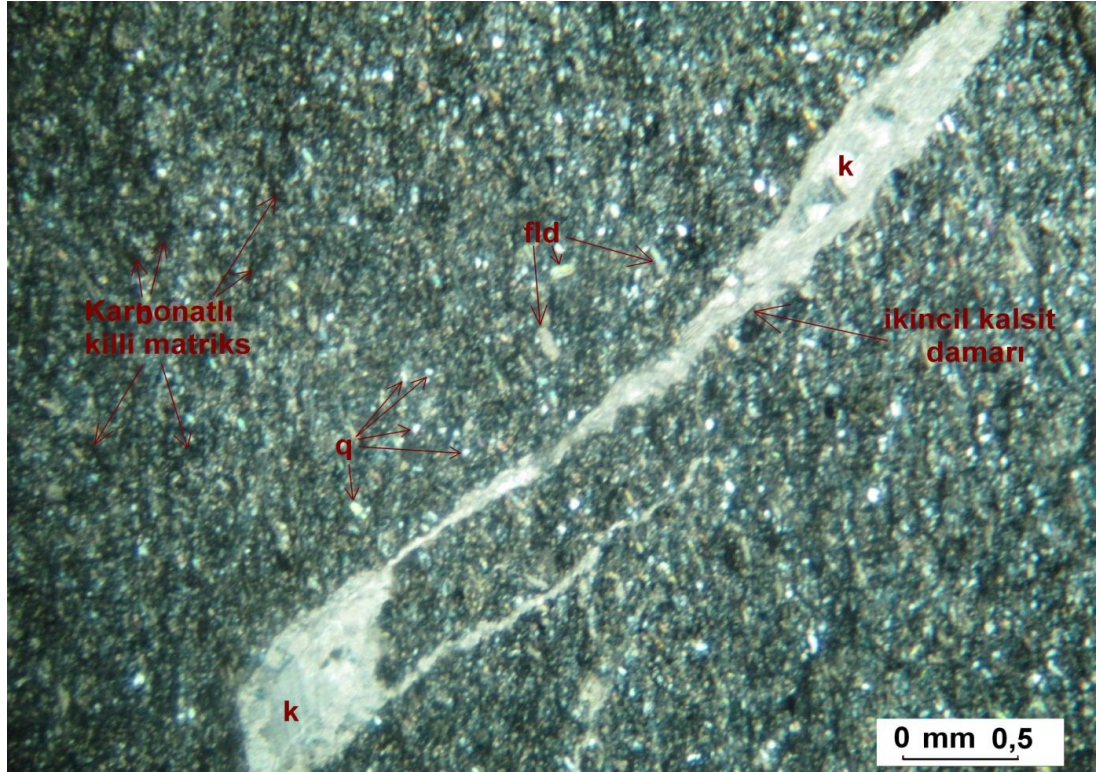
Çizelge 4.10 : Altere kireçtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.

Mineraller	Mineral İçeriği (% orta.)	Mohs Sertliği	Tane boyu (mm)	Tanımlamalar ve yorumlar
Kalsit	50-54	2,5	< 2	Kristalin kalsit kayacın en yaygın mineralidir. Temiz yüzeyli ve özşekilsiz kristaller halinde gözlenir. Fosillerde ve çatlaklarda ikincil karakterdedir. Çatlaklarda bulunan kalsitler birincil kalsitlere oranla daha iyi pekişmiş, yarı özşekilli kristaller halinde gözlenirler. Bunlarda tane boyu 0,7 mm'ye kadar çıkar. Genel olarak tane boyutları 0,4 mm altıdır. Nadiren 2 mm'ye kadar çıkarlar.
Mikritik kalsit	40-42	2,5	< 0,01	Mikritik kalsit birincil karakterdedir. Çökme ortamı içinde çoğunlukla kimyasal yolla oluşmuştur. Herhangi bir alterasyon izi taşımaz. Kayaca massif bir görünüm verir. Çok azda olsa spari kalsit geçişleri gösterir.
Kuvars	1-2	7	< 0.1	Kuvarlar bir topluluk ya da kümelenmeler oluşturmaz. Saçılı tek tane halinde gözlenirler. İnce tanelenmiş, çoğunlukla yarı yuvarlak olan kuvars taneleri mikritik kalsitin oluşturduğu zemin içinde dağılmıştır.
Opak mineraller	5-6	Değişken	< 0,2	Opaklar, kayaç genelinde saçılı bir şekilde, demir hidroksit (limonit) ve kil minerallerinden oluşur. Limonit bol oranda gözlenir. Çatlak dolgusu ve sıvama şeklinde oluşmuştur.

Düşünceler; **Makro özellikler:** Gri, bej, sarı renklerde bol kılcal çatlaklı karbonatlı kayaç örneğidir. Sert, yoğun ve kompakt olup, yapı ve doku yönüyle homojendir. Genel olarak ince tanelidir ve kristalen özellikler de gösterir. Kayaçta çatlaklar 1 mm boyutuna kadar çıkar ve beyaz-sarı renkli mineral dolguları içerir. Sarı renk yer yer kayacı etkili şekilde boyamış olan limonitten kaynaklanır. Ayrışma verileri zayıftır. Seyreltik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede kuvvetli reaksiyon izlenir

Mikro özellikler: Optik inceleme sonuçlarına göre kayaçta iri kristalin kalsitler büyük çoğunluğu oluşturur. Bunlar genellikle 0,7 mm altı boyutlarda ve dilinimlidirler. Bazı taneleri rekristalizedir. Bu tür kalsit dışında, kayaç önemli oranda birincil mikritik kalsitte içerir. Kayacı farklı yönlerde kesen ikincil kalsit damarları da gözlenir. Kalsitler dışında, bileşiminde bir miktar kil ve demir hidroksit ile fosil izleri bulunur. Fosiller yeniden kristalleşerek kalsitlere dönüşmüşlerdir ve kalıntı halinde bulunurlar. Kayaç **kireçtaşı** olarak adlandırılmıştır. Ancak modal bileşimi dikkate alındığında, daha ayrıntılı bir tanımlama ile “**yarı mikritik-yarı kristalen kireçtaşı**” olarak da adlandırılabilir.

Kayaç tipi : Sedimanter
Doku : Matriks yapıli taneli doku
Alterasyon : Killeşme
Kayaç adı : Çamurtaşl

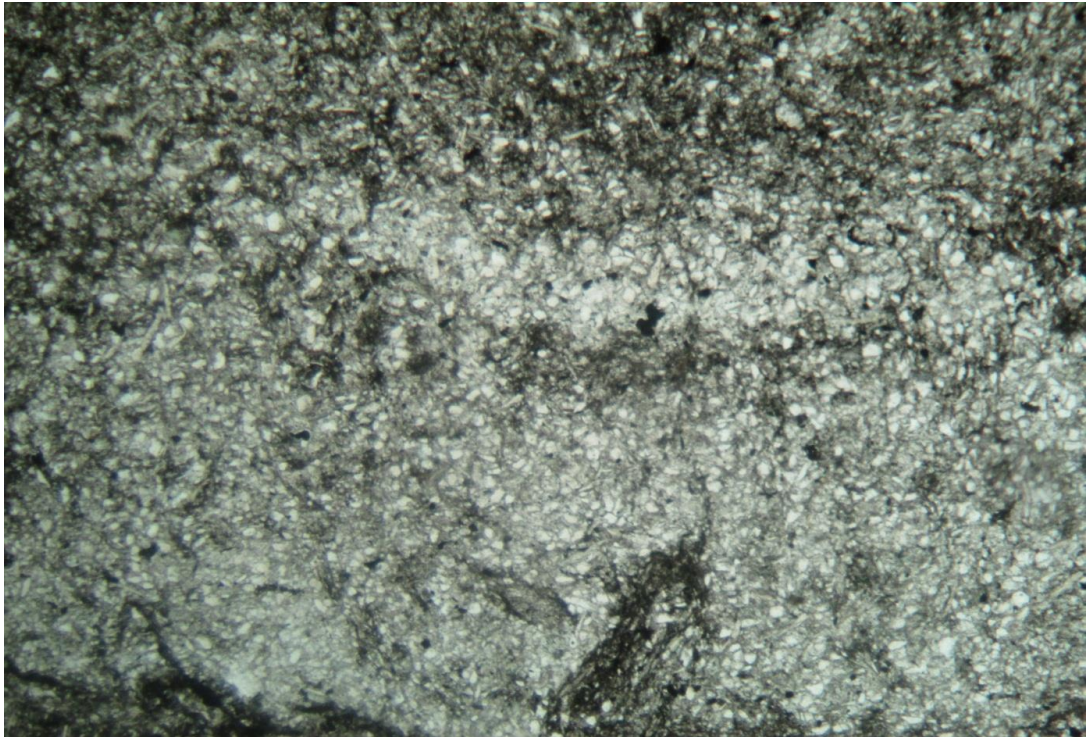
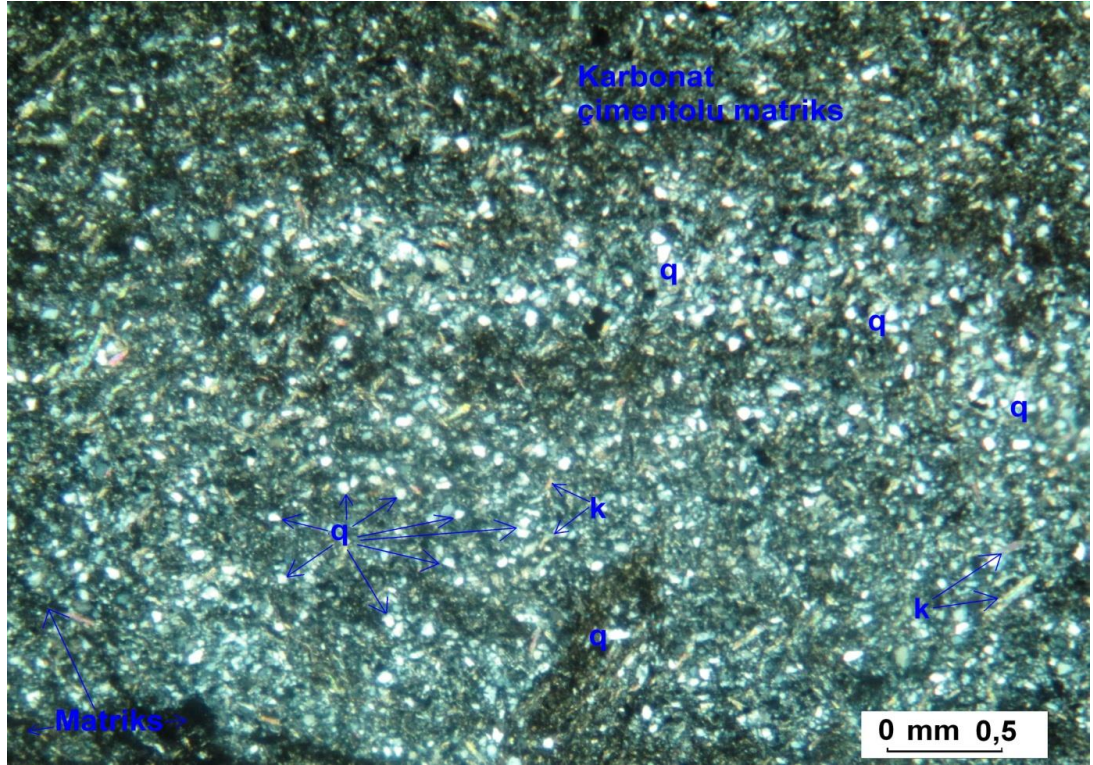


Şekil 4.19 : Çamurtaşl örneğinin polarize ışık (yukarıda) ve beyaz ışık (aşağıda) altında mikroskop görüntüleri. q: kuvars, k: kalsit, fld: feldspat.

Çizelge 4.11 : Çamurtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.

Mineraller	Mineral İçeriği (% orta.)	Mohs Sertliği	Tane boyu (mm)	Tanımlamalar ve yorumlar
Kuvars	30-32	7	< 0,2	Kuvars bir topluluk oluşturmaktan çok yarı-yuvarlak ve saçılı taneler halinde kristalleşmişlerdir. Genel olarak ince tanelidirler. Beyaz renklerde ve temiz yüzeyler içerir. Bu özelliklerinden dolayı hamur/matriks içinde rahatlıkla tanınırlar.
Feldspat	2-3	5-5-6,0	< 0,2	İnce taneli, kuvarslara benzer şekilde tek ve saçılı taneler oluştururlar. İnce lamelli oluşum sergilerler. 0,01 mm ve altı boyutlarda olanlar matriks içinde de yer alır.
Kalsit	10-12	2,5-3,0	< 0,3	Kalsitler ince mercekssel zonlar oluşturmakla birlikte esas olarak kayaç içinde gelişi-güzel saçılı olarak izlenir. İkincil çatlaklarda daha iri taneli, temiz ve dilimleri belirgin kristalleşmiştir. İri taneli kalsitlere matriks içinde bazı noktalarda bir topluluk oluşturacak şekilde de rastlanılır ve bunlar mikritik geçişlidir. Çatlaklarda nadiren de olsa 0,5 mm tane boyutuna çıkabilen kristallerine rastlanılmıştır.
Matriks	50-56	2	< 0,01	Kayaçın esasını oluşturan matriks, kısmen demirce boyanmıştır ve mika, kil, klorit ve karbonat dönüşümleri içerir. Karbonat mikritik karakterdedir. Akma yapıları zayıftır. Matriks içinde organik kökenli karbon bulunması muhtemeldir. Ancak bu içerik azdır. Mika ve kloritler altere olmuş, bunun sonucunda kayaç kısmen killeşmiştir.
Opak mineraller	2-3	Değişken	< 0,2	Opak mineraller esas olarak demir hidroksit (limonit) mineralinden oluşur ve serbest karbonla birlikte matriksi boyamıştır. Kayaç genelinde son derece düzensiz bir oluşum sergiler. Limonitlere, mikro çatlak dolgusu veya sıvama şeklinde de rastlanılır.
Düşünceler	Makro özellikler: Gri, siyah tonlarda masif kayaç örneğidir. Homojen doku ve yapıda, oldukça ince tanelidir. Herhangi bir ayrışma, buna bağlı erime boşlukları ve gözenekleri bulunmaz. İnce kılcal çatlaklar (1 mm altı) beyaz renkli minerallerce doldurulmuştur. Seyreltik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede kayaçta zayıfta olsa bir reaksiyon gözlenmiştir ancak reaksiyon daha etkili kılcal çatlaklar boyunca gözlenir. Sedimanter yapı ve doku tanımlanabilir niteliktedir. Kayaç gri ton, ince tane yapısı ve sedimanter özellikleri ile karakteristiktir. Mikro özellikler: Kayaç killi-karbonatlı çamurtaşı ile kumlu-karbonatlı çamurtaşı arasında geçişler gösterir. Matriks oranına göre kumlu-karbonatlı çamurtaşı olarak adlandırılmıştır. Altere olmuş mika, kil, klorit ve karbonat dönüşümlerinin izlendiği, daha dar bir anlamda kil-karbonat matriksi içinde kuvars, feldspat ve opak minerallerin izlendiği bir sedimanter kayaçtır. Belirgin şekilde ikincil kalsit oluşumları içeren damarlarca kesilmiştir.			

Kayaç tipi : Sedimanter
Doku : Matriks yapılı taneli doku
Alterasyon : Zayıf killeşme
Kayaç adı : Çamurtaşı.

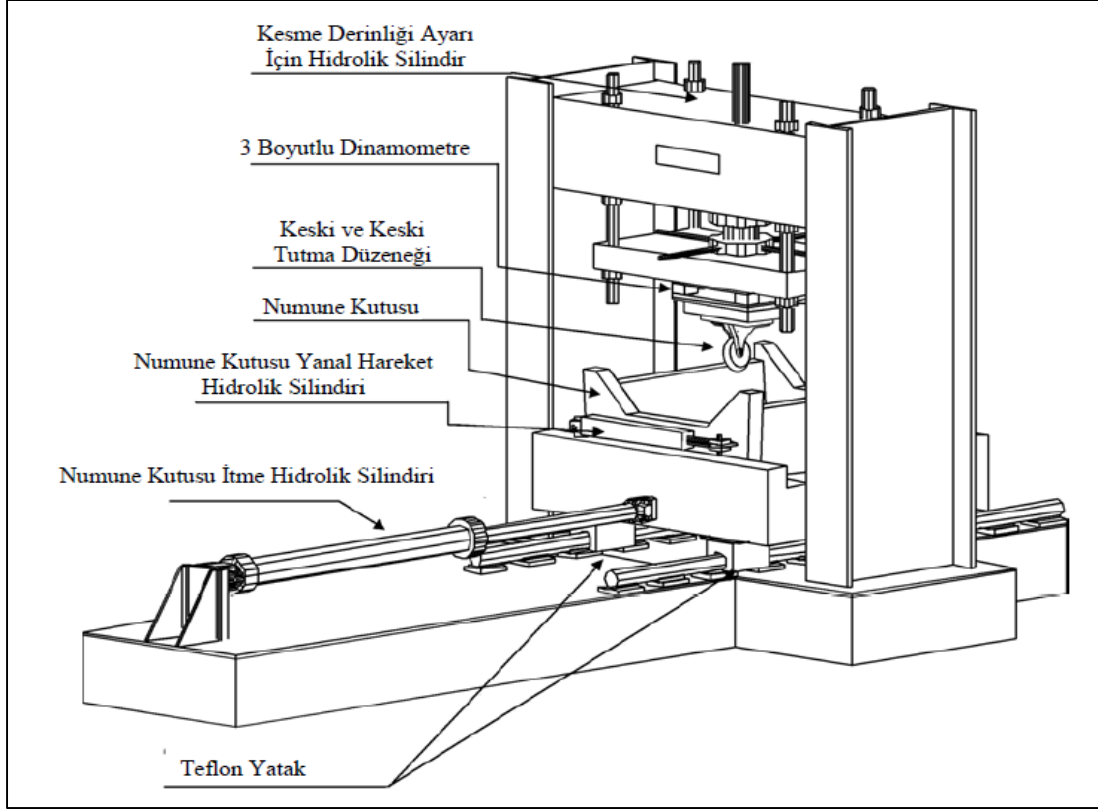


Şekil 4.20 : Çamurtaşı örneğinin polarize ışık (yukarıda) ve beyaz ışık (aşağıda) altında mikroskop görüntüleri. Matriks, demir oksit/hidroksit, karbonat ve karbon çimentolu ince taneli kuvars + feldspat + kil+ mikadan oluşur. q: kuvars, k: kalsit.

Çizelge 4.12 : Çamurtaşı örneği için ince kesit analiz sonuçları.

Mineraller	Mineral İçeriği (% orta.)	Mohs Sertliği	Tane Boyu (mm)	Tanımlamalar ve yorumlar
Kuvars (+kuvarsit kayaç parçaları)	52-54	7	< 0,3	Kuvarslar bazı noktalarda orta-iri taneli (0,3 mm), bazı noktalarda ise çok ince (0,05 mm ve altı) tanelidir. Köşeli, yarı köşeli taneler halinde olup, özşekilsizdir. Kayaç içindeki dağılımı düzensizdir. Bazı noktalarda bir arayada izlenirken, kayacın bazı noktalarında düşük oranda saçılı halde bulunurlar. Köşeli, yarı-yuvarlak taneler halinde olup herhangi bir yönlenm göstermezler.
Feldspat	3-4	5-5-6,0	< 0,3	Feldspatlar esas olarak plajiyoklazlardır. Gelişi güzel dağılmışlardır. Bir topluluk oluşturmaktan çok tek tane halinde bulunurlar. Herhangi bir ikizlenme (albit, karlsbat) görülmez. Genellikle ince lamelli şekiller gösterirler.
Kalsit	6-8	2,5-3,0	< 0,2	Kalsit başlıca karbonat mineralidir. Kayaç içinde tek tane halinde bulunur. İnce tabüler kristaller, daha az çubuksu kristaller halinde gözlenir. Matriks içinde mikritik karakterdedir. Nadiren mikro çatlakları doldurmuş olarak da gözlenmiştir.
Matriks	30-36	2	< 0,01	Karbonat çimentolu ince taneli kuvars + feldspat + kil + mikalardan oluşur. Kısmen demirce boyanmıştır Matriks içinde muhtemelen organik kökenli karbon bulunsu da içeriği azdır. Matriksi oluşturan ince taneli mika ve kloritler altere olmuş, bunun sonucunda kayaç düşük oranda killeşmiştir.
Opak mineraller	2-3	4,5-5	< 0,1	Kayaç genelde ince taneli opak mineral içerir. Bu minerallerin büyük çoğunluğunu özşekli / özşekilsiz manyetit türü demir mineralleri oluşturur. Buna daha az oranda özşekilsiz hematite ve limonit eşlik eder.
Düşünceler	Makro özellikler: Gri-siyah sert, masif ve homojen kayaç örneğidir. Renk, doku ve yapı yönüyle d kodlu örneğe benzer. Oldukça ince tanelidir. Kayaç yüzeyleri temizdir. Taze yüzeylerde ince kristalli yapı görülebilir. Ancak bu örnekte laminasyon görülmez ve çok azda olsa iri kayaç parçaları içerir. İkincil çatlak ve buna bağlı olarak da mineral dolgusu nadirdir. Erime boşluğu ve gözenekli yapı gözlenmez. Seyreltik HCl (% 10'luk hidroklorik asit) ile muamelede çok zayıf reaksiyon izlenmiştir. Çıplak gözle metalik karakterde bir sülfür veya diğer tür bir mineral tespit edilmemiştir. Kayaç sedimanter karakterdedir. Mikro özellikler: Polarizen mikroskop altında yapılan inelemeye göre; demir hidroksit ve karbonat çimentolu bir matriks içinde kuvars, feldspat, mika, kalsit ve kuvarsit kayaç parçalarından oluşan sedimanter kayadır. Matriksi oluşturan elamanlar çok ince taneli-kriptokristalin karakterdedir. Kil muhtemelen feldspat ve mikalardan itibaren bir alterasyon ürünü olarak gelişmiştir. Matriks içinde rastlanılan kayaç parçaları bazı alanlarda konglomeratik bir doku oluşturur. Kayaçta, büyük çoğunluğunu matriksin veya kuvars+plajoklazların oluşturduğu farklı bileşimli zonların ardalanması da gözlenmiştir. Buradan kayacın bir çamurtaşı-kumtaşı geçiş ortamını yansıttığı söylenebilir.			

Şekil 4.22’ de şematik görünümü verilen tam boyutlu kazı deney setinde araziden temin edilen büyük blok numune, numune kutusu içerisine yerleştirilip etrafı betonlanarak sabitlenmektedir.

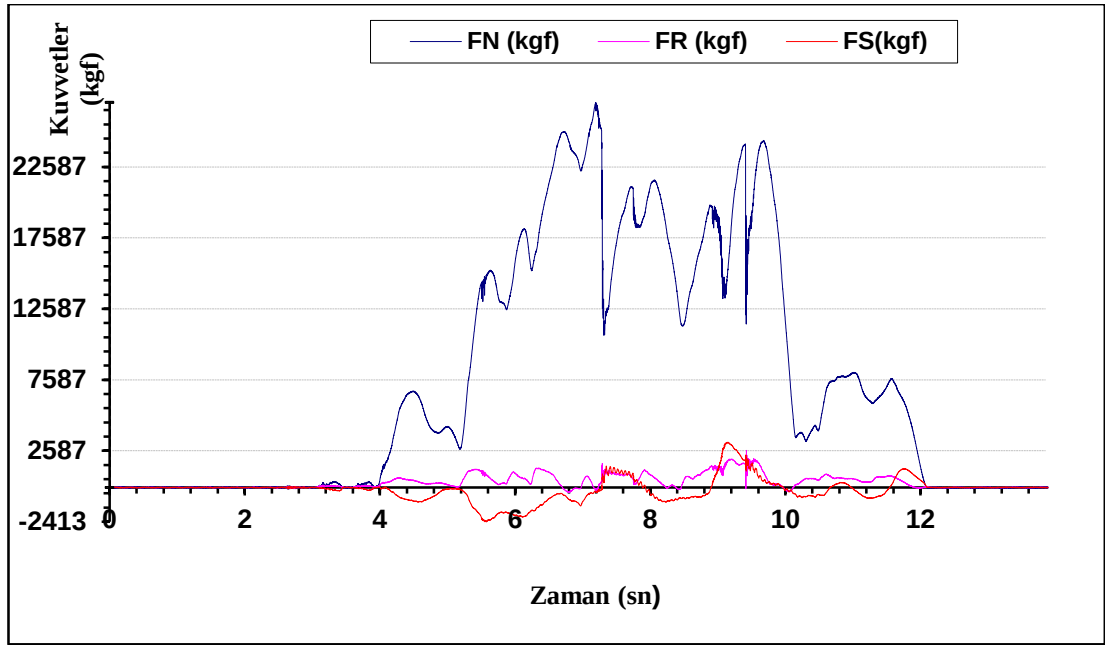


Şekil 4.22 : Tam boyutlu kazı deney setinin şematik görünümü (Tumaç, 2010).

Numune kutusu içerisine numunenin yerleştirilmesinden sonra Şekil 4.22’ de görülen ve farklı yönlerde hareket sağlayan hidrolik silindirler yardımıyla keski tutucu ve dolayısıyla keski dikey yönlü ve numune kutusu yanıl yönde hareket ettirilerek kesme derinliği (d) ve keski arası mesafe (s) değerleri ayarlanmaktadır. Keski arası mesafe ve kesme derinliği değerlerinin ayarlanmasıyla birlikte keski sabit tutularak numune kutusu yine hidrolik silindir yardımıyla itilerek kaya kesme işleminin yapılması sağlanmaktadır.

Kaya kesme işlemi esnasında kazı hattı boyunca keski üzerine etki eden normal kuvvet (FN), yuvarlanma kuvveti (FR) ve yanıl kuvvet (FS) değerlerinin belirlenebilmesi için keskiye etki eden kuvvetler deney seti veri toplama sistemi tarafından ham veri olarak toplanmaktadır.

Tam boyutlu kazı deney seti veri toplama sistemi donanım olarak; analog / digital dönüştürücü kart olan bir bilgisayar, gerilim ölçerlere (gerilim pulu) akım besleyen ve köprülerdeki gerilimi dengeye getiren amplifikatör, sinyal koşullayıcı ve gerilim ölçerlerden (gerilim pulu) oluşmaktadır. Veri alma sistemi ile her bir saniyede 2000 veri alınabilmekte ve özel yapım bir alüminyum dinamometre yardımı ile 50 ton' a kadar keski kuvvetleri ölçülebilmektedir. Kaya kesme işlemi sonucunda kayıt altına alınan keski kuvvetlerinin zamana (veya kesme mesafesine) bağlı değişimi Şekil 4.23'te görülmektedir.



Şekil 4.23 : Kesme deneyi sonucunda ölçülen kuvvetler.

Veri toplama sistemi tarafından milivolt (mV) cinsinden kaydedilen kuvvetler ham veri olarak adlandırılmakta ve bu kuvvetleri kilogram kuvvet (kgf) birimine çevirebilmek için deney öncesinde yapılan kalibrasyon katsayıları (kgf/mV) kullanılmaktadır. Kesme deneyi esnasında, keskinin kayayı kestiği zaman aralığında oluşan kuvvetler Şekil 4.13' teki veri penceresinden görülerek ayıklanır ve bir Microsoft Excel® dosyasına yerleştirilerek her bir kuvvetin (FN, FR, FS) maksimum, minimum ve ortalama değerleri ile standart sapmaları bu dosya içerisinde hesaplanır. Daha sonra ise birim hacimdeki kayayı kesebilmek için gerekli olan spesifik enerji (SE) değeri Eşitlik 4.12 kullanılarak hesaplanır (Özdemir, 1975; Bilgin ve diğ., 2008).

$$SE = \frac{FR}{Q} \quad (4.12)$$

Burada;

SE : Spesifik enerji, MJ/m³

FR : Ortalama Yuvarlanma kuvveti, kN

Q : Birim kesme mesafesinde açığa çıkan pasa miktarı, m³/km

Eşitlik 4.12 kullanılarak spesifik enerji değeri hesaplandıktan sonra Eşitlik 4.13 kullanılarak bir tünel açma makinesinin net kazı hızı hesaplanabilmektedir (Rostami, ve Özdemir, 1993).

$$ICR = k \cdot \frac{P}{SE_{opt}} \quad (4.13)$$

Burada;

ICR : Kazı miktarı, m³/h

P : Kesici kafa gücü, kW

SE_{opt} : Optimum spesifik enerji, kWh/m³

k : Kesici kafa gücünü kayaca iletme katsayısı, 0,85 - 0,90

4.2.2 432 mm çaplı sabit kesitli (CCS) tip disk keski

Tam boyutlu doğrusal kazı deney setinde yapılan kesme deneylerinde 432 mm çaplı CCS tip disk keski kullanılmıştır. Kullanılan bu keski tünel açma makinalarında kullanılan gerçek bir disk keskidir. Tek diskli keski V ve CCS tip disk keski olmak üzere ikiye ayrılmakta ve V tip disk keski keski ucunun sivri V tipli olduğundan bu isimle adlandırılırken CCS tip disk keski ise sabit kesit alanlı keski olarak adlandırılır. V tipli disk keski kullanılarak yüksek ilerleme elde edilse de zamanla bu keskinin çok çabuk aşındığı fark edilmiştir. Bu doğrultuda uç aşınmasını azaltmak amacıyla ucu küt olan sabit kesitli keski (CCS tip) geliştirilmiştir. Geliştirilen bu keskiyle birlikte daha yüksek makine performansı elde edilmiş ve CCS tip keski TBM endüstrisinde bir standart olarak kabul edilmiştir.

İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Teknolojileri Laboratuvarında yapılan LCM kaya kesme deneylerinde kullanılan 432 mm çaplı CCS tip disk keski; 432 mm çaplı disk çapına ve 18 mm uç genişliğine sahiptir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24 : LCM kaya kesme deneylerinde kullanılan 432 mm çaplı CCS tip disk keski.

4.2.3 Numune hazırlama

Tam boyutlu doğrusal kazı setinde (LCM) kesme deneylerinin yapılabilmesi için 70x70x40 cm boyutunda blok numuneler kullanılmış ve bu deney setinde kaya kesme deneylerinin yapılması için numune hazırlama işlemlerinde birçok adım izlenmiştir.

Öncelikle araziden farklı boyutlarda temin edilen blok numunelerin numune kutusuna yerleştirilebilmesi için uygun boyutlara getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla temin edilen blok numuneler Şekil 4.25’ te görüldüğü gibi nakliye kamyoneti vasıtasıyla doğaltaş atölyesine götürülerek yaklaşık 70x70x40 cm boyutlarına getirilmiştir.

Numunelerin istenilen boyutlara getirilmesi işleminden sonra numunelerin yerleştirileceği numune kutusunun boşaltılması işlemleri yapılmıştır. Bu işlemlerde numune kutusundaki betonun kırılması için martopikör kullanılmıştır.



Şekil 4.25 : LCM kaya kesme deneylerinde kullanılan blok numunelerin doğaltaş atölyesine taşınması.



Şekil 4.26 : LCM kaya kesme deneylerinde kullanılan blok numunelerin yerleştirildiği numune kutusunun boşaltılması.

Numune kutusunun boşaltılmasından sonra (Şekil 4.26) uygun boyutlara getirilen blok numuneler forklift yardımıyla kutu içerisine yerleştirilmiş daha sonra beton mikseriyle getirilen beton kullanılarak numunenin kutu içerisine sabitlenmesi sağlanmıştır. Numunenin numune kutusu içerisine yerleştirilmesi ve etrafının betonlanıp sabitlenmesi işlemleri Şekil 4.27 – 4.28’ de verilmiştir. Numune etrafına beton döküldükten sonra deney esnasında blok numunenin yerinden oynamaması için deneye başlamadan önce yaklaşık 15 gün beklenilmiştir.



Şekil 4.27 : Numune kutusu içersine yerleştirilmiş blok numune.



Şekil 4.28 : Etrafı betonlanarak sabitlenmiş blok numune.

4.2.4 Bej mermer üzerinde yapılan LCM deneyleri

4.2.4.1 Bej mermer üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney programı

Bej mermer numunesi üzerinde yapılan kesme deneylerinde iki farklı yöntem izlenmiştir. Birinci yöntemde keskiler arası mesafe (s) değeri 60 mm olarak ayarlanarak kesme derinliği (d) 1.5, 3 ve 5 mm olacak şekilde farklı kesme derinliklerinde yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri yapılmıştır. İkinci yöntemde ise kesme derinliği (d) 2 mm olarak ayarlandıktan sonra keskiler arası mesafe 20, 30, 40 ve 50 mm olacak şekilde değiştirilmiş ve böylece farklı şartlarda kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu kesme deneylerine ait program Çizelge 4.13’ te özetlenmiştir.

Çizelge 4.13 : Bej mermer numunesi üzerinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan LCM deney programı.

d mm	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme				
		s= 20 mm	s=30 mm	s=40 mm	s=50 mm	s=60 mm
1	✓	✓				
1.5	✓					✓
2	✓		✓	✓	✓	
3	✓					✓
5	✓					✓

4.2.4.2 Bej mermer üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney sonuçları

Oldukça masif bir yapıya sahip olmasından dolayı 432 mm çaplı CCS tip disk keski kullanılarak bej mermer numunesi üzerinde elden geldiği kadar farklı kazı deney matrisleri geliştirilmiştir. Sonuç olarak 5 farklı kesme derinliği ve yine 5 farklı keskiler arası mesafe değerinde yardımcı ve yardımcı olmayan kesme deneyleri yapılmıştır.

Bej mermer üzerinde yapılan yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri için kesme derinliği (d) sırasıyla 1, 1.5, 2, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış ve bu kesme derinliklerinde deneyler yapılmıştır. Yardımlı kaya kesme deneylerinde ise keskiler arası mesafe (s) değeri farklı değerlerde (20, 30, 40, 50 ve 60 mm) tutularak farklı kesme derinliklerinde deneyler yapılmıştır.

Özetle bej mermer numunesi üzerinde kesme derinliği ve keskiler arası mesafe değerleri değiştirilerek; 5 farklı kaya kesme şartında yardımcı olmayan ve 6 farklı kaya kesme

şartında da yardımcı olmak üzere toplam 11 farklı deney matrisi oluşturulmuştur. Her bir deney matrisin de ortalama 4 veri alındığı hesap edilirse bu numune üzerinde yaklaşık 44 kaya kesme deneyi yapıldığı söylenebilir. Yapılan bu deneylerden birkaçına ait resimler şekil 4.29 – 4.31’ de verilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.14 – 4.15’ te, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK A.1 – A.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.29 : Bej mermer numunesi üzerinde $s = 60$ mm, $d = 3$ mm şartlarında yardımsız yapılan kazı deney sonrası görüntüsü.



Şekil 4.30: Bej mermer numunesi üzerinde $s = 60$ mm, $d = 1.5$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deney sonrası görüntüsü.



Şekil 4.31 : Bej mermer numunesi üzerinde $s = 30$ mm, $d = 2$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.

Çizelge 4.14 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM kesme deney sonuçları.

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
1	3896.137	8787.24	122.69	506.37	18.20
1.5	8762.92	17248.23	260.69	1016.08	7.38
2	11586.78	21495.89	357.43	1517.20	7.06
3	14244.22	24584.99	427.29	1925.66	6.70
5	16728.57	25479.76	631.38	2286.48	6.03

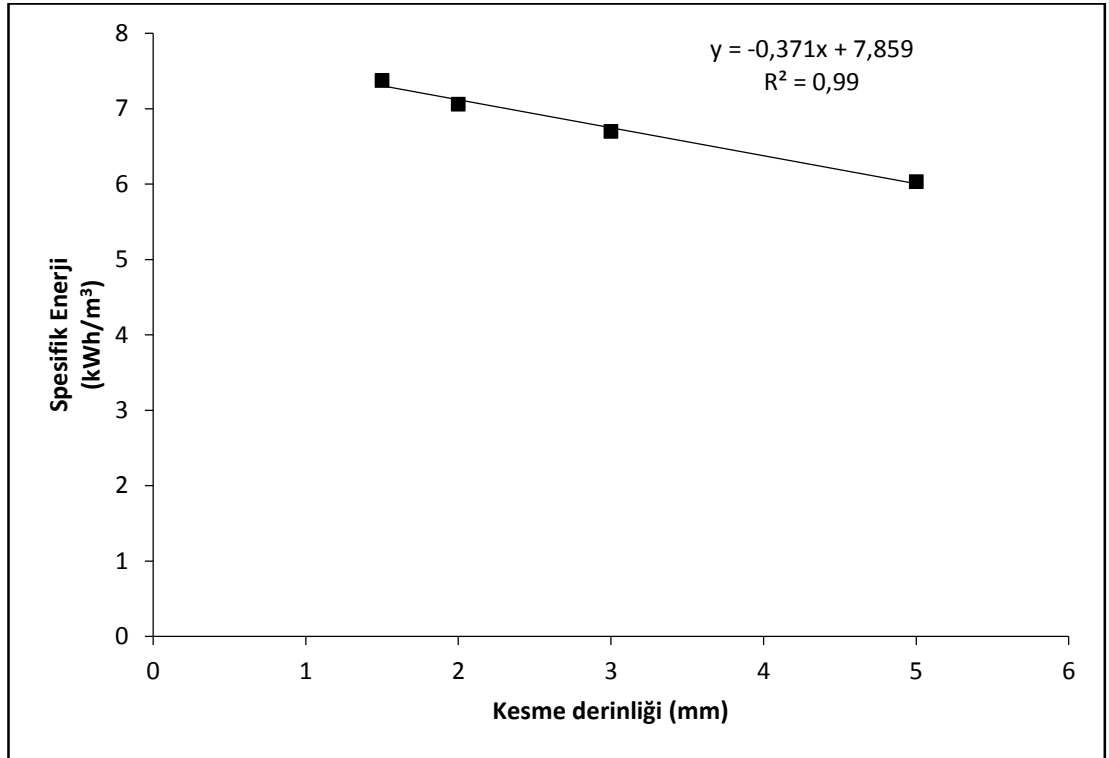
Çizelge 4.15 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM kesme deney sonuçları.

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
1.5	60	40	9327.08	17174.53	271.53	1002.31	6.95
3	60	20	14575.88	23962.49	458.82	1736.74	5.58
5	60	12	15037.77	24565.78	493.24	2130.36	5.92
2	30	15	7894.88	16803.76	251.00	1009.96	9.32
2	40	20	10697.33	19768.14	315.50	1234.72	7.37
2	50	25	10102.16	19333.29	376.86	1526.02	7.47

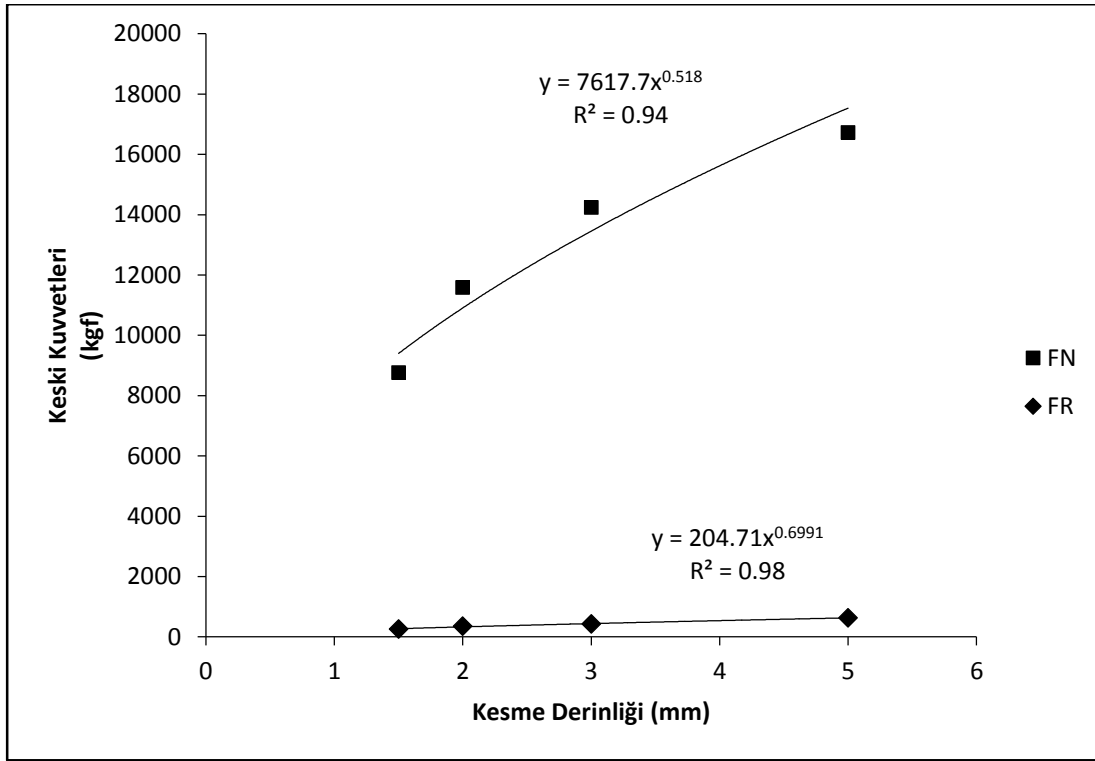
Bej mermer üzerinde yapılan LCM kazı deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yardımsız kesme deneylerinde kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.32 - 33' te

verilmiştir. İlgili grafiklere bakıldığında kesme derinliği arttıkça spesifik enerji değerinin beklenildiği gibi düştüğü ve yüksek bir korelasyon katsayısının bulunduğu görülmektedir. Keski üzerine etki eden kuvvetlerin ise kesme derinliğine bağlı olarak arttığı görülmektedir.

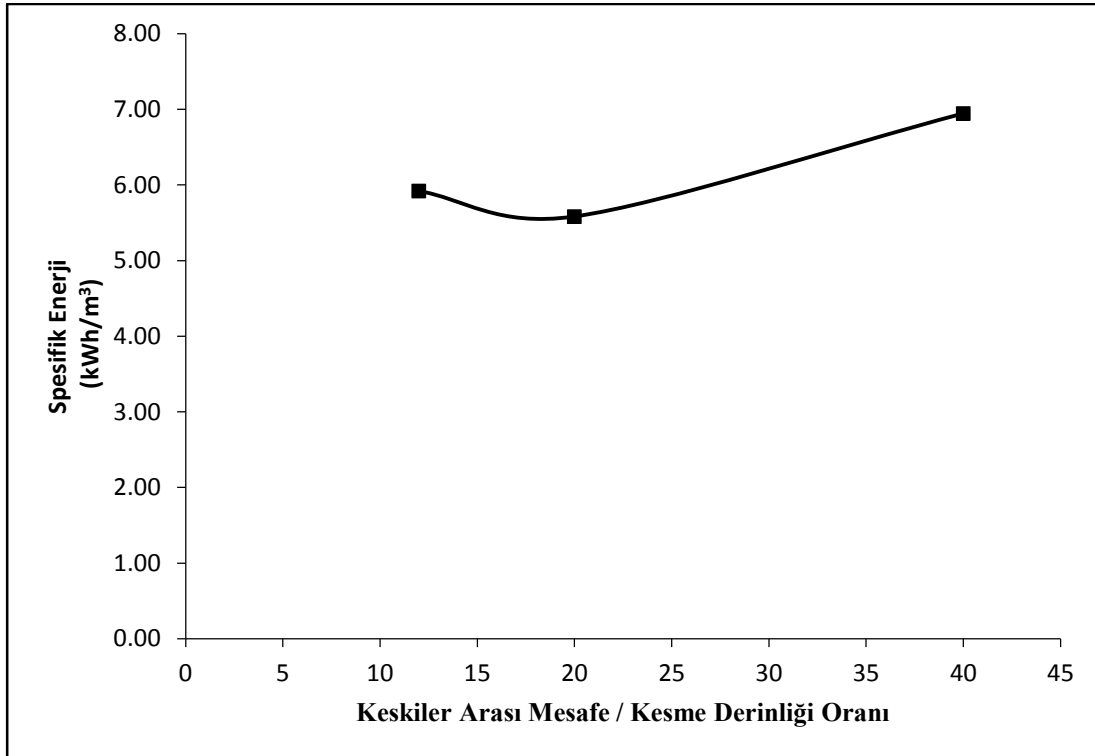
Yardımlı kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak ise iki farklı değerlendirme yapılmış ve farklı grafikler elde edilmiştir. Birinci değerlendirme keskiler arası mesafenin 60 mm olarak ayarlanıp kesme derinliklerinin değiştirildiği deneyler için yapılmış olup elde edilen şekiller Şekil 4.34 – 4.36’ da verilmiştir. İkinci değerlendirmeye ait şekiller ise Şekil 4.37 – 38’ de verilmiş olup bu şekiller kesme derinliğinin 2 mm olarak sabitlenip keskiler arası mesafenin değiştirildiği şartlar içindir. İlgili şekillere bakıldığında bej mermer için farklı şartlarda yapılan yardımlı kesme deneylerinde optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranının aynı çıktığı görülmektedir.



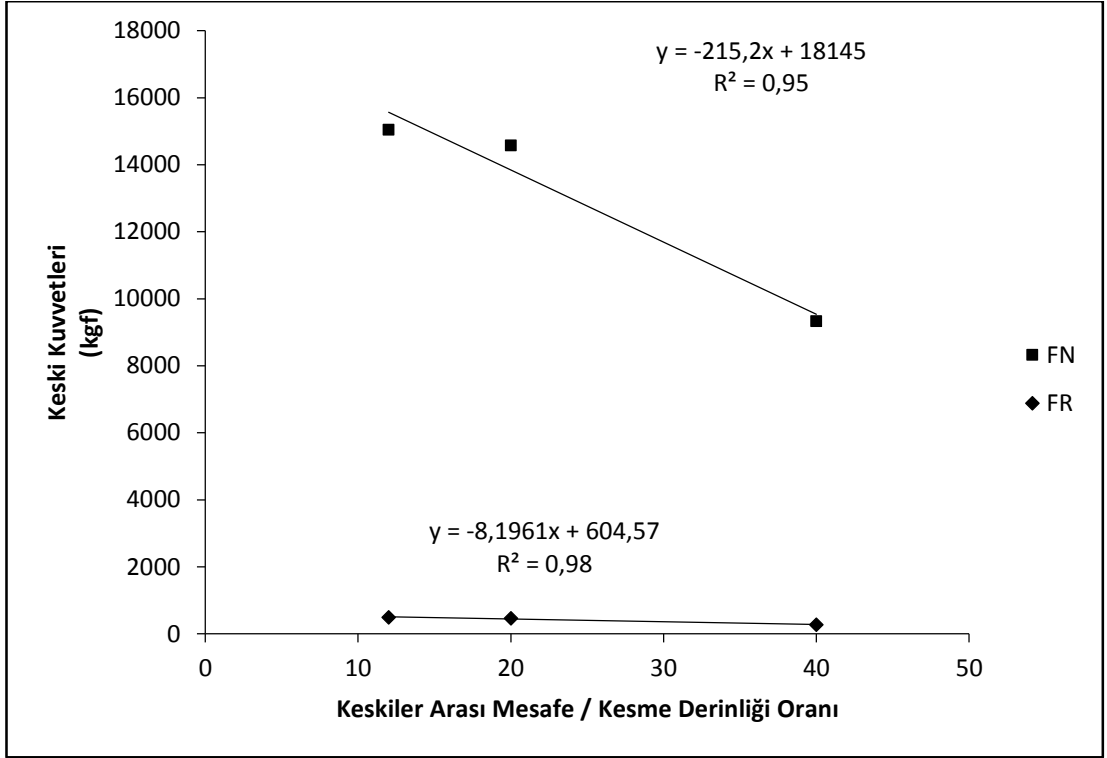
Şekil 4.32 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



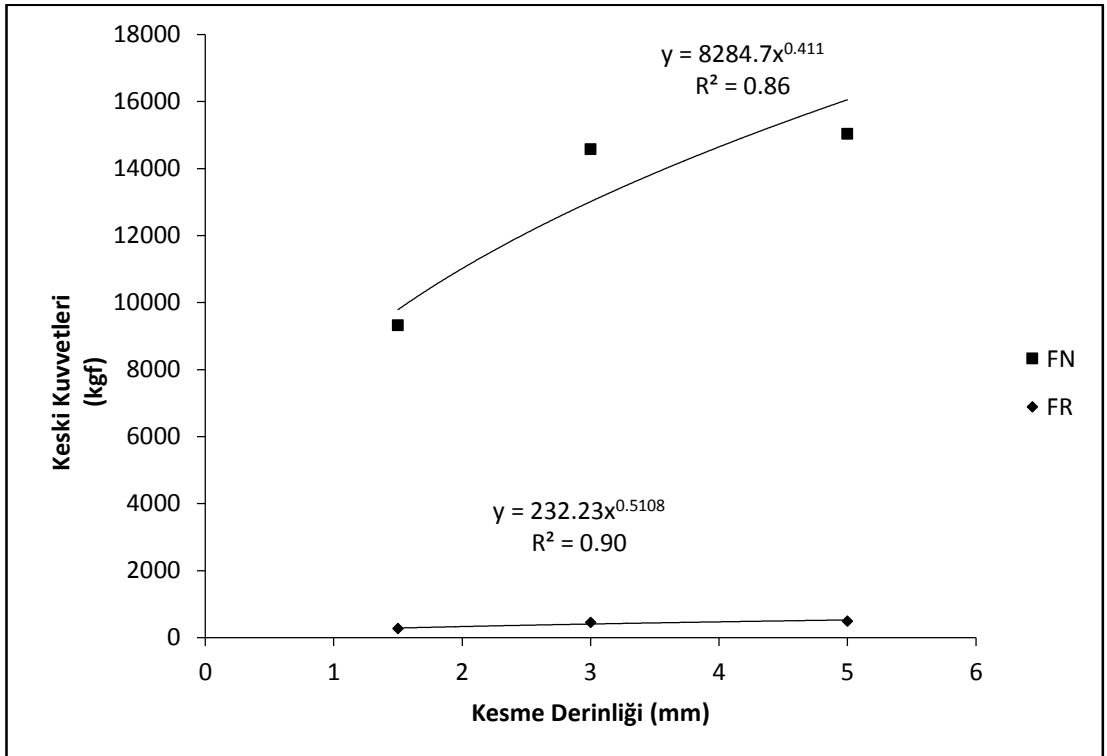
Şekil 4.33 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.



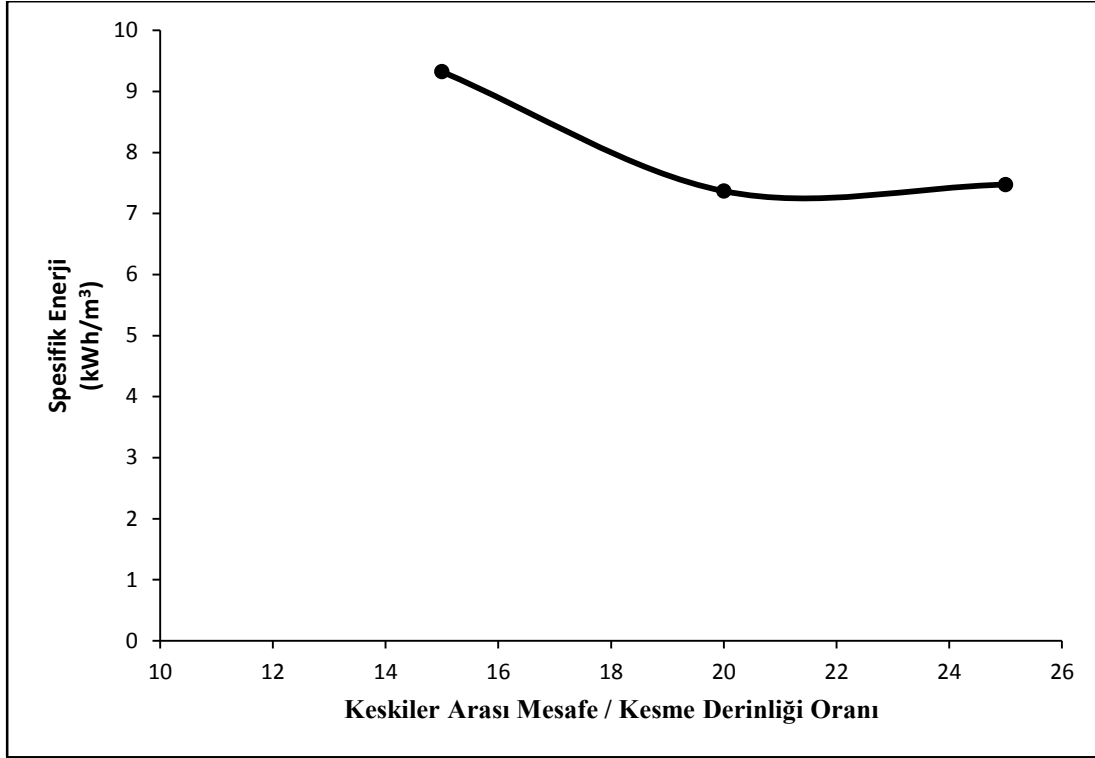
Şekil 4.34 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı (s = 60 mm) kesme için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



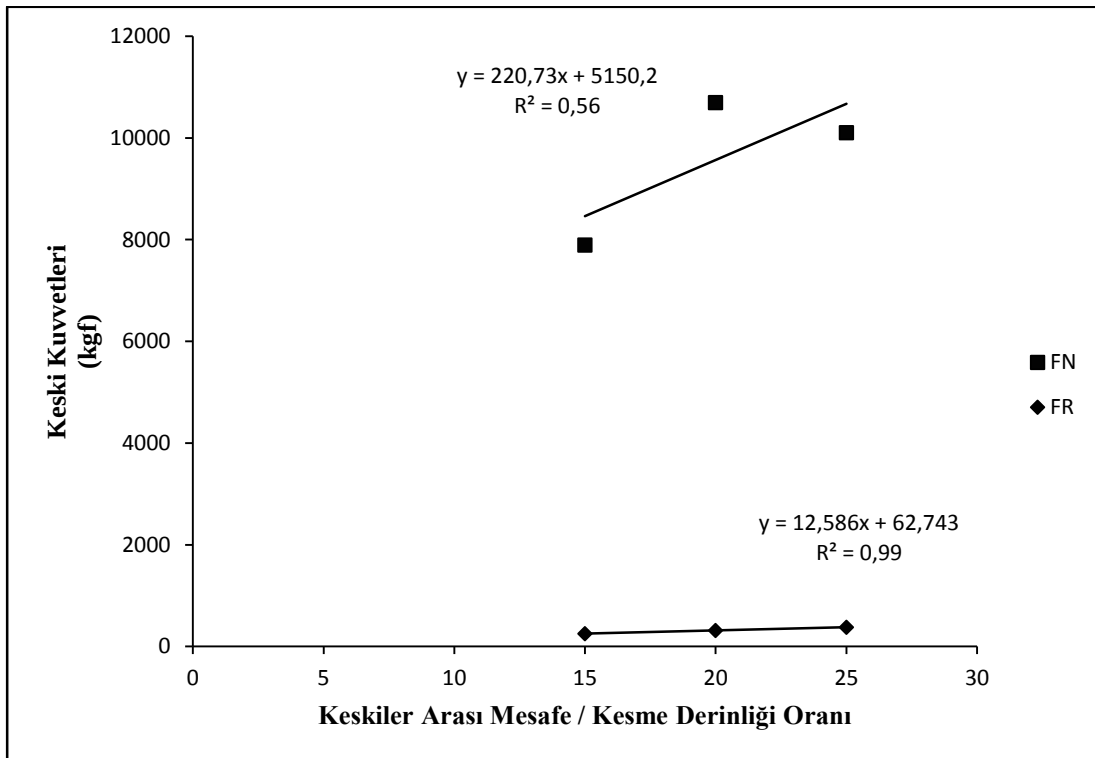
Şekil 4.35 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı (s = 60 mm) kesme için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.36 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı (s = 60 mm) kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.37 : Bej mermer numunesi üzerinde kesme derinliği sabit tutularak ($d = 2 \text{ mm}$) keskilerarası mesafenin değiştirildiği yardımcı kesme için keskilerarası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 4.38 : Bej mermer numunesi üzerinde kesme derinliği sabit tutularak ($d = 2 \text{ mm}$) keskiler arası mesafenin değiştirildiği yardımcı kesme için keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.2.5 Traverten üzerinde yapılan LCM deneyleri

4.2.5.1 Traverten üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney programı

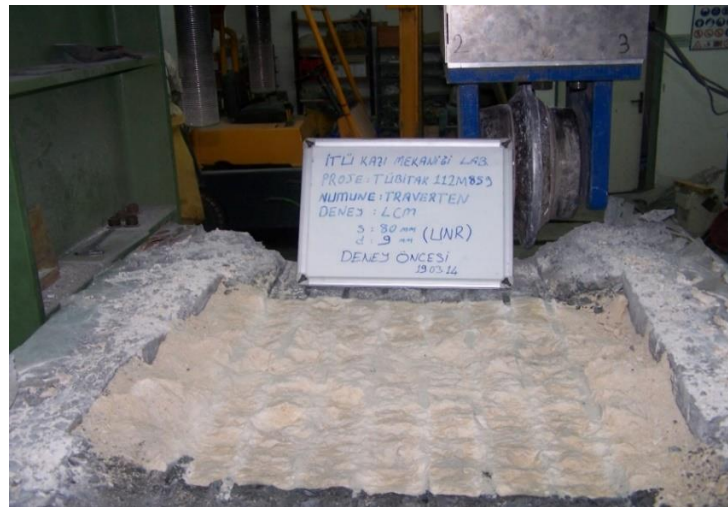
Traverten numunesi üzerinde büyük boyutlu kazı deney setinde farklı kesme derinliklerinde öncelikle 3 farklı kesme derinliğinde (3, 5, 7 mm) yardımsız kesme deneyleri yapılmıştır. Yardımsız deneylerden sonra her bir kesme derinliğinde iki farklı keskiler arası mesafe değeri ($s = 60, 80$ mm) için yardımcı kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu kesme deneyleri Çizelge 4.16’ da özetlenmiştir.

Çizelge 4.16 : Traverten numunesi üzerinde 432 mm CCS tip disk keski kullanılarak yapılan LCM deney programı.

Kesme Derinliği	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme ($s = 80$ mm)	Yardımlı Kesme ($s = 60$ mm)
5	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓

4.2.5.2 Traverten üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney sonuçları

432 mm çaplı CCS tip disk keski kullanılarak traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deneylerinde kesme derinlikleri (d) 5, 7 ve 9 mm olarak ayarlanmıştır. Yardımlı kesme deneylerinde ise 5, 7 ve 9 mm olarak ayarlanan kesme derinliklerinde, keskiler arası mesafe (s) 60 ve 80 mm olarak ayarlanarak deneyler yapılmıştır (Şekil 4.39 - 41). Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.17 – 4.18’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK A.3 – A.4’ te verilmiştir.



Şekil 4.39 : Traverten numunesi üzerinde $s = 80$ mm, $d = 9$ mm şartlarında yardımsız yapılan kazı deneyi öncesi görüntüsü.



Şekil 4.40 : Traverten numunesi üzerinde $s = 80$ mm, $d = 7$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.



Şekil 4.41 : Traverten numunesi üzerinde $s = 60$ mm, $d = 5$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.

Çizelge 4.17 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.

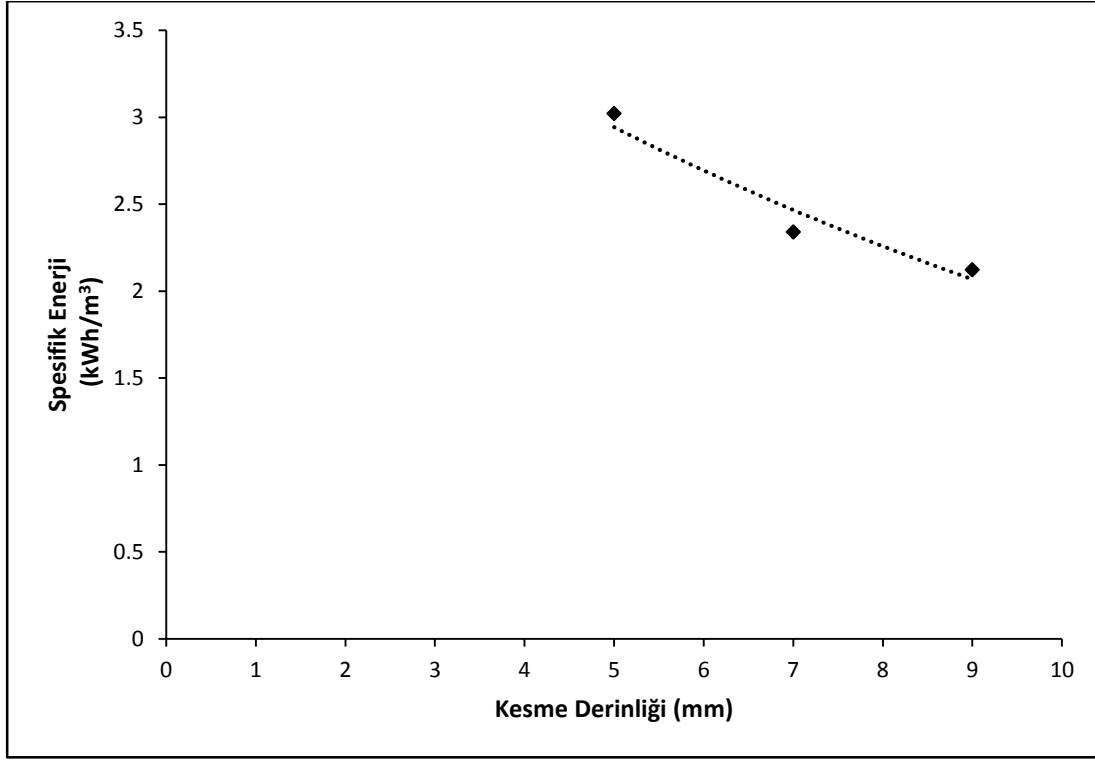
d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
5	6184,09	12064,00	648,38	1636,55	3,02
7	8374,84	18501,86	958,38	2238,63	2,34
9	8836,73	19269,20	1049,60	2458,87	2,12

Çizelge 4.18 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.

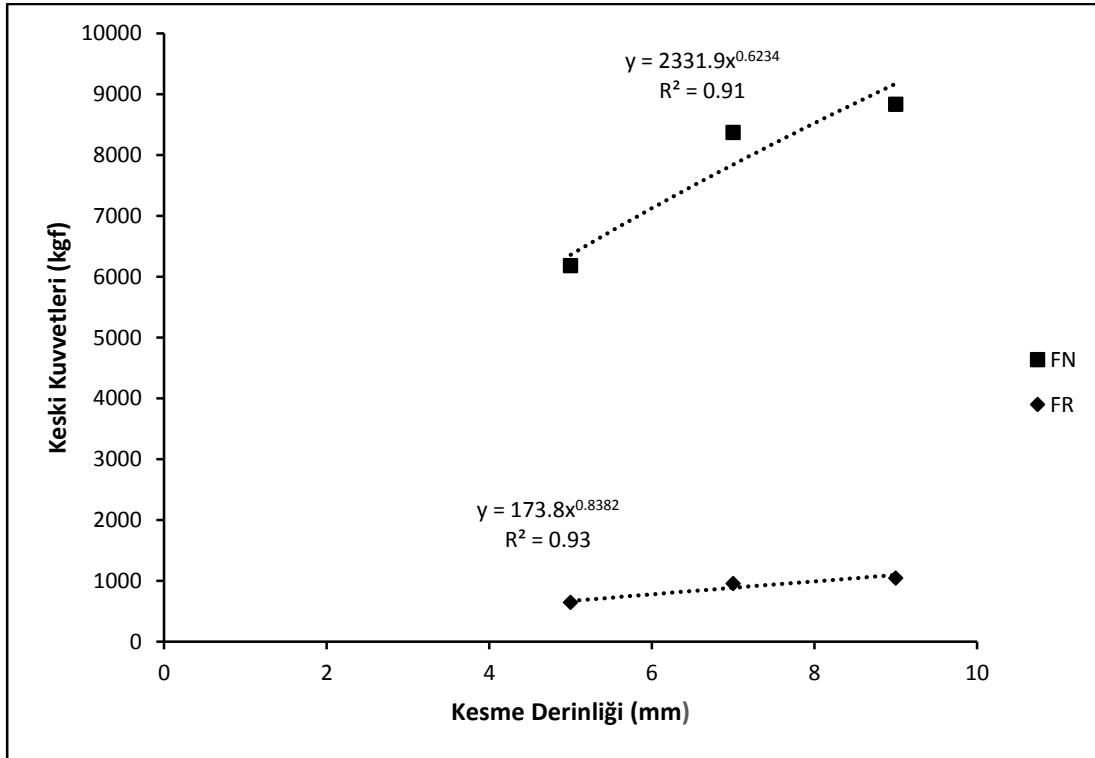
d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
5	60	12	5013,94	11901,12	483,92	1279,14	3,52
7	60	8,6	5395,68	13592,09	578,84	1780,44	3,01
9	60	6,7	6330,25	14135,84	705,83	1803,81	3,50
5	80	16	5692,50	14669,17	534,24	1490,79	2,76
7	80	11,4	6436,26	15810,80	707,74	1946,47	2,32
9	80	8,9	6756,27	14634,61	863,67	2096,99	1,81

Yardımlı ve yardımsız olarak yapılan kaya kesme deneylerinden elde edilen verilen daha sonra kazı teknolojileri temel prensipleri bakımından değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yardımsız yapılan kaya kesme deneylerinde kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keski üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.42 – 4.43’ te verilen bu şekillere bakıldığında kesme derinliği arttıkça spesifik enerjinin düştüğü ve keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin arttığı görülmüştür.

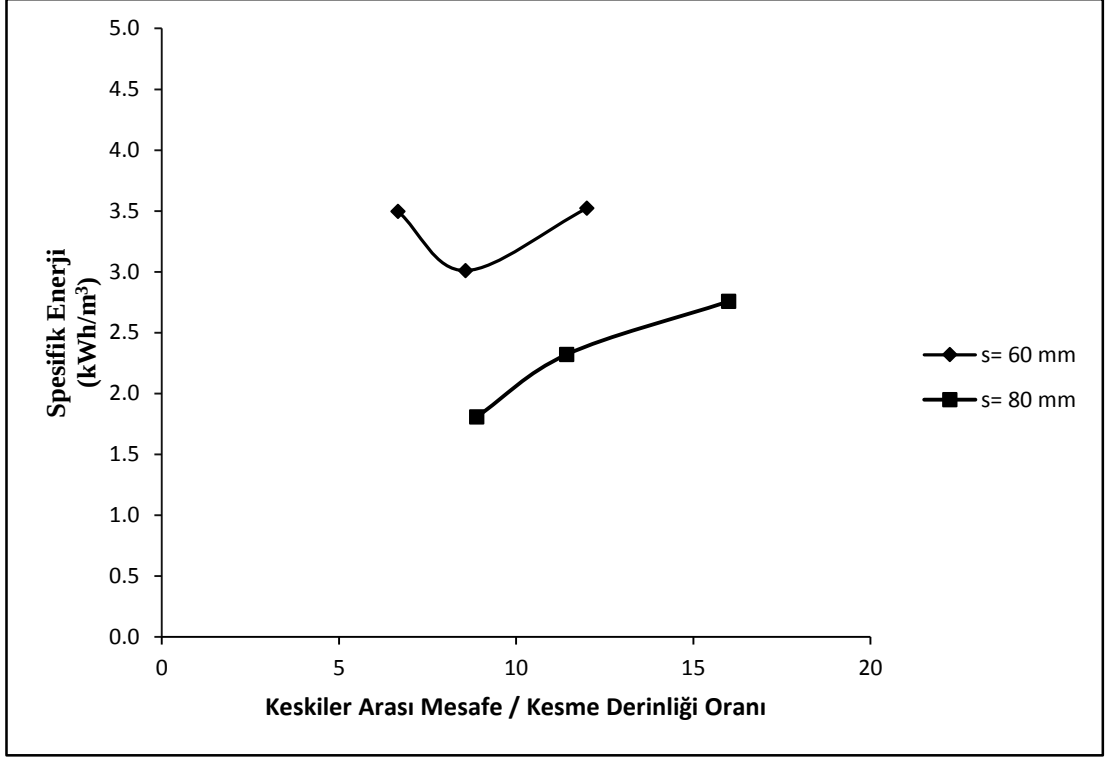
Yardımlı kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak yapılan değerlendirmelerde ise keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.44 – 4.46’ da verilen bu şekillere bakıldığında keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak optimum spesifik enerji değerinin hem 60 mm hem de 80 mm keskiler arası mesafe değerleri için yaklaşık 8 olarak elde edildiği görülmüştür. Keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak keski kuvvetlerinin değişimine bakıldığında ise s / d oranı arttıkça keski üzerine etki eden kuvvetlerin azaldığı görülmektedir.



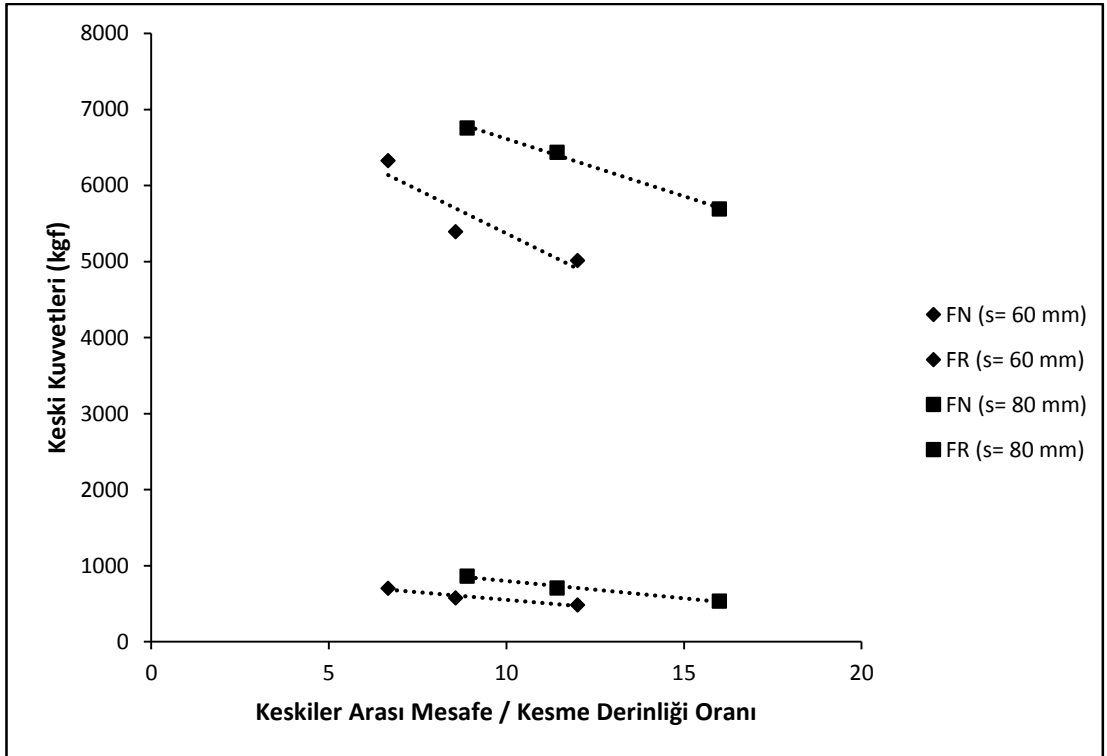
Şekil 4.42 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



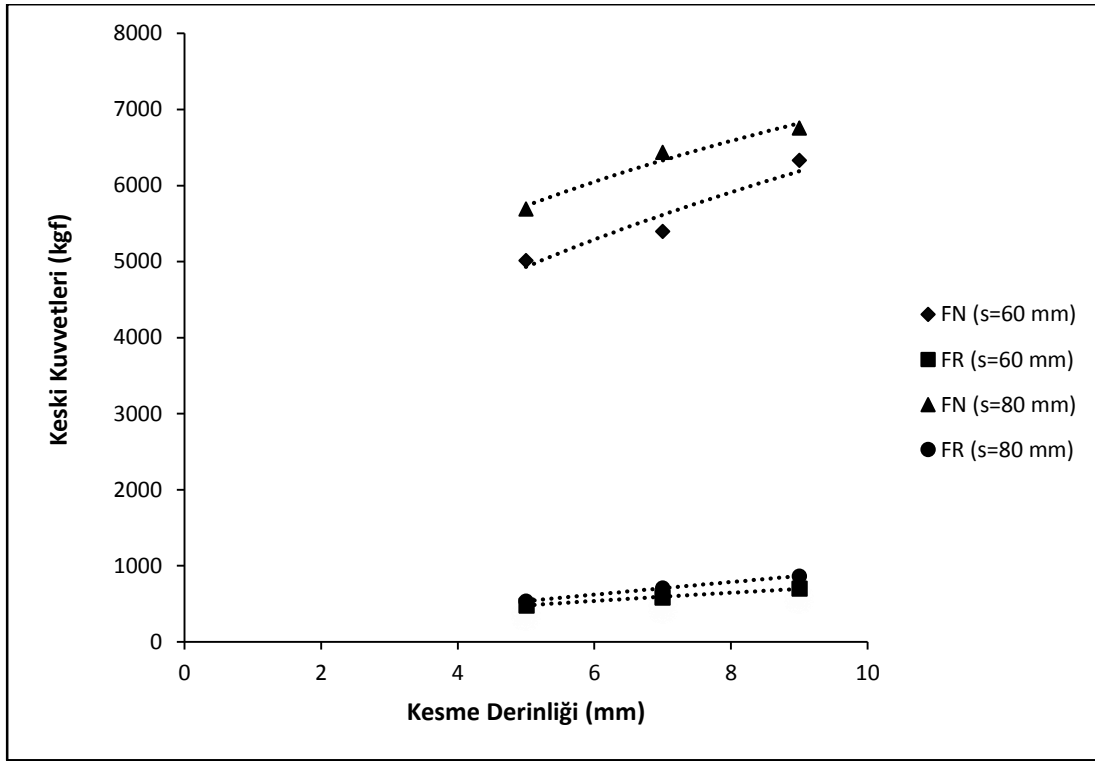
Şekil 4.43 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.44 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.45 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.46 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.

4.2.6 Küfeki kireçtaşı üzerinde yapılan LCM deneyleri

4.2.6.1 Küfeki kireçtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney programı

Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde büyük boyutlu kazı deneyleri 3 farklı kesme derinliğinde (5, 7 ve 9 mm) öncelikle yardımsız olarak yapılmıştır. Yardımlı yapılan kesme deneylerinde ise keski arası mesafe (s) değeri 80 mm olarak ayarlanmış ve yine 5, 7 ve 9 mm kesme derinliği değerlerinde deneyler yapılmıştır. Yapılan bu kesme deneyleri Çizelge 4.19’ da özetlenmiştir.

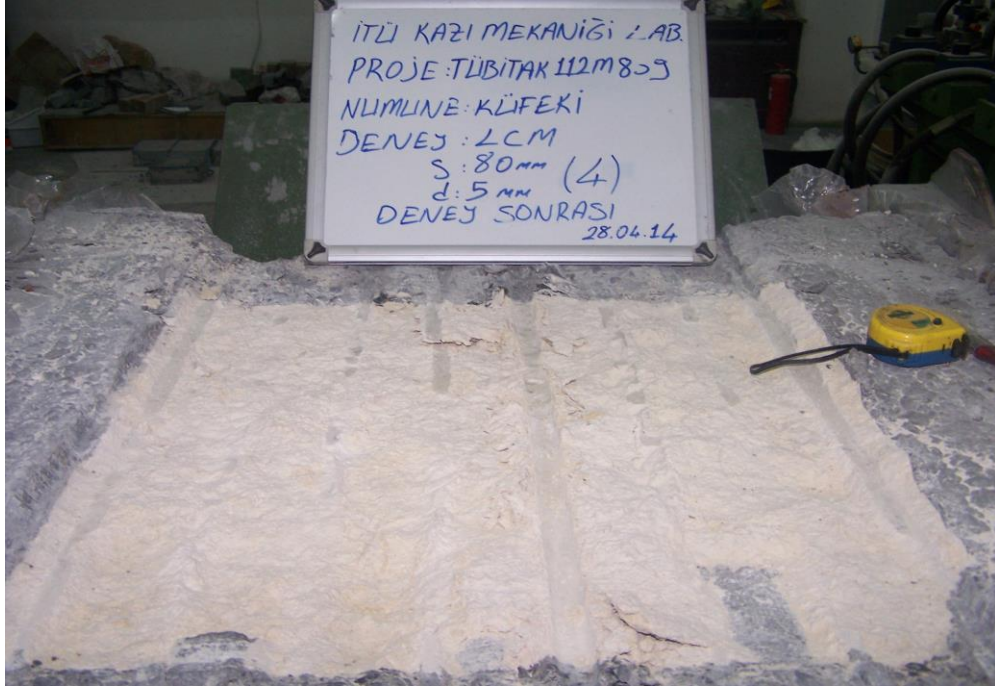
Çizelge 4.19 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde 432 mm çaplı CCS tip disk keski ile yapılan LCM deney programı.

Kesme Derinliği	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme (s= 80 mm)
5	✓	✓
7	✓	✓
9	✓	✓

4.2.6.2 Küfeki kireçtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney sonuçları

Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deneylerinde kesme derinlikleri (d) 5, 7 ve 9 mm olarak ayarlanmıştır. Yardımlı kesme deneylerinde ise 5,

7 ve 9 mm olarak ayarlanan kesme derinliklerinde, keskiler arası mesafe (s) değeri 80 mm olarak ayarlanarak deneyler yapılmıştır (Şekil 4.47 - 48). Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.20 – 4.21’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK A.5 – A.6’ da verilmiştir.



Şekil 4.47 : Küşeki kireçtaşı numunesi üzerinde $s = 80$ mm, $d = 5$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.



Şekil 4.48 : Küşeki kireçtaşı numunesi üzerinde $d = 7$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.

Çizelge 4.20 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.

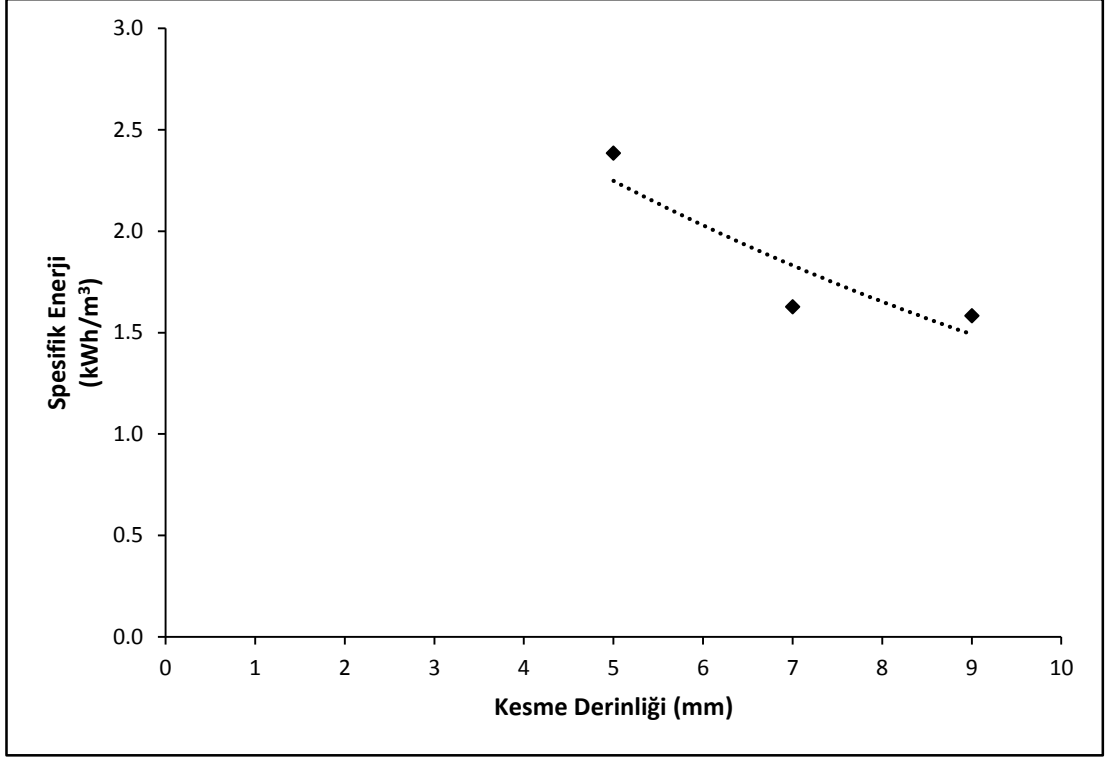
d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
5	2855.56	5241.46	245.48	530.97	2.39
7	3908.76	6703.50	399.43	829.42	1.63
9	4007.95	6953.77	405.35	874.15	1.58

Çizelge 4.21 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.

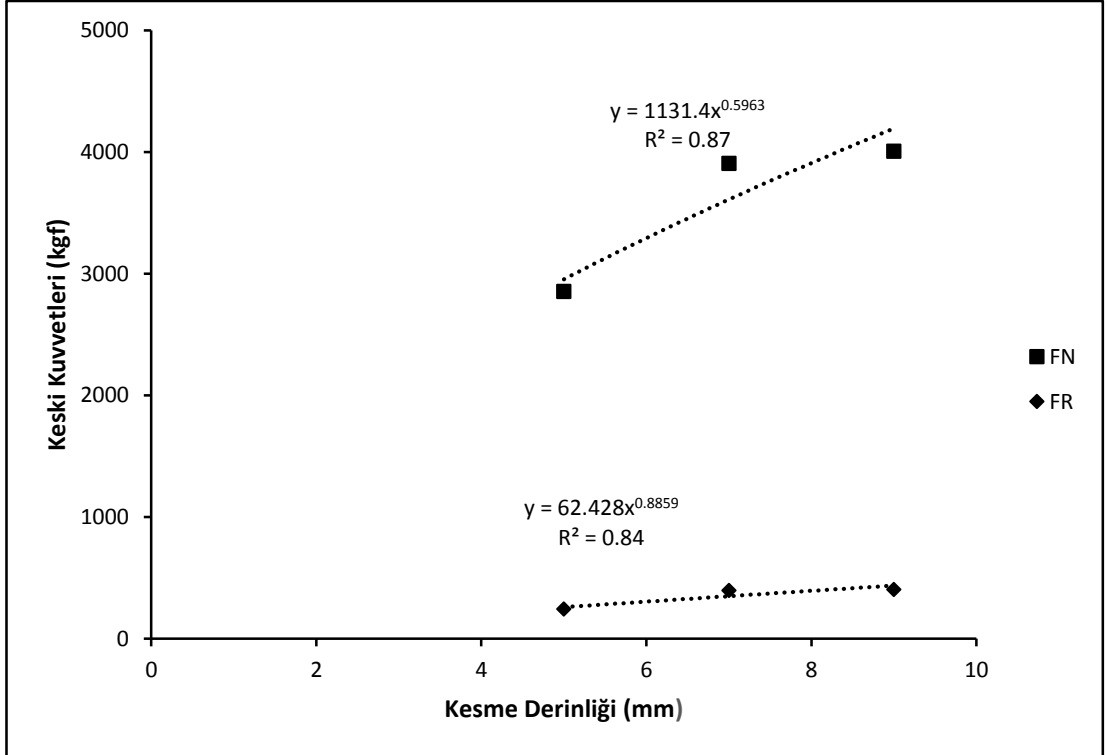
d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
5	80	16	2529.22	5556.58	250.73	612.16	1.22
7	80	11.4	2685.85	5850.32	262.53	702.90	1.18
9	80	8.9	3085.70	6654.53	318.70	888.07	1.30

Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde 3 farklı kesme derinliği ve 80 mm keskiler arası mesafe değerlerinde yapılan yardımcı ve yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen veriler daha sonra değerlendirilmiştir. Yardımsız kaya kesme deneyi sonuçları değerlendirilirken kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerjinin ve keski üzerine gelen normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin değişimleri ele alınmıştır. Yapılan bu değerlendirme sonucu elde edilen grafikler Şekil 4.49 – 4.50’ ta verilmiş olup literatüre uygun olarak kesme derinliği arttıkça keski üzerine etki eden kuvvetlerin arttığı ve spesifik enerji değerinin azaldığı görülmektedir.

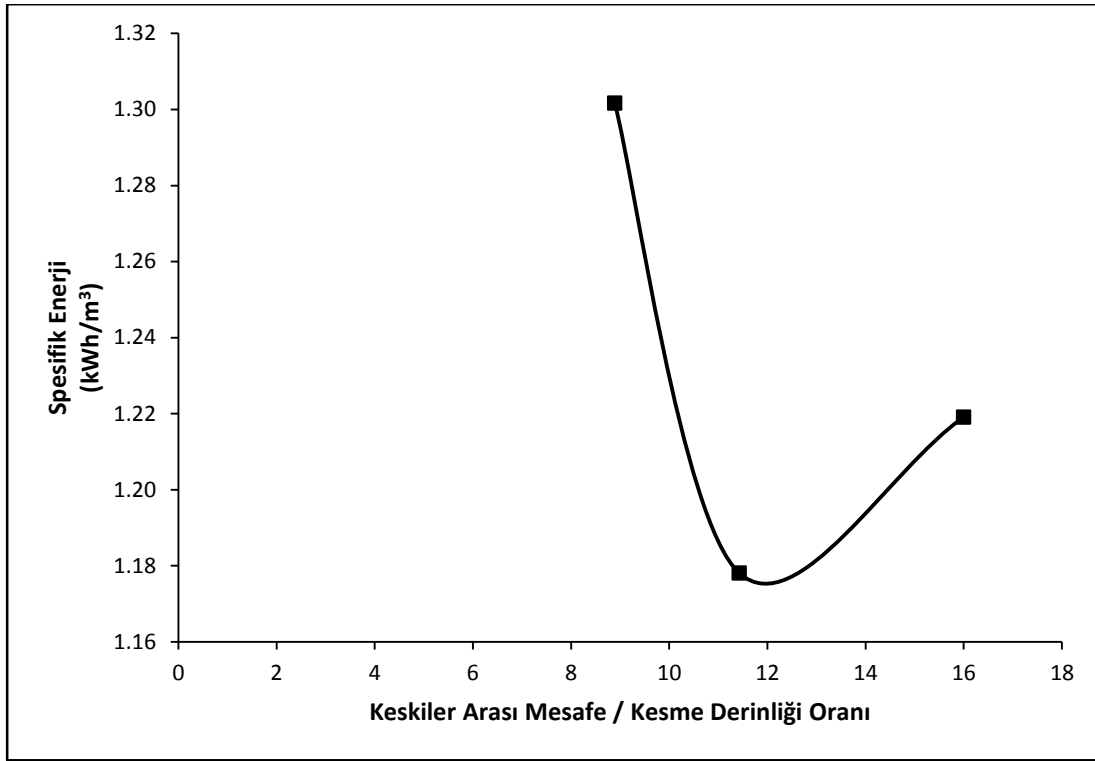
Yardımlı kesme deneyleri için yapılan değerlendirmede keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerjinin ve keski üzerine etki eden kuvvetlerin değişimi ele alınmıştır (Şekil 4.51 – 4.52). Keski üzerine etki eden kuvvetlerin s / d oranına arttıkça azaldığı sonucu elde edilmiştir. Keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji değişimine bakıldığında ise optimum s / d değerinin 7 mm kesme derinliğinde yakalandığı görülmüştür. Keskiler arası mesafenin 80 mm ayarlanarak yapılan yardımcı kesme deneyleri değerlendirilirken yine kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösterir grafik çizilmiş (Şekil 4.53) ve ilgili grafiğe bakıldığında kesme derinliği arttıkça keski üzerine etki eden kuvvetlerin beklenildiği gibi arttığı gözlenmiştir.



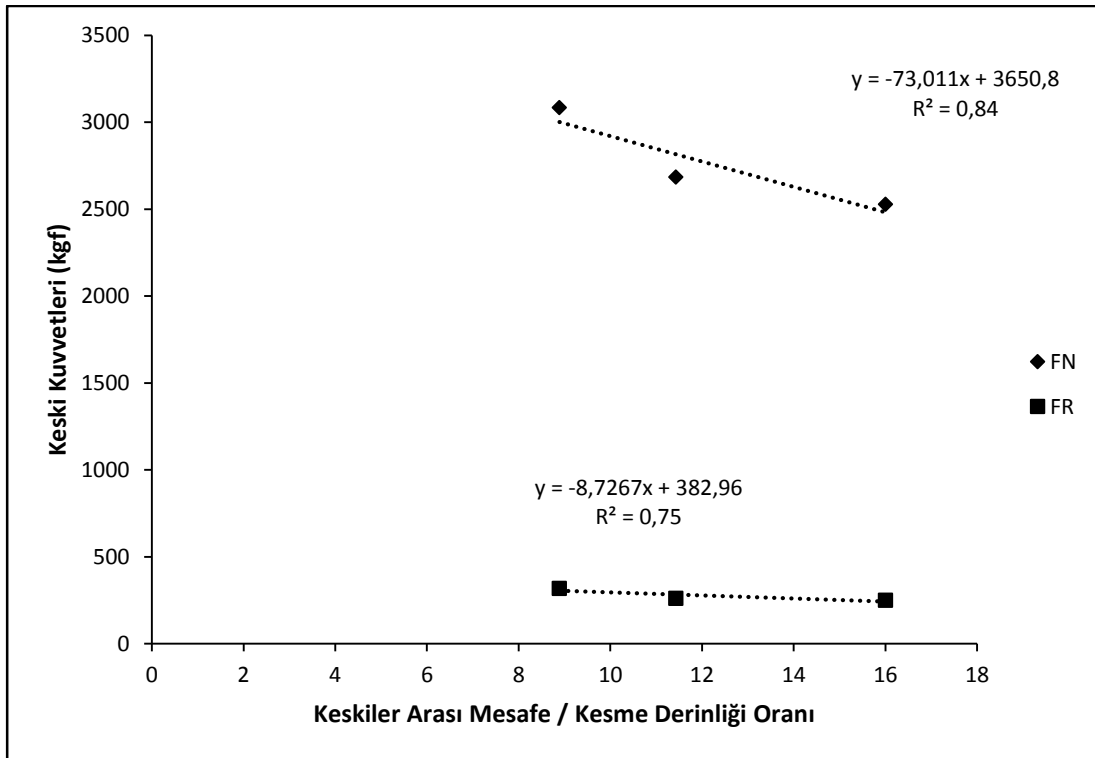
Şekil 4.49 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



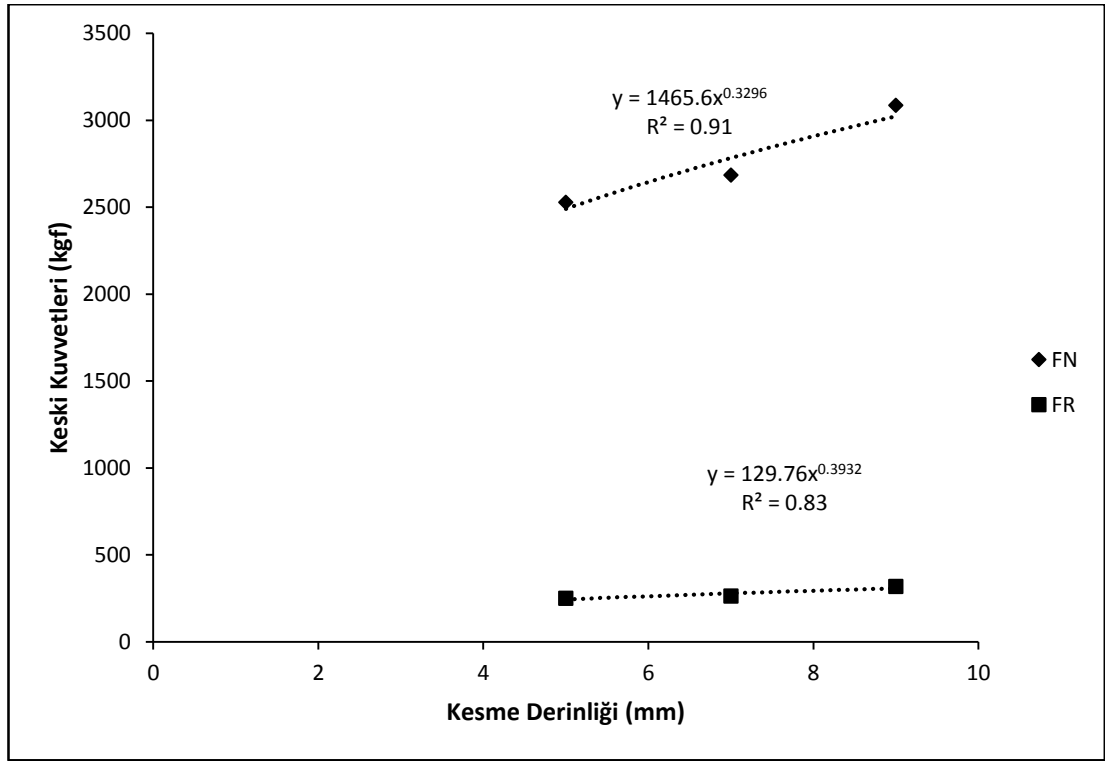
Şekil 4.50 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.51 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.52 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.53 : Küfeği kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımlı kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.

4.2.7 Kireçtaşı üzerinde yapılan LCM deneyleri

4.2.7.1 Kireçtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney programı

Kireçtaşı numunesi üzerinde kesme derinliği 3, 5 ve 7 mm olarak ayarlanıp yardımsız kesme deneyleri yapılmıştır. Keskiler atası mesafe değeri (s) 60 mm olarak ayarlanarak yine 3, 5, 7 mm kesme derinliği değerlerinde yardımlı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu kesme deneyleri Çizelge 4.22’ de özetlenmiştir.

Çizelge 4.22 : Kireçtaşı numunesi üzerinde 432 mm CCS tip disk keski ile yapılan LCM deney programı.

Kesme Derinliği	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme (s= 60 mm)
3	✓	✓
5	✓	✓
7	✓	✓

4.2.7.2 Kireçtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney sonuçları

Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deneylerinde kesme derinlikleri (d) 3, 5 ve 7 mm olarak ayarlanmıştır. Yardımlı kesme deneylerinde ise keski arası mesafe (s) değeri 60 mm olarak ayarlanarak deneyler yapılmıştır (Şekil 4.54 - 55).

Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler izelge 4.23 – 4.24’ te, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK A.7 – A.8’ de verilmiştir.



şekil 4.54 : Kireçtaşı numunesi üzerinde $d = 3$ mm şartlarında yardımsız yapılan kazı deneyi sonrası grntş.



şekil 4.55 : Kireçtaşı numunesi üzerinde $s = 60$ mm, $d = 7$ mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası grntş.

Çizelge 4.23 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.

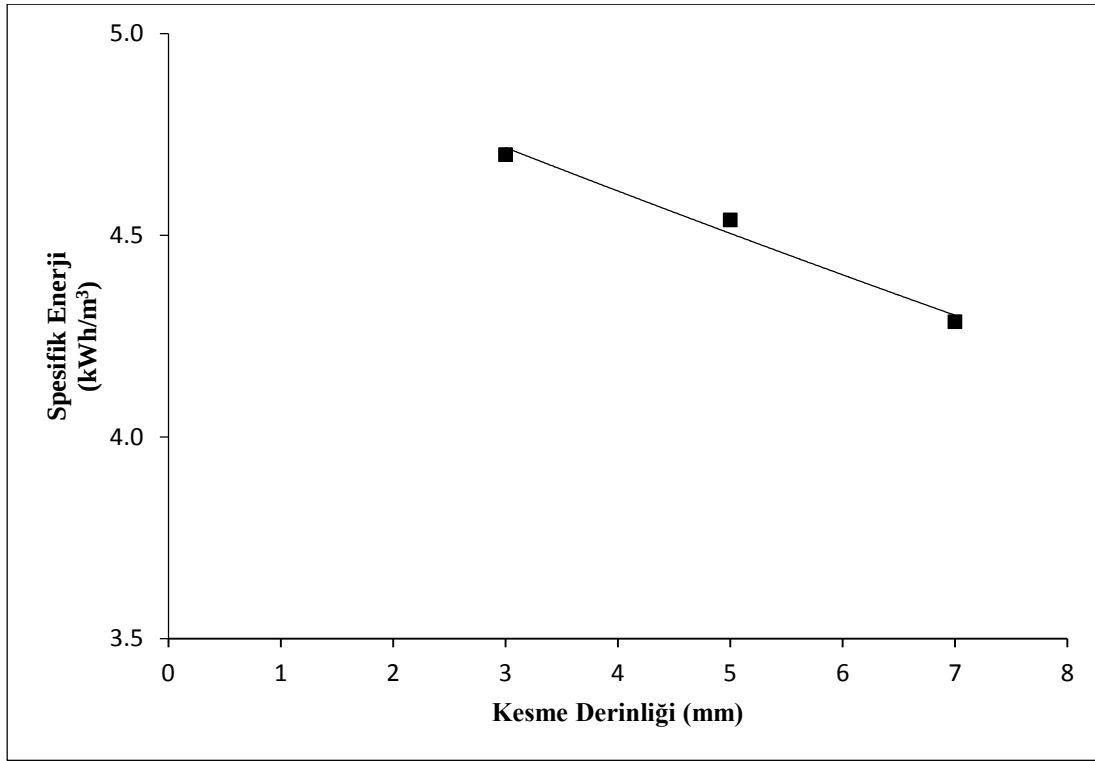
d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
5	7687.61	18099.87	578.43	1599.49	4.70
7	7932.85	17580.53	791.56	2272.57	4.54
9	8333.66	15746.52	894.49	1859.21	4.29

Çizelge 4.24 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.

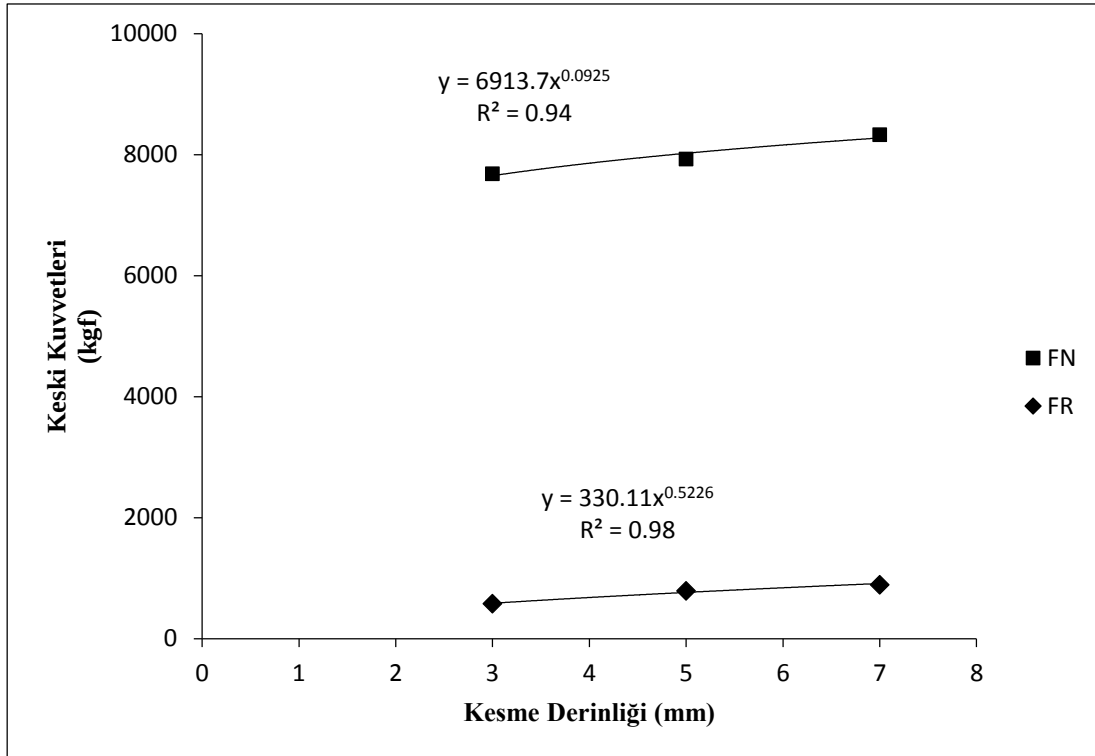
d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
3	60	20	5611.35	13758.47	328.87	1100.95	4.23
5	60	12	6249.06	14242.99	570.65	1838.62	3.37
7	60	8.6	7587.95	14581.35	795.76	1862.56	3.82

432 mm çaplı CCS tip disk keski kullanılarak kireçtaşı numunesi üzerinde LCM kaya kesme deneyleri 3 farklı kesme derinliği ve 60 mm keskiler arası mesafe değerlerinde yapılmıştır. Yapılan bu deneylerden elde edilen veriler yardımcı ve yardımsız kaya kesme deneyleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yardımsız kaya kesme deneyi sonuçları değerlendirilirken kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerjinin ve keski üzerine gelen normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin değişimleri ele alınmıştır. Yapılan bu değerlendirme sonucu elde edilen grafikler Şekil 4.56 – 4.57’ de verilmiş olup kireçtaşının yapısına bağlı olarak keski üzerine etki eden normal kuvvet değerlerinin oldukça yüksek çıktığı (yaklaşık 8000 kgf) ve yuvarlanma kuvvetlerinin ise 1000 kgf değerinden düşük olduğu görülmektedir.

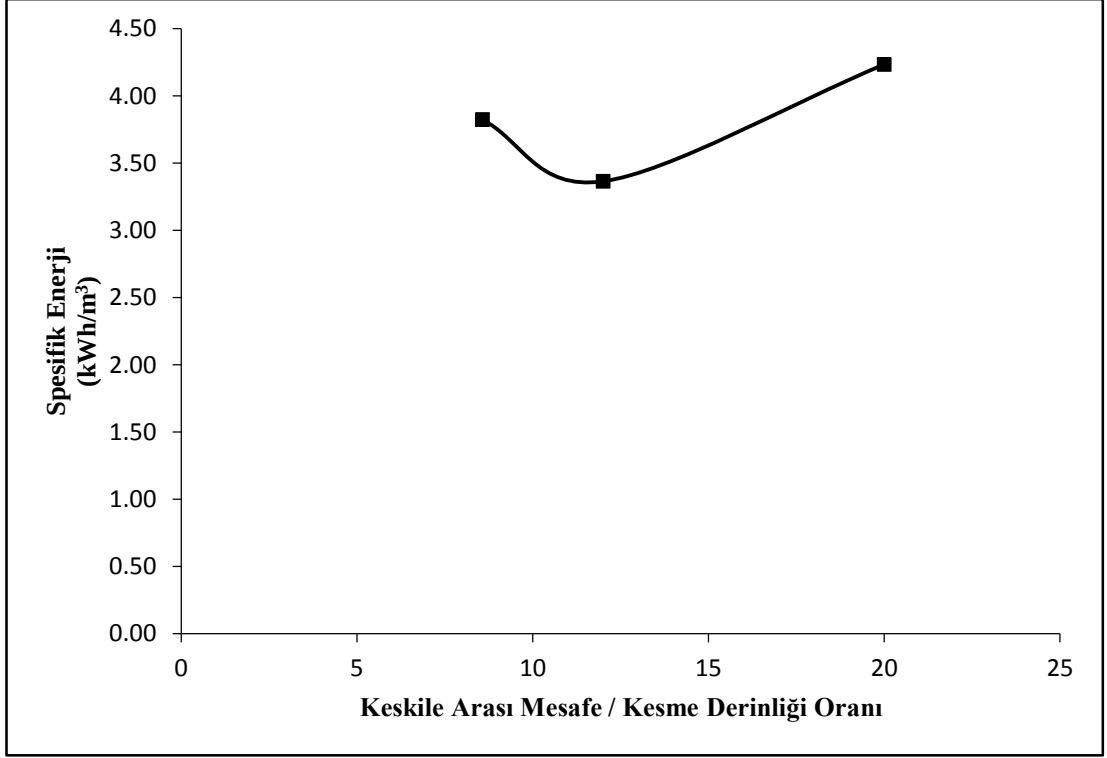
Yardımlı kesme deneyleri için yapılan değerlendirmede ise keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerjinin ve keski üzerine etki eden kuvvetlerin değişimi ele alınmıştır (Şekil 4.58 – 4.59). yardımcı kesme deneyleri sonucunda kireçtaşı numunesi için optimum keskiler arası mesafe kesme derinliği oranının (s/d) 5 mm kesme derinliğinde 12 (60 / 5) olduğu sonucuna varılmıştır. 60 mm keskiler arası mesafe ayarlanarak 3, 5, 7 mm kesme derinliklerinde yapılan yardımcı kaya kesme deneylerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde diğer bir işlem ise kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösterir grafik çizilmiştir (Şekil 4.60). İlgili grafiğe bakıldığında kesme derinliği arttıkça keski üzerine etki eden kuvvetlerin beklenildiği gibi arttığı görülmüştür.



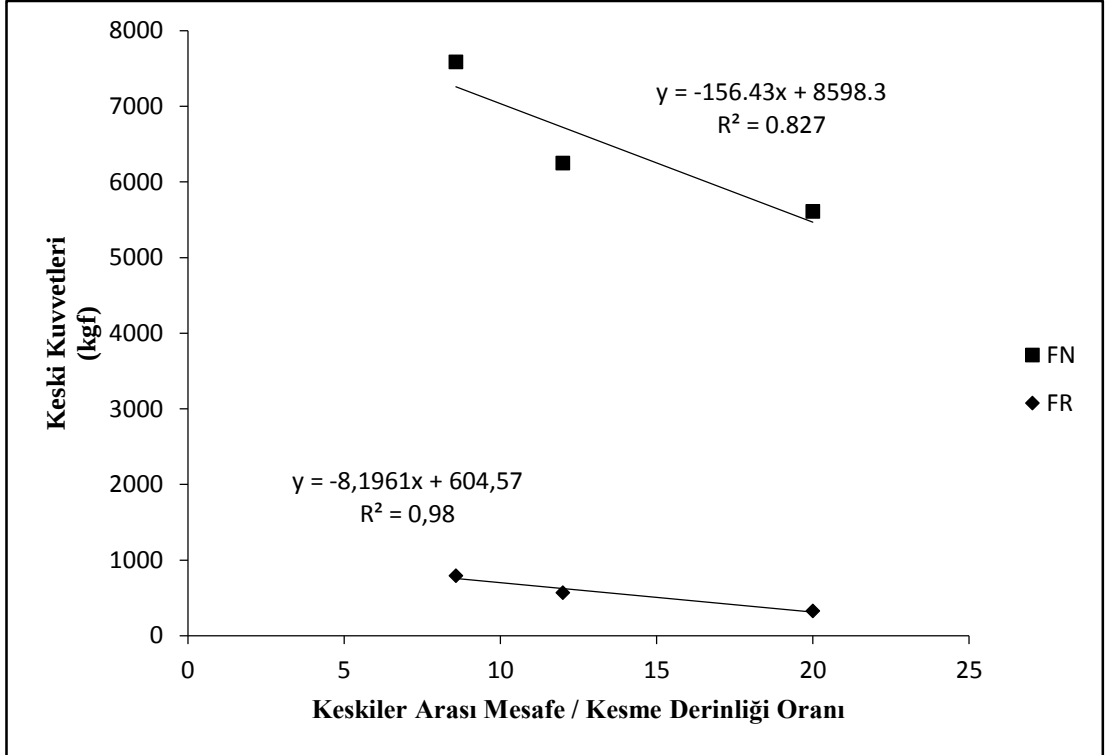
Şekil 4.56 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



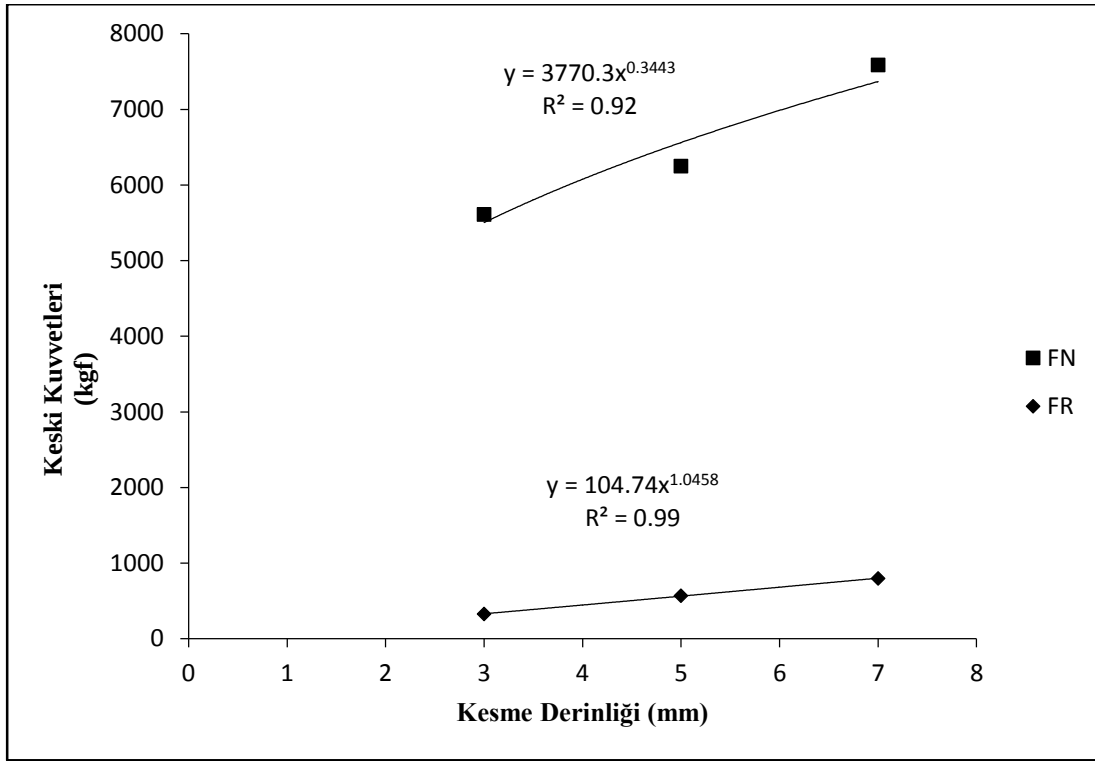
Şekil 4.57 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.58 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.59 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.60 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.

4.2.8 Kumtaşı üzerinde yapılan LCM deneyleri

4.2.8.1 Kumtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney programı

432 mm çaplı CCS tip disk keski kullanılarak kumtaşı üzerinde kesme derinliği 3, 5 ve 7 mm olarak ayarlanıp yardımcısız kesme deneyleri yapılmıştır. Keski atası mesafe değeri (s) 60 mm olarak ayarlanarak yine 3, 5, 7 mm kesme derinliği değerlerinde yardımcı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu kesme deneyleri Çizelge 4.25’ te özetlenmiştir.

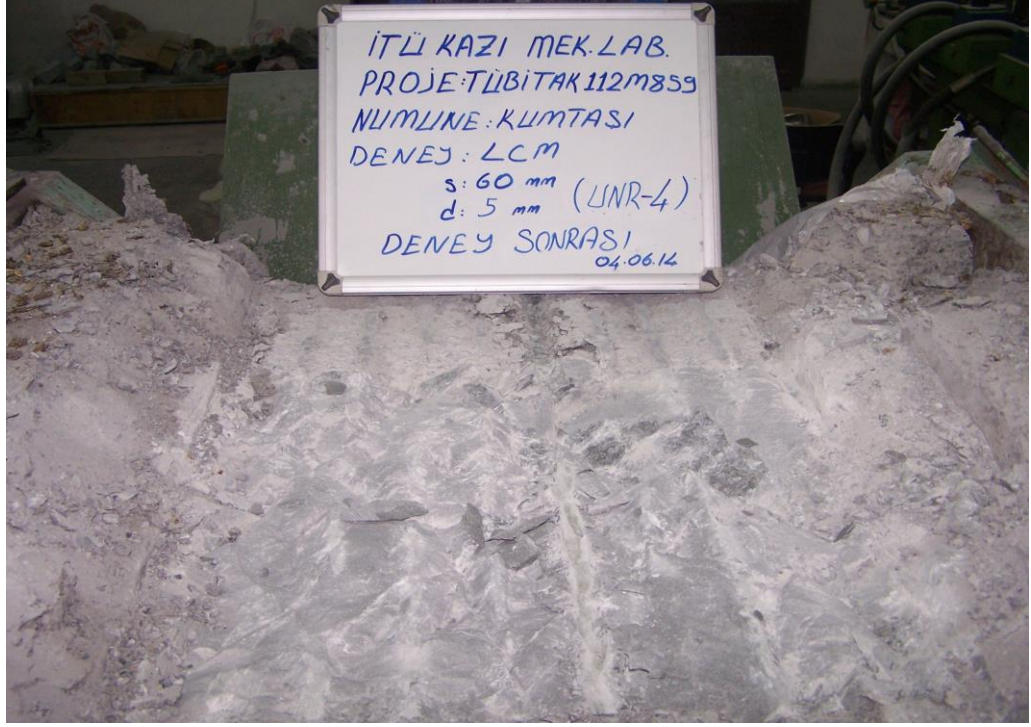
Çizelge 4.25 : Kumtaşı numunesi üzerinde 432 mm çaplı CCS tip disk keski ile yapılan LCM deney programı.

Kesme Derinliği	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme (s= 60 mm)
3	✓	✓
5	✓	✓
7	✓	✓

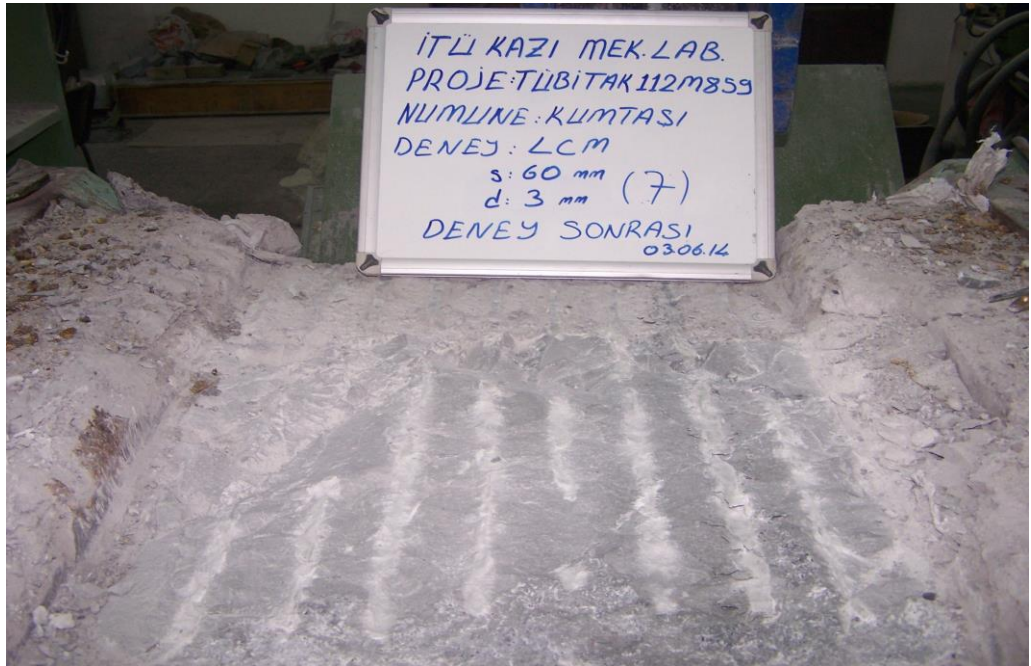
4.2.8.2 Kumtaşı üzerinde yapılan LCM kaya kesme deney sonuçları

Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan kaya kesme deneylerinde kesme derinliği 3, 5 ve 7 mm olacak şekilde 3 farklı kesme derinliği belirlenmiştir. Yardımlı kesme

deneylerinde ise keskiler arası mesafe (s) değeri 60 mm olarak ayarlanarak deneyler yapılmıştır (Şekil 4.61 – 62). Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.26 – 4.27’ da, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK A.9 – A.10’ da verilmiştir.



Şekil 4.61 : Kumtaşı numunesi üzerinde d = 5 mm şartlarında yardımsız yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.



Şekil 4.62 : Kireçtaşı numunesi üzerinde s = 60 mm, d = 3 mm şartlarında yardımcı yapılan kazı deneyi sonrası görüntüsü.

Çizelge 4.26 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.

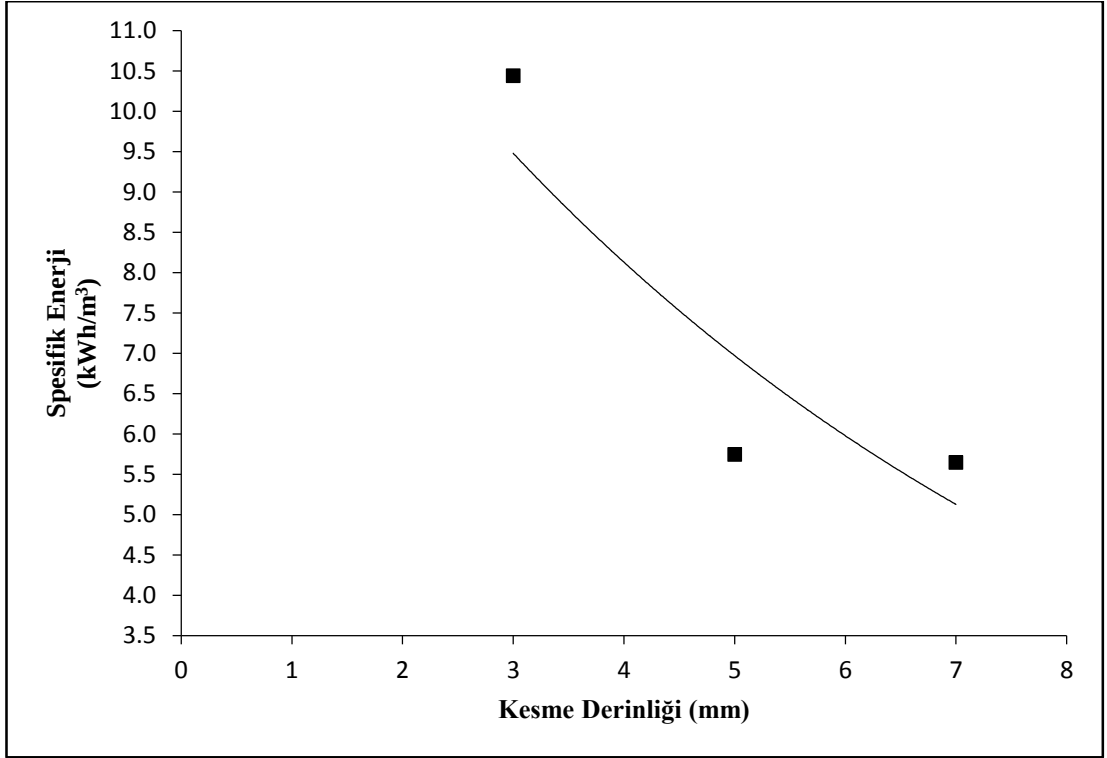
d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
3	9669.43	18086.58	512.30	1415.17	10.44
5	10119.96	19647.07	831.29	2138.78	5.75
7	11915.96	21137.38	1019.35	2439.19	5.65

Çizelge 4.27 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.

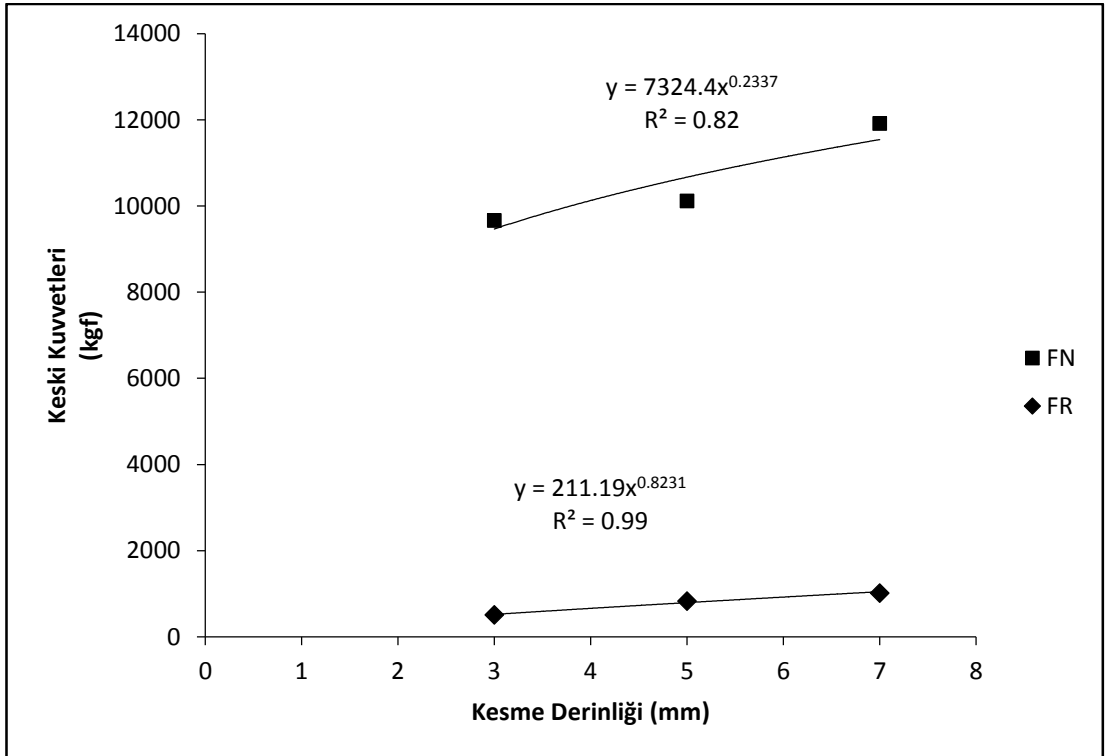
d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
3	60	20	8891.07	17537.03	422.32	1167.88	8.20
5	60	12	9474.55	17465.11	844.94	1916.91	5.40
7	60	8.6	13536.66	21220.61	1069.16	2320.76	7.44

Kumtaşı numunesi üzerinde LCM kaya kesme deneyleri 3 farklı kesme derinliği ve 60 mm keskiler arası mesafe değerlerinde yapılmıştır. 3, 5 ve 7 mm kesme derinliğinde yapılan yardımsız kaya kesme deneylerinden elde edilen veriler kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerjinin ve keski üzerine gelen normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin değişimleri bakımından değerlendirilmiştir. Yapılan bu değerlendirme sonucu elde edilen grafikler Şekil 4.63 – 4.64’ te verilmiş olup kumtaşının kırıklı çatlaklı yapısına bağlı olarak 3 mm kesme derinliğinde elde edilen spesifik enerji değerinin 5 ve 7 mm kesme derinliğinde elde edilen spesifik enerji değerlerinden oldukça farklı olduğu görülmüştür.

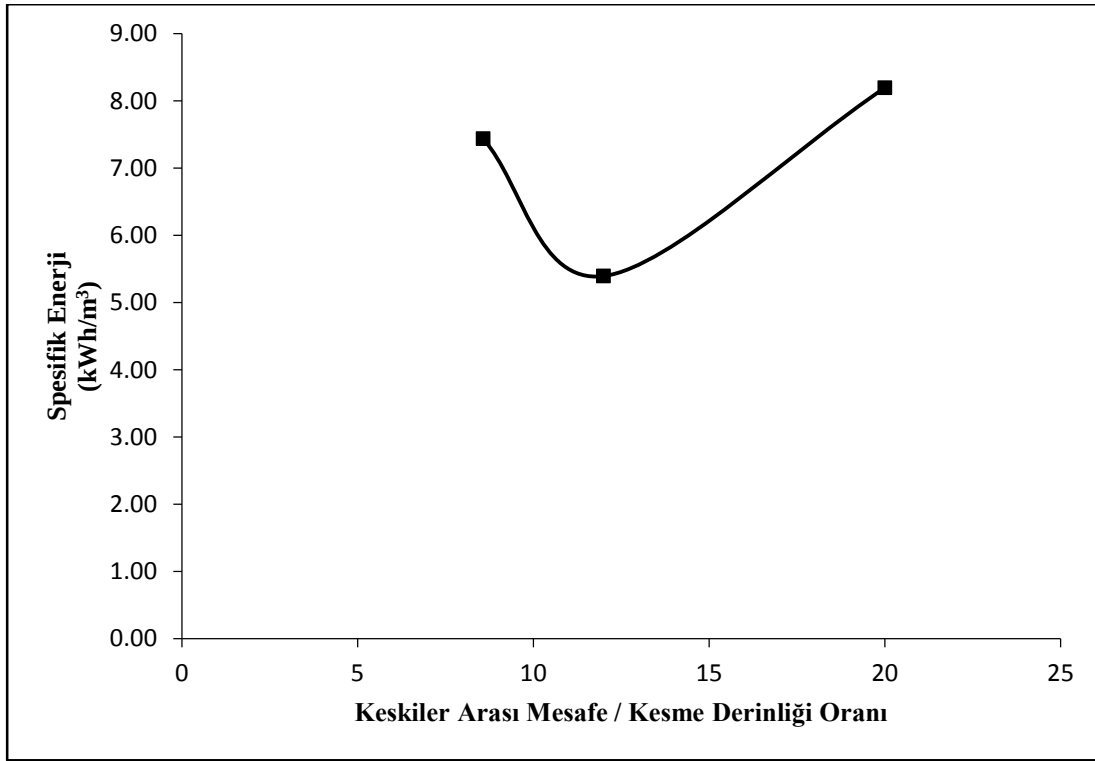
Yardımlı kesme deneyleri için yapılan değerlendirmede ise keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerjinin ve keski üzerine etki eden kuvvetlerin değişimi ele alınmıştır (Şekil 4.65 – 4.66). Yardımlı kesme deneyi sonuçlarında elde edilen spesifik enerji değerlerine bakıldığında yardımsız kesme deneylerinde 5 ve 7 mm kesme derinliğine oranla 3 mm kesme derinliğinde gözlemlenen büyük farklılık burada görülmemektedir. 60 mm keskiler arası mesafe değerinde yapılan yardımcı kaya kesme deney sonuçlarına bakıldığında kumtaşı numunesi için optimum keskiler arası mesafe kesme derinliği oranının (s/d) 5 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmektedir. Yardımlı kaya kesme deneylerinde kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösterir grafik ise Şekil 4.67’ de verilmiştir. İlgili grafiğe bakıldığında kesme derinliği arttıkça keski üzerine etki eden kuvvetlerin beklenildiği gibi arttığı görülmüştür.



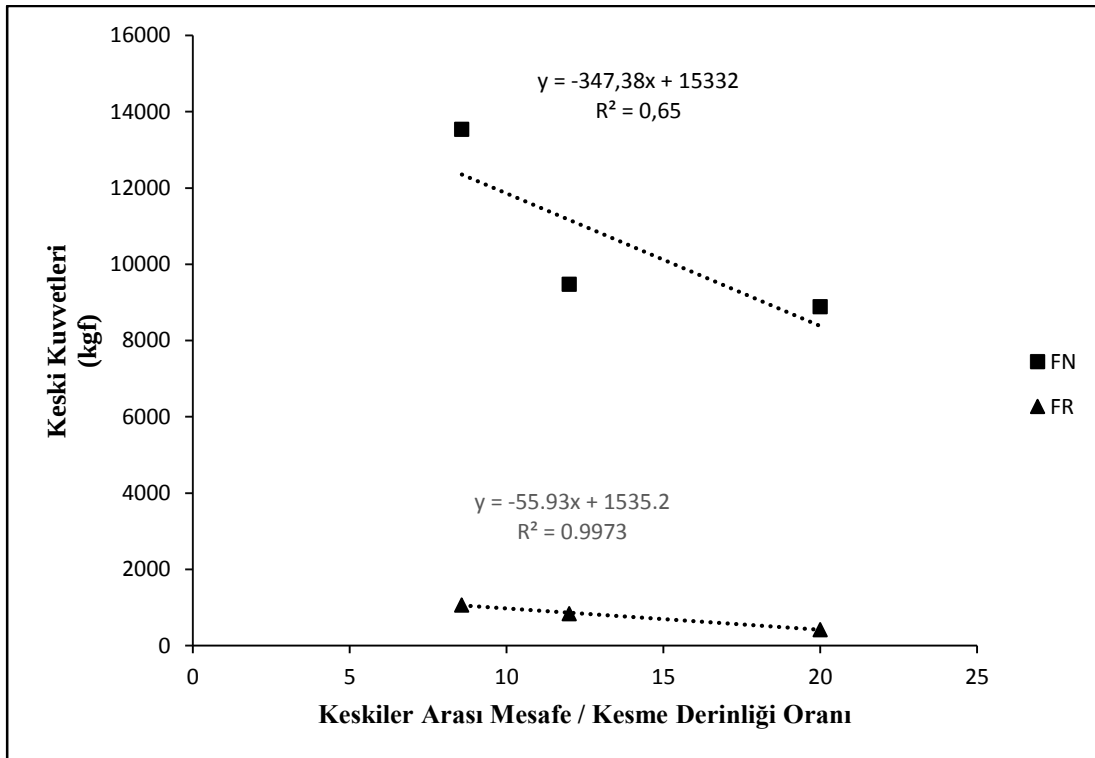
Şekil 4.63 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



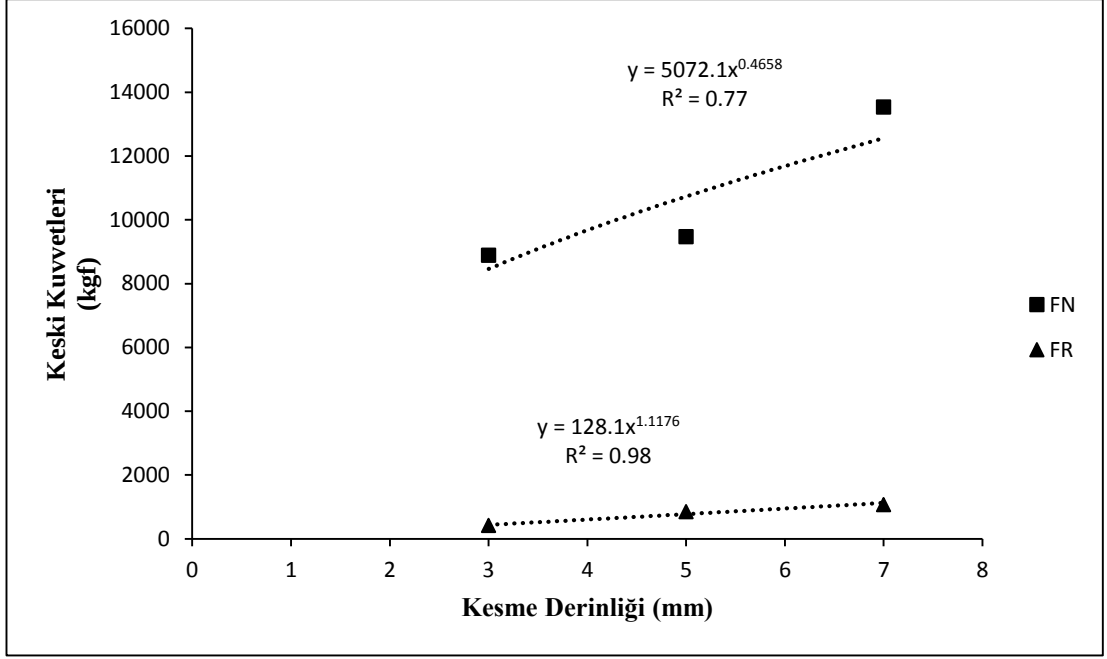
Şekil 4.64 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.65 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.66 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.67 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kesme için kesme derinliği keski kuvvetleri arasındaki ilişkisi.

4.3. Taşınabilir Doğrusal Kaya Kesme Deneyleri

4.3.1 Geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney seti (PLCM)

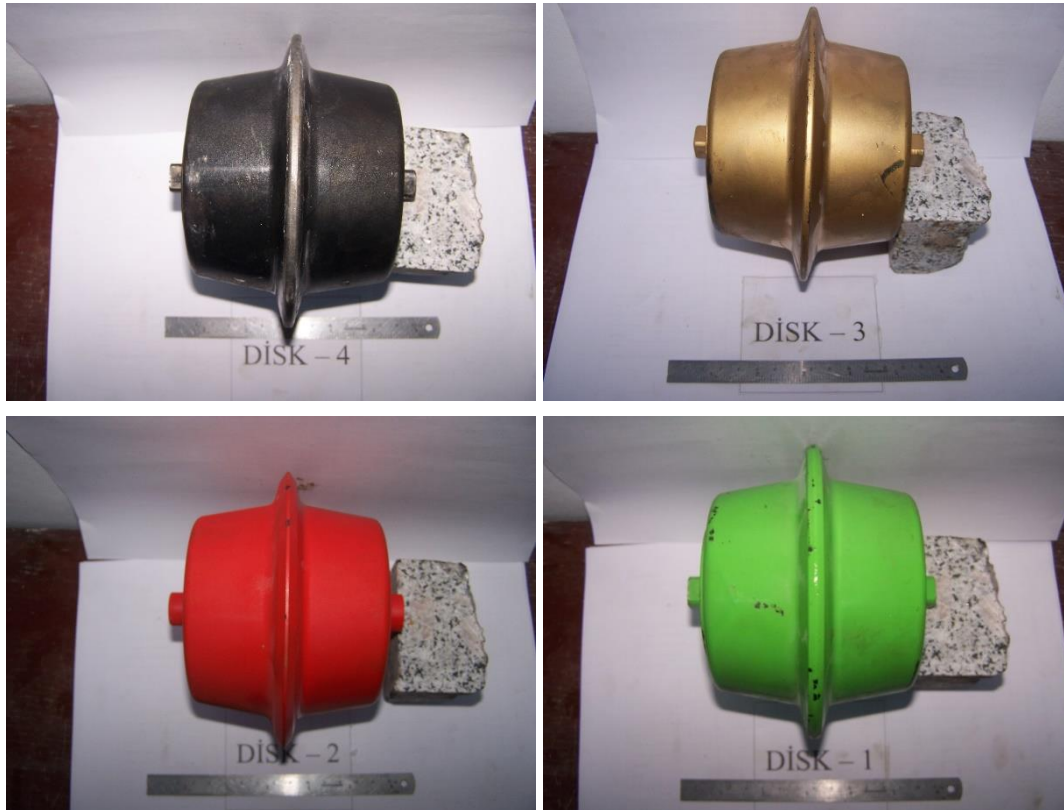
Bu çalışma kapsamında yapılan PLCM kaya kesme deneyleri yeni geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney seti (Şekil 4.68) kullanılarak yapılmış olup bu deney setiyle ilgili geniş bilgi Bölüm 3’ te ayrıntılı şekilde anlatılmıştır.



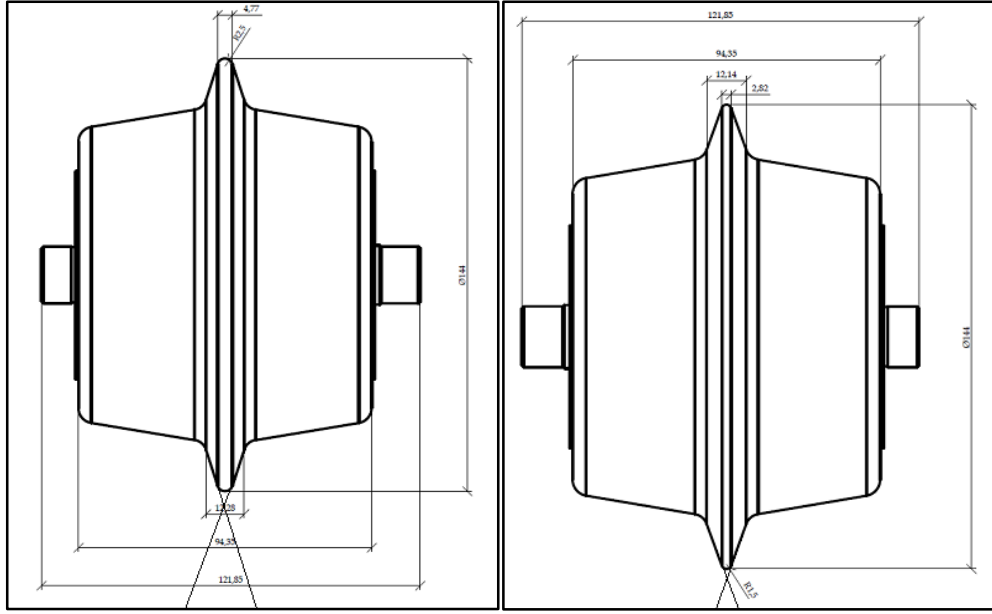
Şekil 4.68 : İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kazı Mekanizasyonu ve Teknolojileri Laboratuvarında yeni geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney seti.

4.3.2 144 mm çaplı mini disk keskiler

Geliştirilen yeni taşınabilir doğrusal kazı deney seti tasarlanırken, uluslararası platformda kabul görmüş bir deney yöntemi olmasından dolayı doğrusal kazı deney seti (LCM) özelliklerine benzer özelliklerde olmasına dikkat edilmiştir. Şöyle ki; LCM deney setinin küçük ölçeklisi olarak tasarlanan bu deney setinde tam boyutlu doğrusal kazı deney setinde olduğu gibi keskilere arası mesafe, kesme derinliği gibi değerler kolaylıkla değiştirilerek farklı deney şartlarında veriler elde edilebilmektedir. Geliştirilen yeni taşınabilir kazı deney seti daha küçük ölçeklerde olduğu için deneylerde LCM deney setinin aksine karot numuneler veya daha küçük blok numuneler üzerinde deneyler yapıldığından deney setinde kullanılacak disk keskilerinde küçük boyutlarda olması gerekmektedir. Bu doğrultuda standart TBM disk keski özelliklerinde daha küçük boyutlu mini disk keskiler imal ettirilmiştir (Şekil 4.69). 14.4 cm disk çapına sahip Şekil 4.69’ da verilen bu disk keskilerden 2 numaralı olan V – tip mini disk keski olup diğerleri farklı uç genişliğine (2, 3, 5 mm) sahip CCS tip mini disk keskilere. Kullanılan mini disk keskilerden V tipli disk keski (disk – 2) 70° uç açısına sahip iken 1 numaralı CCS tip disk keski 35°, 3 ve 4 numaralı mini CCS tip disk keskiler ise 40° uç açısına sahiptir.

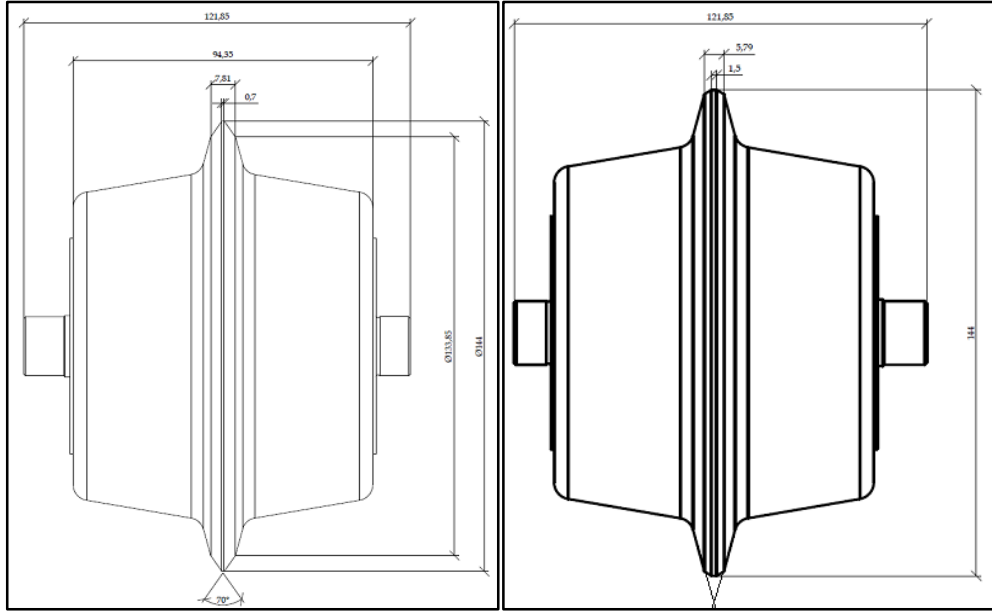


Şekil 4.69 (a) : PLCM deneylerinde kullanılan mini disk keskiler.



Disk – 4

Disk – 3



Disk – 2

Disk – 1

Şekil 4.69 (b) : PLCM deneylerinde kullanılan mini disk keskilerin şematik görünümü.

4.3.3 Numune hazırlama

Geliştirilen yeni taşınabilir doğrusal kazı deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri için karot veya küp şeklinde hazırlanmış numuneler kullanılabilmektedir. Doktora tezi kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan numuneler düzensiz şekilli blok numuneler olarak temin edilmiştir (Şekil 4.70). Temin edilen numuneler Şekil 4.71’

de görülen kaya kesme düzeneğinde kaya kesme düzeneğinde yaklaşık 20 x 14 x 9 cm boylarında olacak şekilde ebatlandırılmıştır (Şekil 4.72).



Şekil 4.70 : PLCM deneylerinde kullanılmak üzere araziden temin edilen blok numuneler.



Şekil 4.71 : Numune hazırlama işlemlerinde kullanılan kaya kesme düzeneği.



Şekil 4.72 : Düzensiz blok numunelerden elde edilen şekilli PLCM numuneleri.

Numunelerin boyutlandırılması işlemlerinden sonraki adımda hazırlanmış küçük blok numunelerin yerleştirileceği ve boyutları 30 x 20 x 11 cm olan metal numune kutuları deney sonunda üzerinde deney yapılan numunelerin boşaltılmasında kolaylık sağlaması amacıyla uygun malzemeler kullanılarak hazırlanmıştır. Numune kutularının da hazırlanması işleminden sonra numuneler bu kutular içerisine uygun şekilde yerleştirilip etrafı grout harcı kullanılarak betonlanmıştır (4.73). Betonlama işlemlerinden sonra numunenin kazı deneyleri sırasında yerinden oynamaması düşünülerek yaklaşık 1 hafta grout harcının istenilen kıvamda olması beklenmiştir.



Şekil 4.73 : Metal numune kutusu içerisine yerleştirilmiş PLCM numuneleri.

4.3.4 Bej mermer üzerinde yapılan PLCM deneyleri

4.3.4.1 Bej mermer üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deney programı

Bej mermer üzerinde taşınabilir doğrusal kaya kesme deney setinde 4 farklı özellikte mini disk keski kullanılarak kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Bej mermer üzerinde PLCM deneyleri yapılan diğer numunelere nazaran daha homojen bir yapıya sahiptir. Homojen yapısından dolayı mini disk keskinin birbiriyle ve LCM deney sonuçlarıyla karşılaştırılmasında daha doğru sonuçlar vereceği düşünülerek bej mermer üzerinde farklı özelliklerdeki 4 mini disk keski kullanılarak PLCM deneyleri yapılmıştır. Kullanılan mini disk keskilere bir tanesi V tipli disk keski olup diğer üç keski CCS tip disk keskilere.

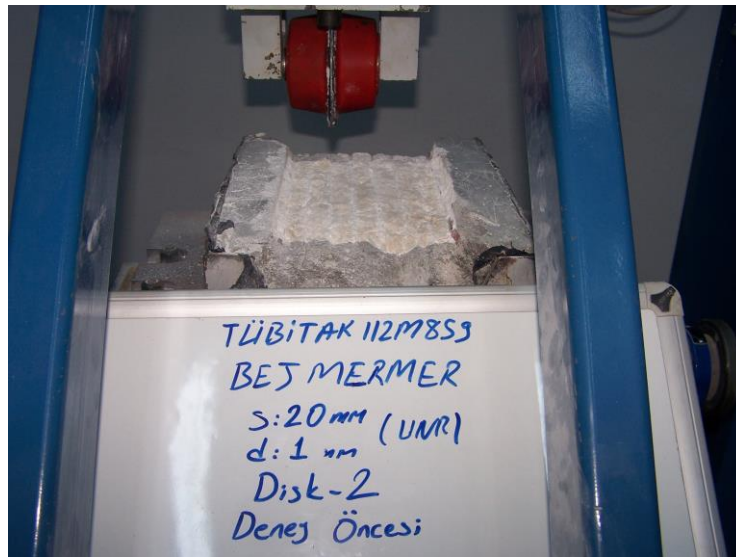
Yapılan PLCM kesme deneylerinde keskinin arası mesafe (s) değeri 20 mm olarak ayarlanıp kesme derinliği (d) değerleri 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış ve ayarlanan her bir kesme derinliğinde yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Bu uygulama her bir mini disk keski için tekrarlanmış olup bej mermer numunesi için yapılan PLCM deney programı Çizelge 4.28’ de verilmiştir.

Çizelge 4.28 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı.

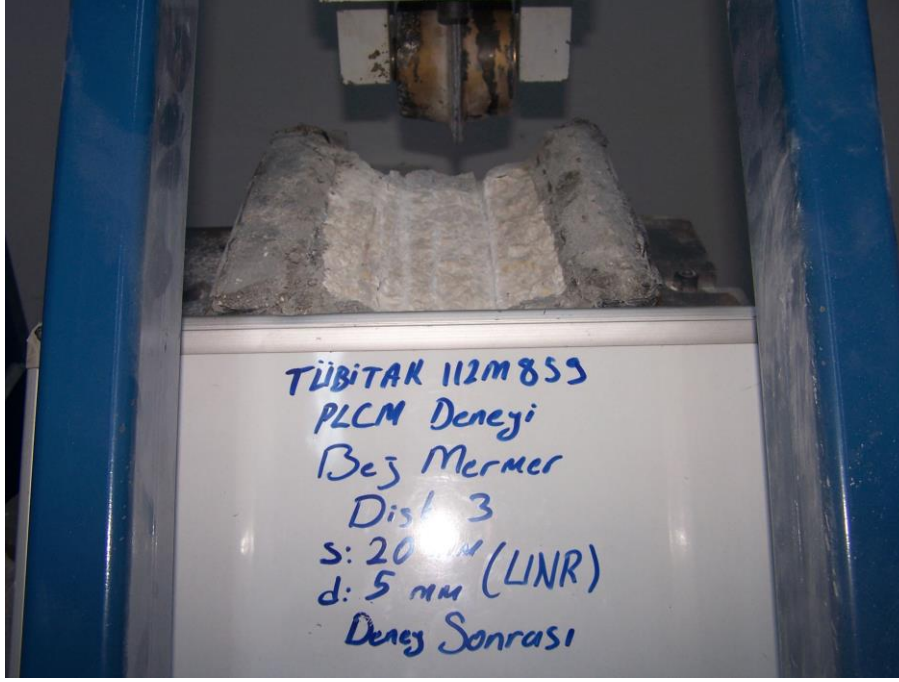
Numune Adı	Keski Tipi	d mm	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme
				s= 20 mm
Bej mermer	Disk – 1 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 2 (V)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 3 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 4 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓

4.3.4.2 Bej mermer numunesi üzerinde yapılan PLCM deney sonuçları

Bej mermer numunesi üzerinde 4 farklı mini disk keski kullanılarak yardımcı ve yardımsız PLCM deneyleri yapılmıştır. Yapılan yardımsız deneyler için kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış olup tek bir keski için tek bir kesme derinliğinde en az 3 kaya kesme deneyi yapılarak veriler elde edilmiştir (Şekil 4.74-4.75). Kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olmak üzere 3 farklı şekilde ayarlandığından tek bir disk keski için en az 9 yardımsız kaya kesme deneyi yapılmıştır. Bej mermer üzerinde yapılan deneylerde 4 farklı disk keski kullanıldığından toplam yardımsız kaya kesme deney sayısı en az 36 olarak hesaplanabilecektir. Yapılan yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.29’ da, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.74 : Bej mermer numunesi üzerinde d = 1 mm şartlarında yardımsız yapılan PLCM kazı deney öncesi görüntüsü.



Şekil 4.75 : Bej mermer numunesi üzerinde $d = 5$ mm şartlarında yardımsız yapılan PLCM kazı deney sonrası görüntüsü.

Çizelge 4.29 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.

Disk Tipi	d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1	1	1193.41	2119.08	119.90	290.79	18.84
	3	2052.46	3918.77	374.20	855.15	16.38
	5	2974.14	4289.22	700.13	1127.80	12.84
Disk – 2	1	967.49	1390.11	122.65	219.47	23.37
	3	1790.46	3084.30	490.00	939.81	21.93
	5	3478.78	5056.63	1096.91	1852.76	18.12
Disk – 3	1	1205.03	1757.46	127.45	239.97	15.72
	3	1608.11	2712.85	291.26	590.91	13.91
	5	2123.40	3863.06	444.69	993.67	13.37
Disk – 4	1	853.48	1584.52	75.63	192.41	13.77
	3	1648.01	3400.83	265.20	650.31	12.34
	5	2286.70	3941.59	550.21	1029.62	11.44

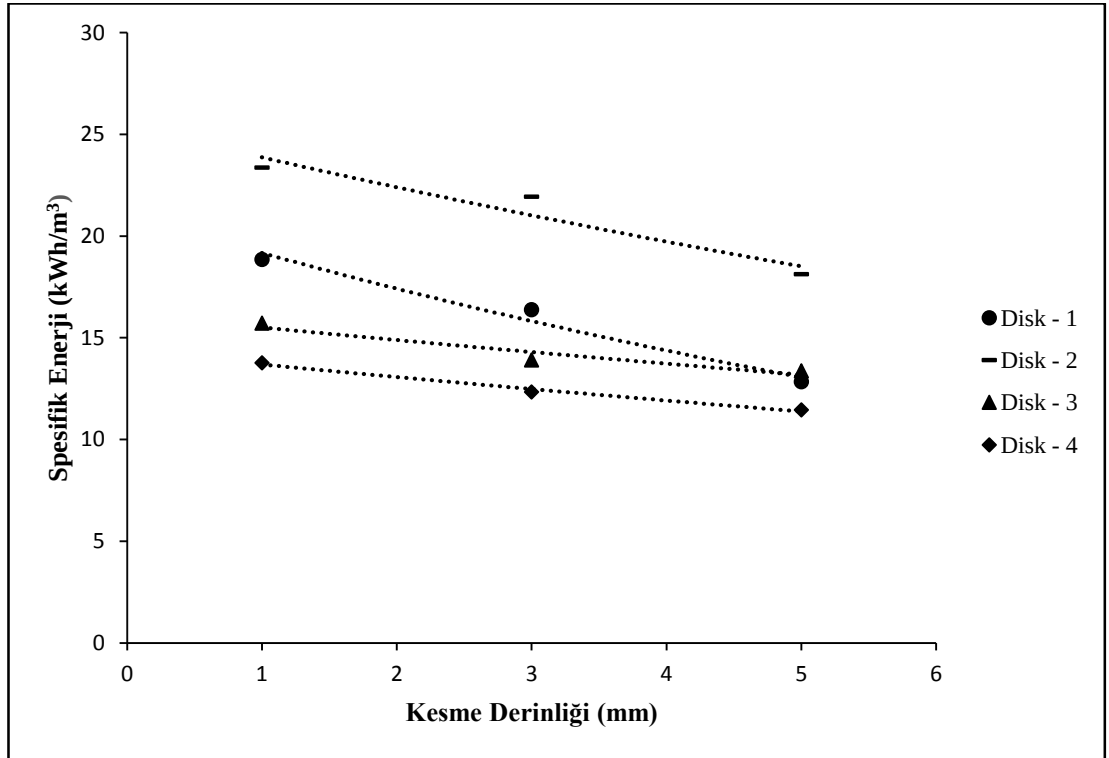
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ve Çizelge 4.29' da verilen veriler kullanılarak yardımsız kesme deneylerinde kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.76 - 78' de verilmiştir.

Elde edilen bu sonuçlara göre tüm mini disk keskiler için yapılan kesme deneylerinde kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji değerlerinin literatüre uygun olarak

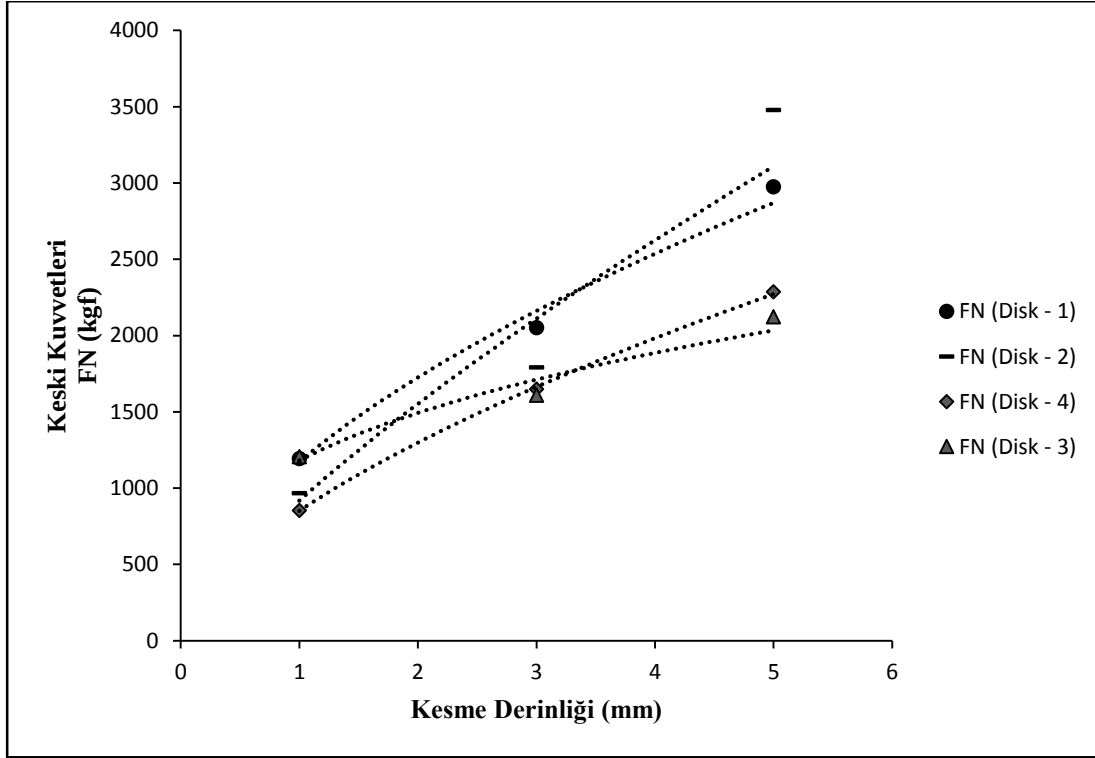
düştüğü ve V tip disk keski spesifik enerji değerinin diğer CCS tip disk keskilere nazaran daha fazla olduğu görülmektedir.

Aynı şekilde kesme derinliği arttıkça mini disk keskilere etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin yine literatüre uygun olarak arttığı V tip disk keskide yine bu artışın CCS tip disk keskilere oranla daha fazla olduğu görülmektedir.

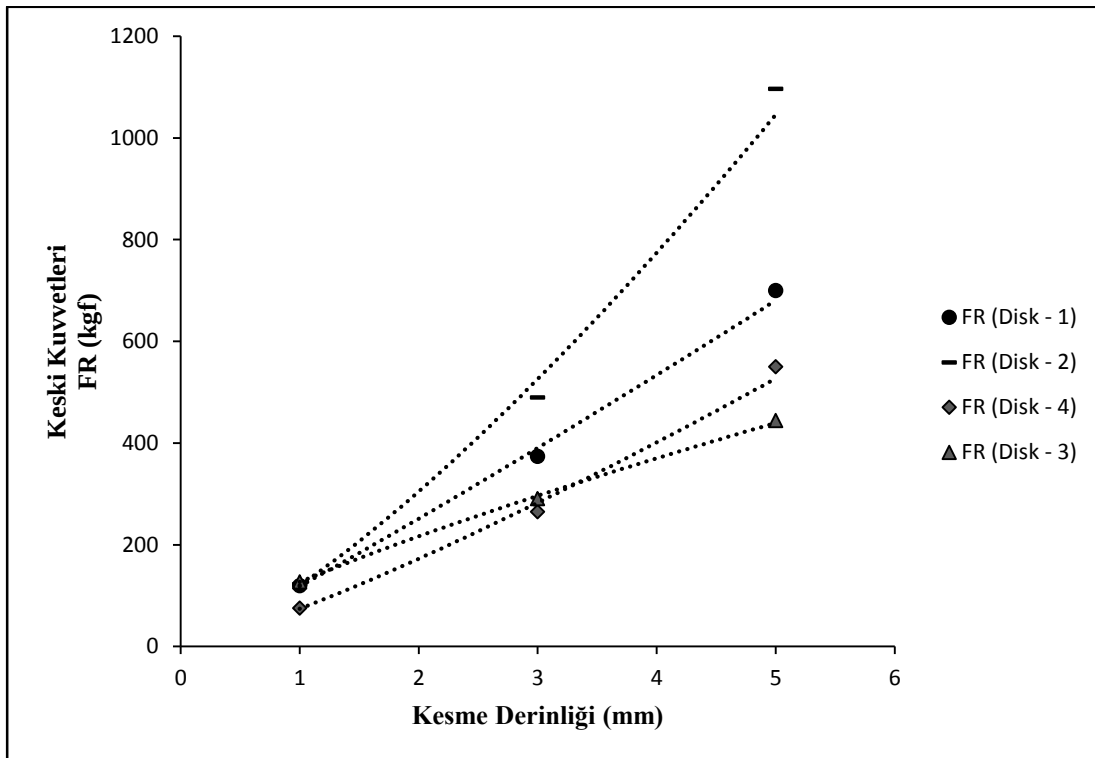
CCS tip mini disk keskiler ile V tip mini disk keski arasındaki farklılıkların disk uç genişliğinin farklı olmasından kaynaklandığı ve aynı kesme derinliği değerinde V tip disk keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin daha fazla olduğu ve buna bağlı olarak V tip disk keski için spesifik enerji değerinin CCS tip disk keskilere nazaran daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.76 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



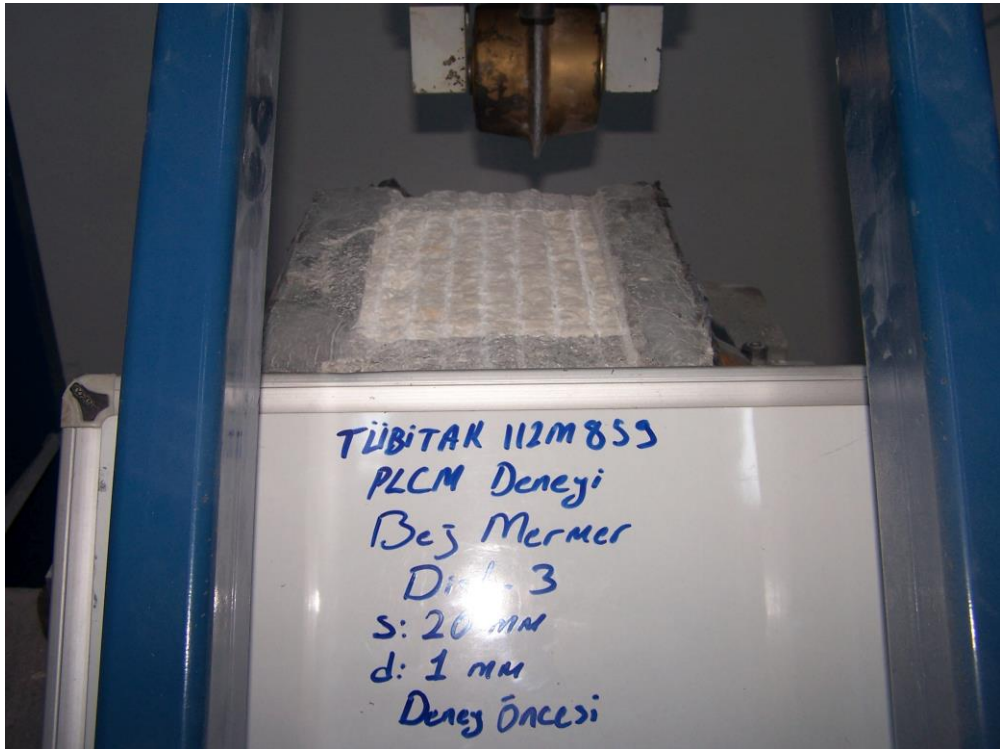
Şekil 4.77 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



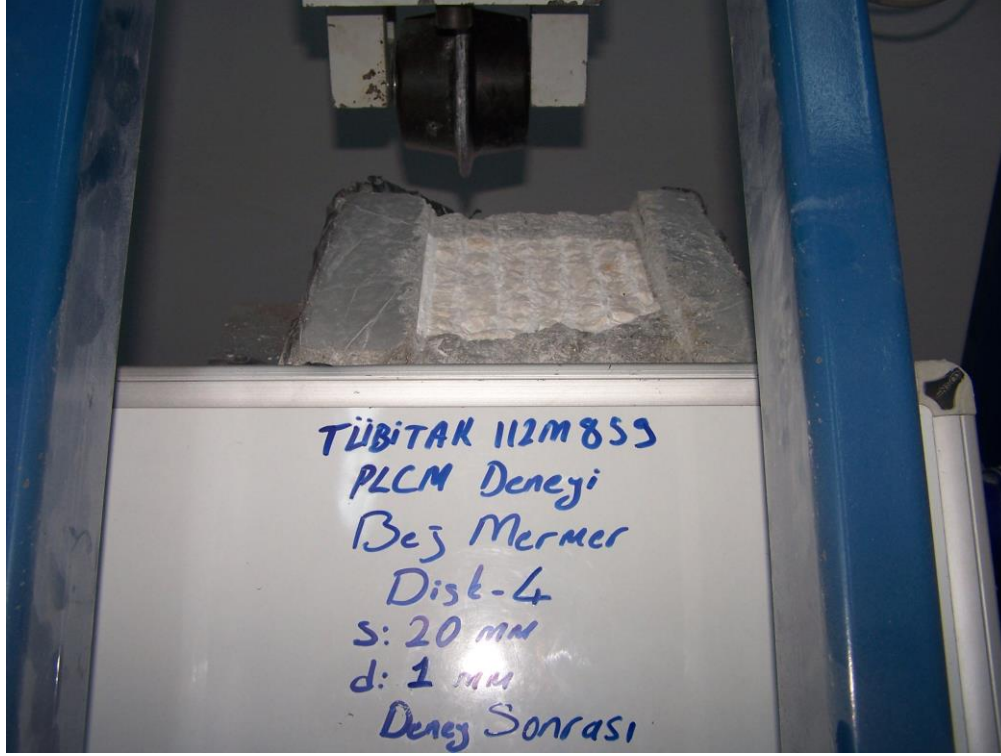
Şekil 4.78 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

Bej mermer üzerinde 4 farklı mini disk keski kullanılarak yapılan yardımsız kaya kesme deneyleriyle birlikte keski arası mesafe 20 mm olarak ayarlandıktan sonra, 1, 3 ve 5 mm kesme derinliklerinde yardımcı kaya kesme deneyleri de yapılmıştır. Yardımlı deneylerde de yine 4 farklı disk keski ve 3 farklı kesme derinliğinde yaklaşık 36 kaya kesme deneyi yapılmıştır (Şekil 4.79 – 4.80). Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.30’ da, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.2’ de verilmiştir.

Yardımlı kesme deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanılarak elde edilen grafiklere bakıldığında keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin beklenildiği gibi kesme derinliği arttıkça arttığı görülmüştür. Keski arasında oluşan farklılıkların ise mini disk keskinin sahip oldukları farklı disk uç genişliğine bağlı olduğu düşünülmektedir. Yine yardımcı PLCM deney sonuçlarında optimum spesifik enerji değerinin belirlenmesi için çizilen grafiğe (Şekil 4.81) bakıldığında, optimum keski arası mesafe / kesme derinliği oranının 4 farklı mini disk keski için de farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.79 : Bej mermer numunesi üzerinde $d = 5$ mm, $s = 20$ mm şartlarında yardımcı yapılan PLCM kazı deney öncesi görüntüsü.

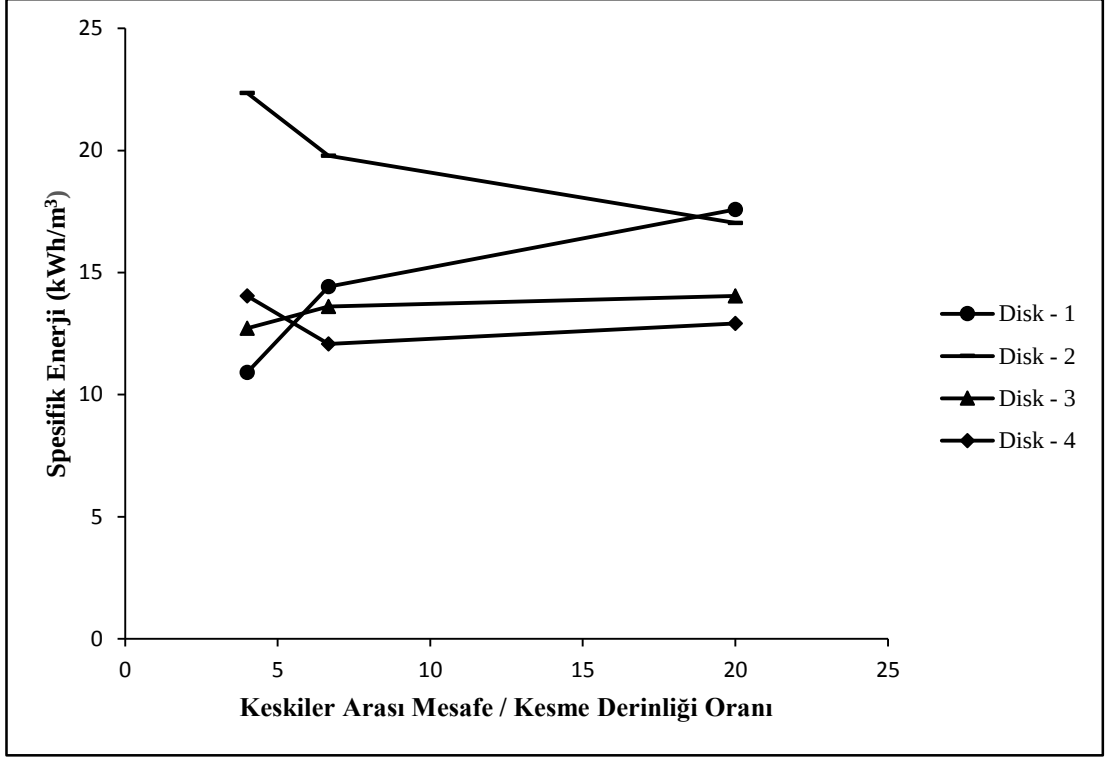


Şekil 4.80 : Bej mermer numunesi üzerinde $d = 1$ mm, $s = 20$ mm şartlarında yardımcı yapılan PLCM kazı deney sonrası görüntüsü.

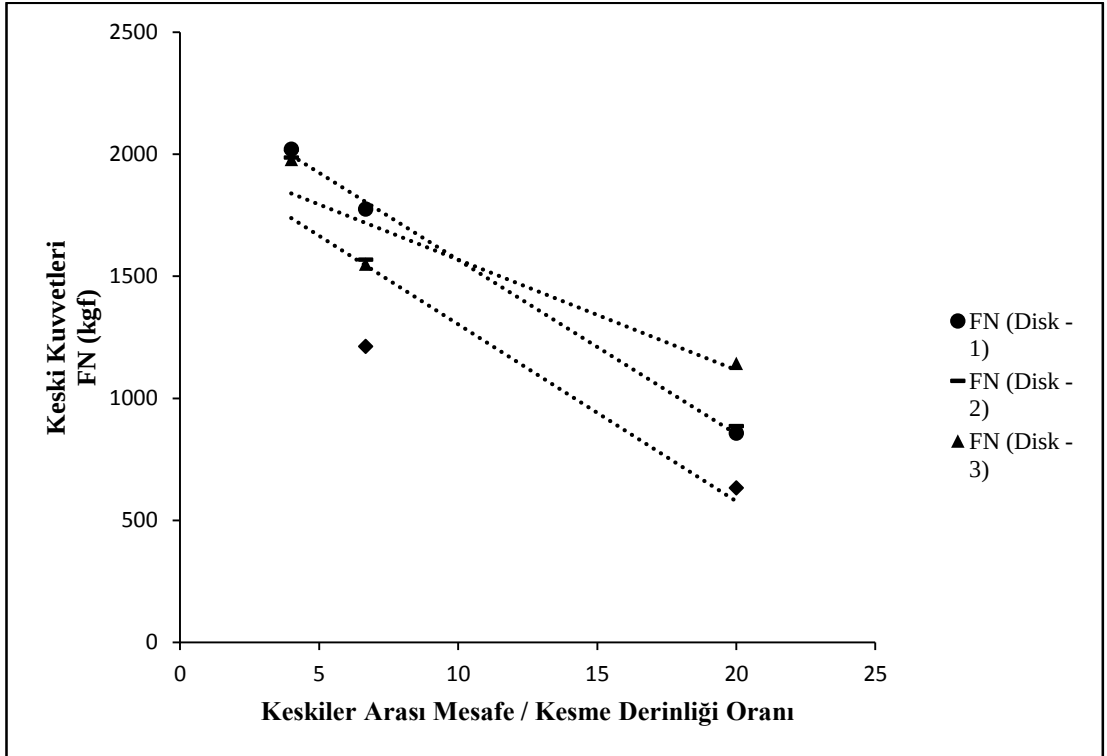
Çizelge 4.30 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

Disk Tipi	d mm	s mm	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1	1	20	20	858.00	1562.27	84.95	219.84	17.59
	3	20	6.7	1775.91	2891.35	261.93	549.77	14.42
	5	20	4	2020.63	3764.64	404.55	1006.83	10.91
Disk – 2	1	20	20	886.77	1562.46	118.43	258.06	17.03
	3	20	6.7	1568.66	3097.50	399.84	823.95	19.79
	5	20	4	1987.66	3716.03	643.96	1316.28	22.35
Disk – 3	1	20	20	1143.69	1858.41	130.81	280.51	14.05
	3	20	6.7	1550.06	3064.20	322.19	778.51	13.61
	5	20	4	1979.38	2699.01	435.06	709.40	12.71
Disk – 4	1	20	20	633.35	1524.25	61.04	200.34	12.92
	3	20	6.7	1213.98	2349.76	206.96	534.89	12.07
	5	20	4	2014.11	3575.98	404.74	826.39	14.05

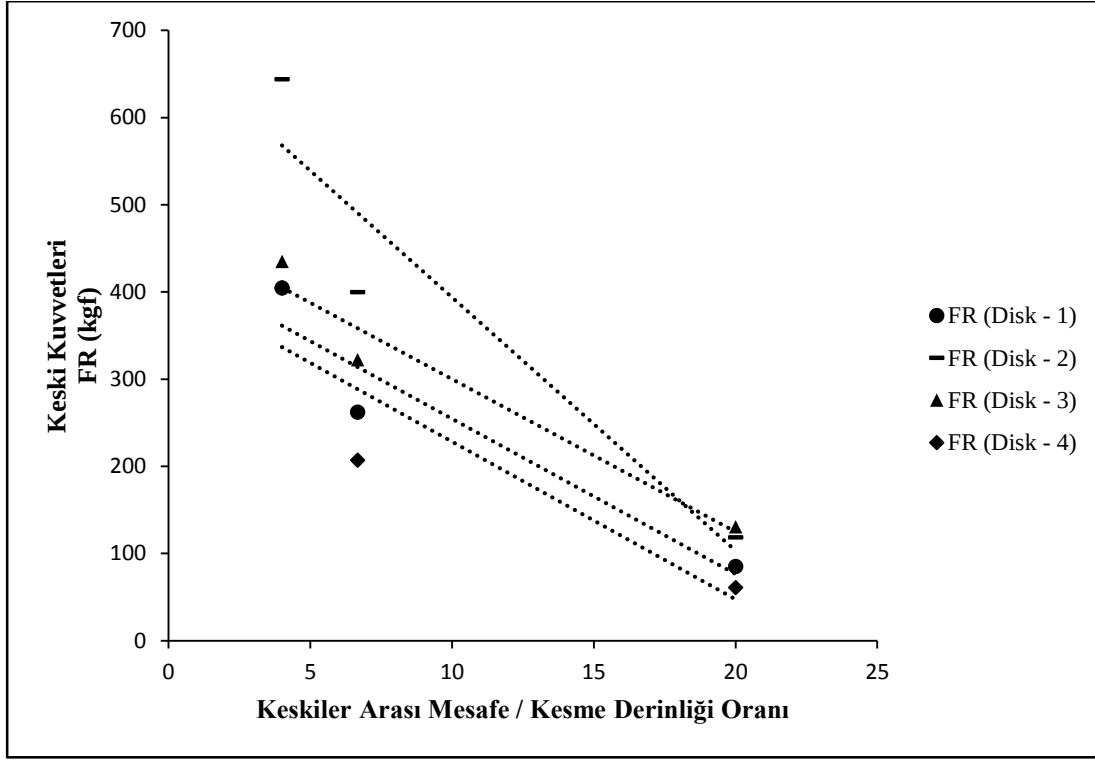
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ve Çizelge 4.30' da verilen veriler kullanılarak yardımcı kesme deneylerinde keskiyer arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.81 – 83' de verilmiştir. Yine kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler de Şekil 4.84 – 85' te verilmiştir.



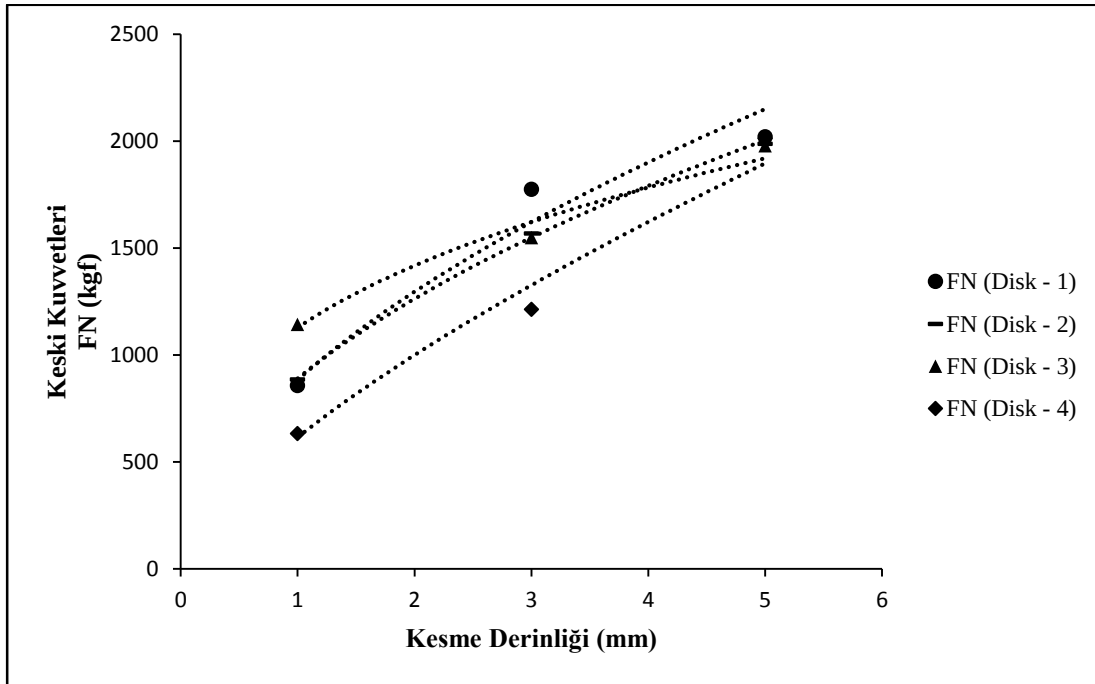
Şekil 4.81 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



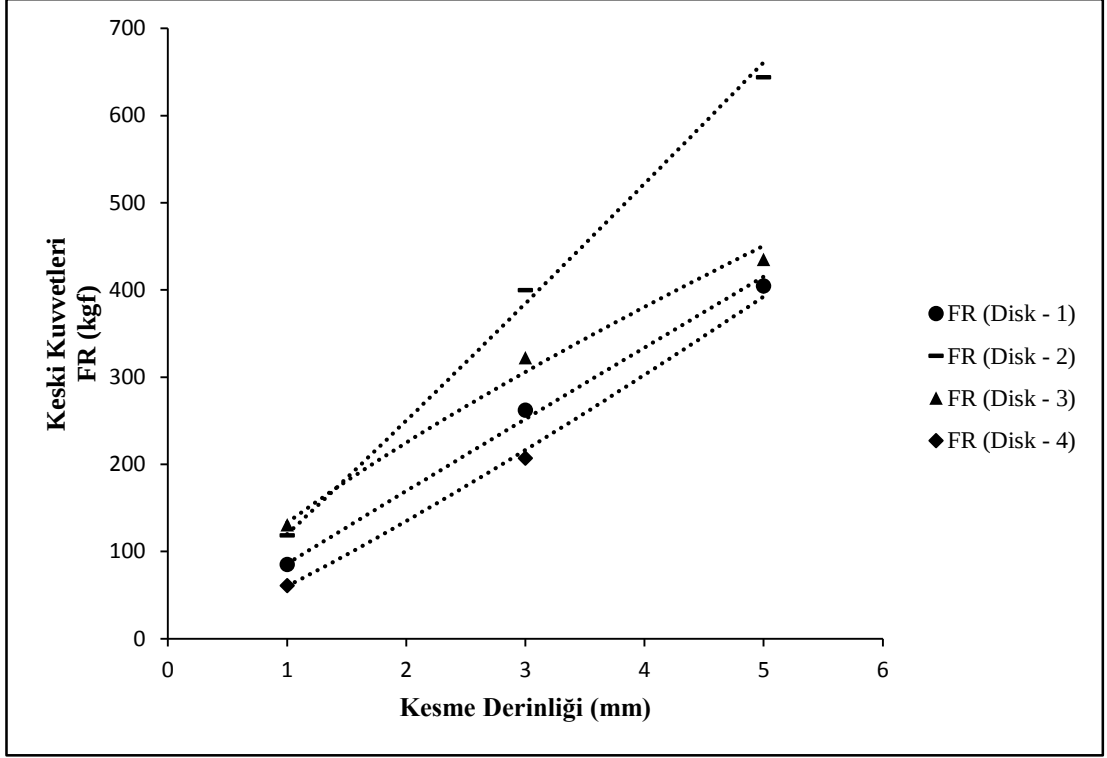
Şekil 4.82 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.83 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.84 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.85 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.3.5 Traverten üzerinde yapılan PLCM deneyleri

4.3.5.1 Traverten üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deney programı

Traverten numunesi üzerinde taşınabilir doğrusal kaya kesme deney setinde 2 farklı tip mini disk keski kullanılarak kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Kullanılan mini disk keskilerden biri V tipli disk keski diğeri CCS tip disk keskidir. CCS tip disk keski olarak 4 mm disk uç çapına sahip mini disk keski kullanılmıştır.

Yapılan PLCM kesme deneylerinde keskiler arası mesafe (s) değeri 20 mm olarak ayarlanıp kesme derinliği (d) değerleri 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış ve ayarlanan her bir kesme derinliğinde yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Traverten numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı Çizelge 4.31’ de verilmiştir.

Çizelge 4.31 : Traverten numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı.

Numune Adı	Keski Tipi	d mm	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme
				s= 20 mm
Traverten	Disk – 1 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 2 (V)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓

4.3.5.2 Traverten numunesi üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları

Traverten numunesi üzerinde 1 adet mini CCS tip ve 1 adet mini V tip olmak üzere iki farklı disk keski kullanılarak yardımlı ve yardımsız PLCM deneyleri yapılmıştır. Yapılan yardımsız deneyler için kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış olup tek bir keski için tek bir kesme derinliğinde en az 3 kaya kesme deneyi yapılarak veriler elde edilmiştir (Şekil 4.86). Kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olmak üzere 3 farklı şekilde ayarlandığından tek bir disk keski için en az 9 yardımsız kaya kesme deneyi yapılmıştır. Yapılan yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.32’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.3’ de verilmiştir.



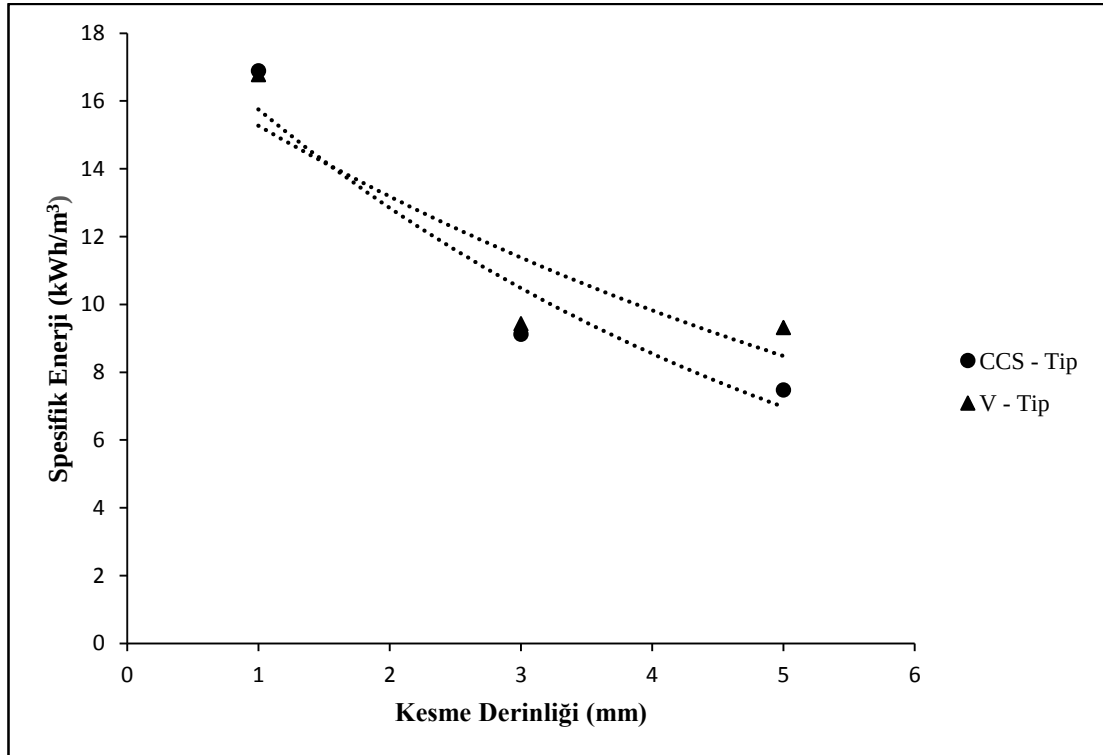
Şekil 4.86 : Traverten numunesi üzerinde d =5 mm şartlarında yardımsız yapılan PLCM kazı deney öncesi görüntüsü.

Çizelge 4.32 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.

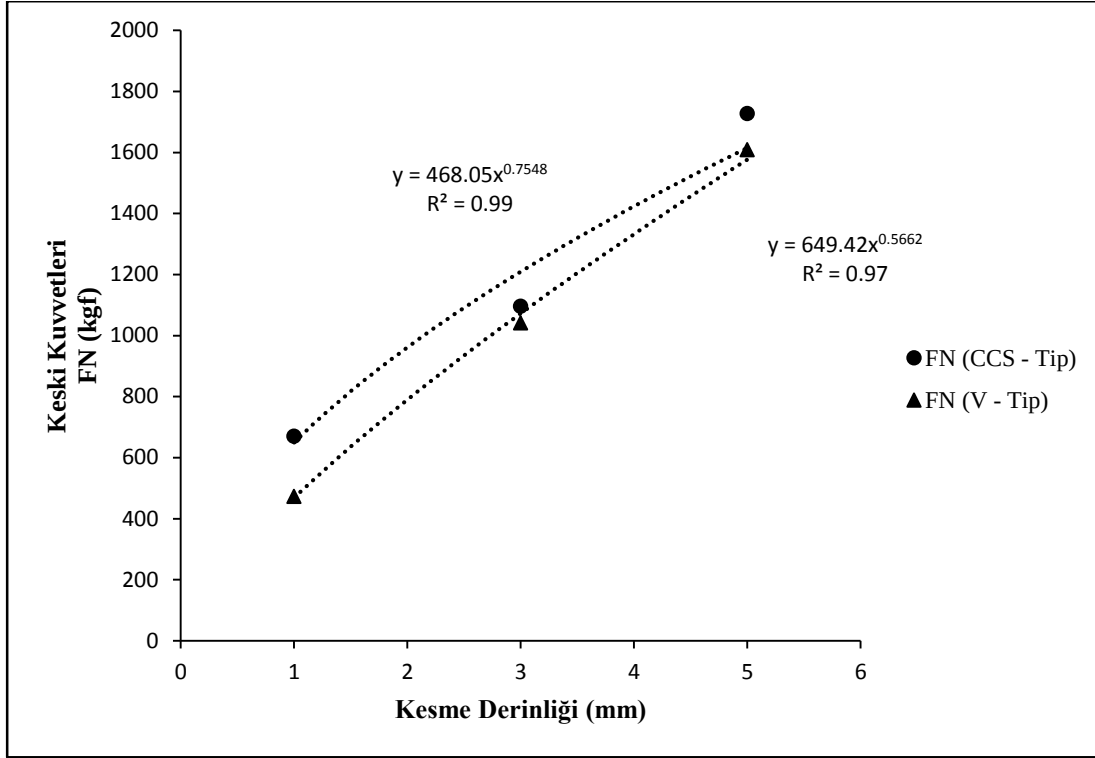
Disk Tipi	d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	670.04	1377.28	66.22	152.83	16.89
	3	1096.16	1810.67	190.58	384.19	9.12
	5	1727.69	2742.07	323.10	688.65	7.48
Disk – 2 (V)	1	472.44	1064.35	99.37	264.84	16.77
	3	1041.52	2022.77	236.54	544.03	9.43
	5	1609.21	2638.96	500.46	906.89	9.32

Traverten numunesi üzerinde yardımsız yapılan PLCM deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.87 – 89’ da verilmiştir.

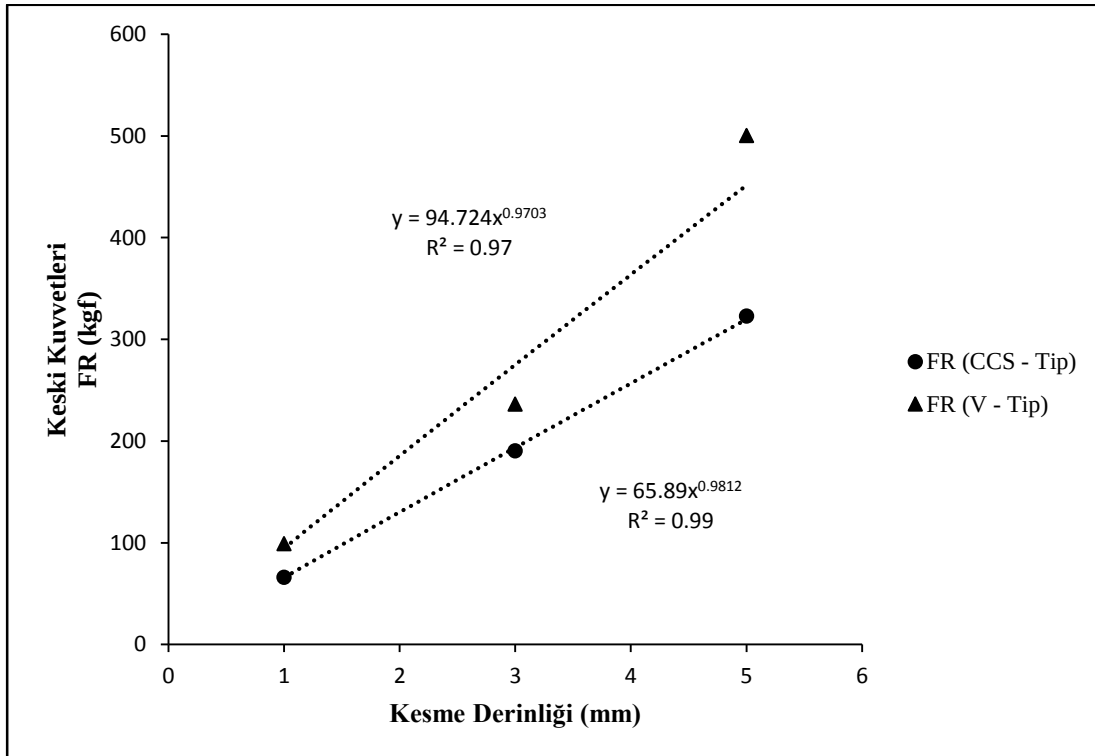
İlgili grafiklere bakıldığında mini CCS tip (disk 1) ve mini V tip (disk 2) disk keskiler için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji değerlerinin ve keskiler üzerine etki eden kuvvet değerlerinin birbirine yakın oranlarda değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.87 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.88 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.89 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

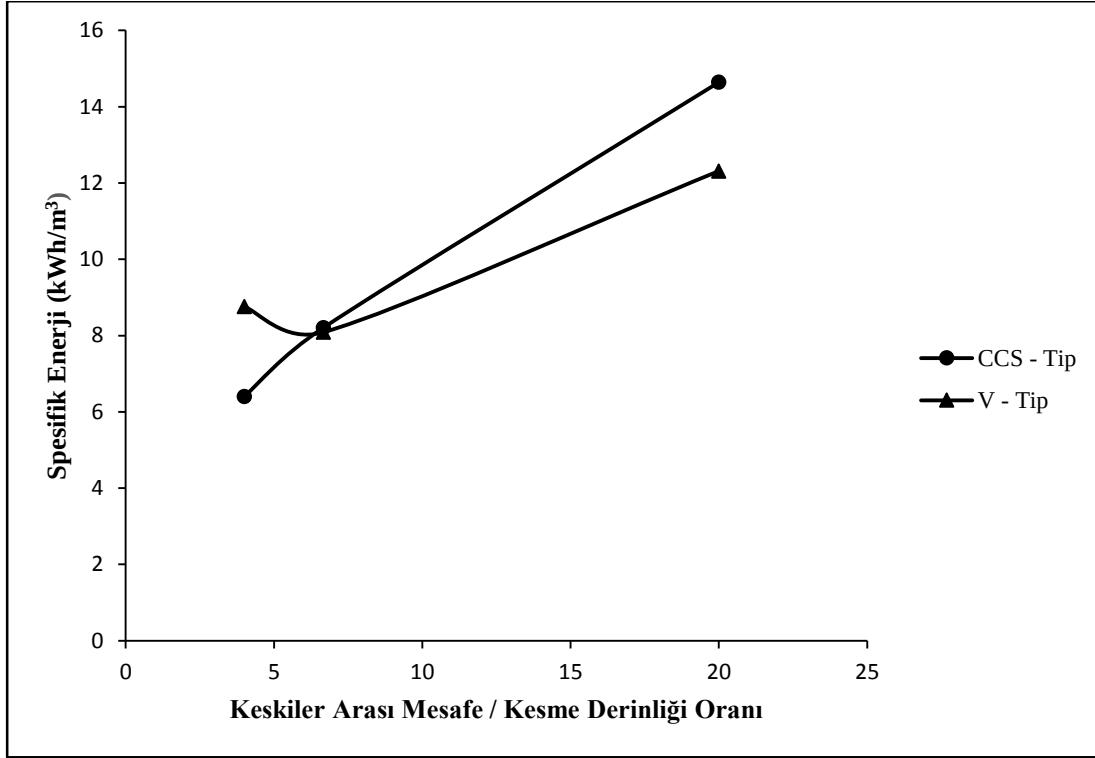
Traverten numunesi üzerinde CCS tip ve V tip mini disk keski kullanılarak yapılan yardımsız kaya kesme deneyleriyle birlikte keski arası mesafe 20 mm ayarlandıktan sonra, 1, 3 ve 5 mm kesme derinliklerinde yardımcı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.33’ te, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.4’ te verilmiştir.

Çizelge 4.33 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

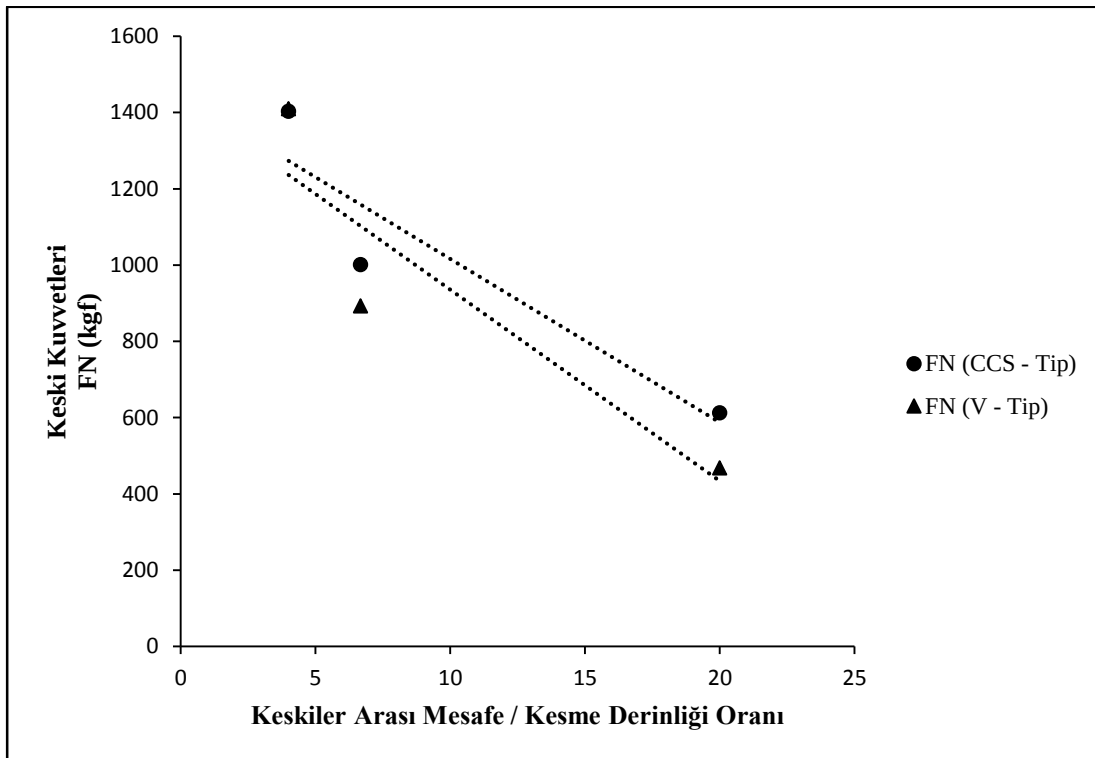
Disk Tipi	d mm	s mm	s/d	FN (kgf)	F’N (kgf)	FR (kgf)	F’R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	20	20	613.29	1263.59	54.02	169.96	14.64
	3	20	6.7	1001.92	1950.66	156.97	350.43	8.21
	5	20	4	1403.80	3061.21	312.55	809.55	6.41
Disk – 2 (V)	1	20	20	468.39	1036.31	62.90	146.98	12.32
	3	20	6.7	893.27	1685.65	191.07	395.38	8.09
	5	20	4	1410.27	2577.32	349.40	699.77	8.76

Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM deney sonuçlarına bakıldığında CCS tip ve V tip mini disk keski için keski üzerine etki eden kuvvetlerin birbirlerine yakın değerlerde değiştikleri ancak keski arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak elde edilen optimum spesifik enerji değerinin her iki mini disk keski için farklı değerlerde çıktığı görülmektedir. optimum keski arası mesafe / kesme derinliği oranının CCS tip mini disk keski için 5 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülürken, V tip mini disk keski için bu değer 3 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir.

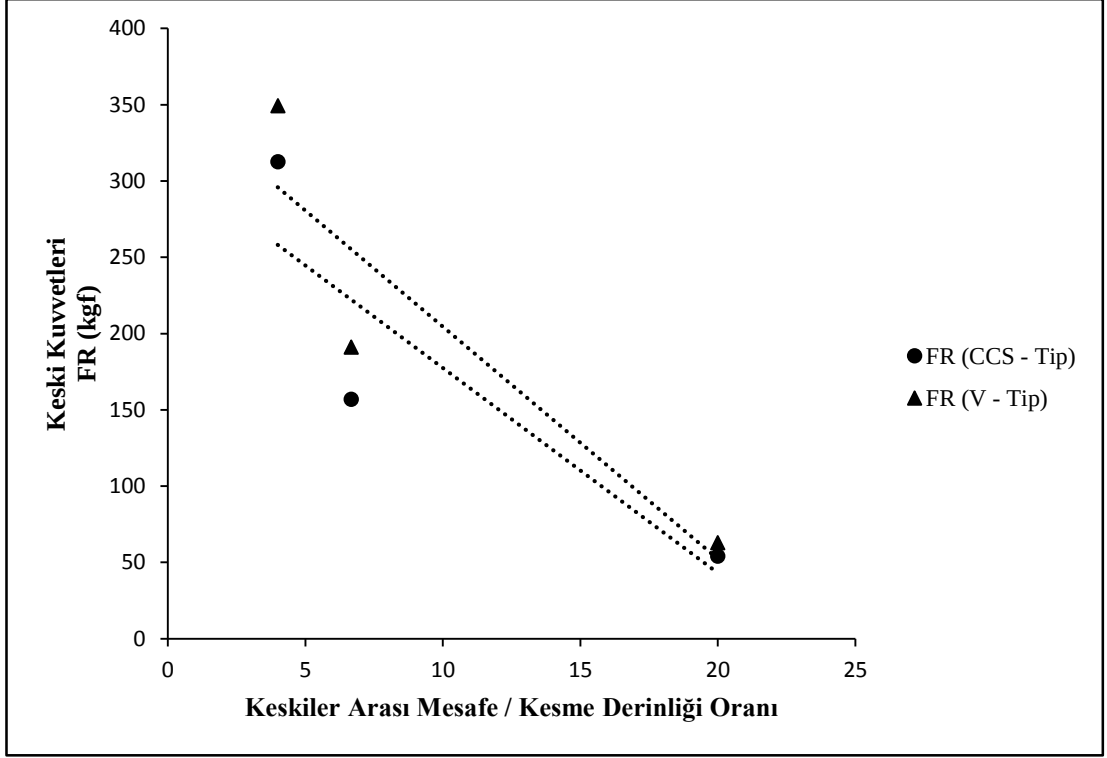
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yardımcı kesme deneyleri için keski arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.90 – 92’ de verilmiştir. Yine yardımcı kesme deneyleri için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.93 – 94’ te verilmiştir.



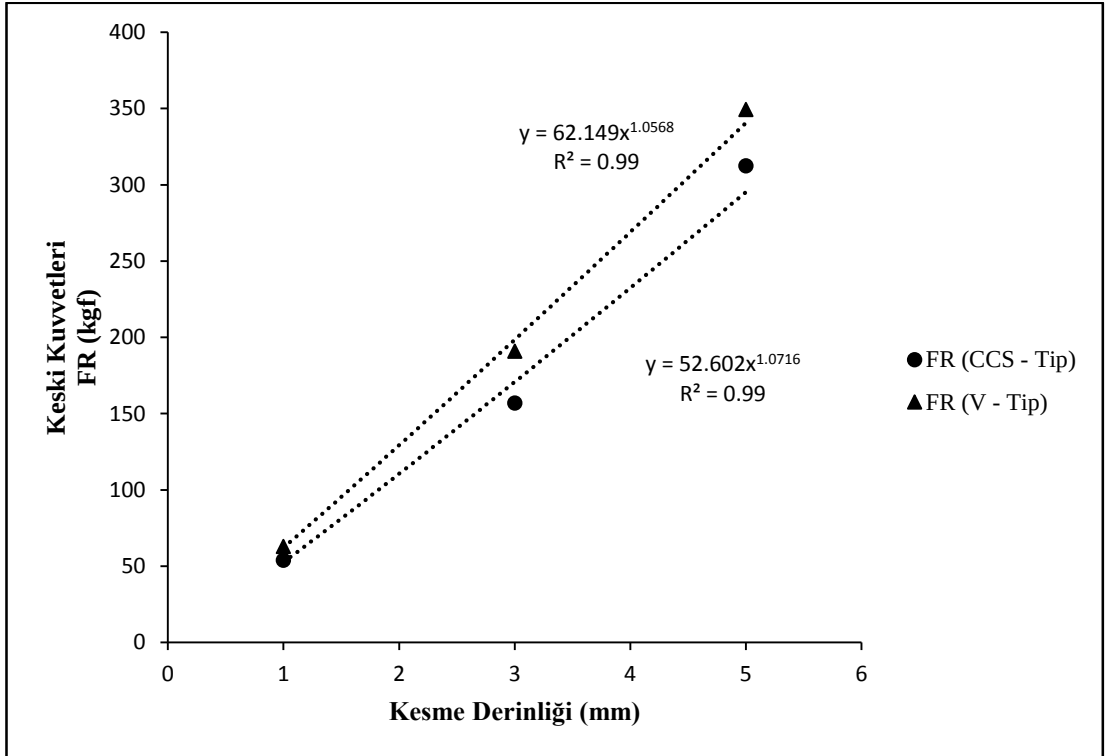
Şekil 4.90 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



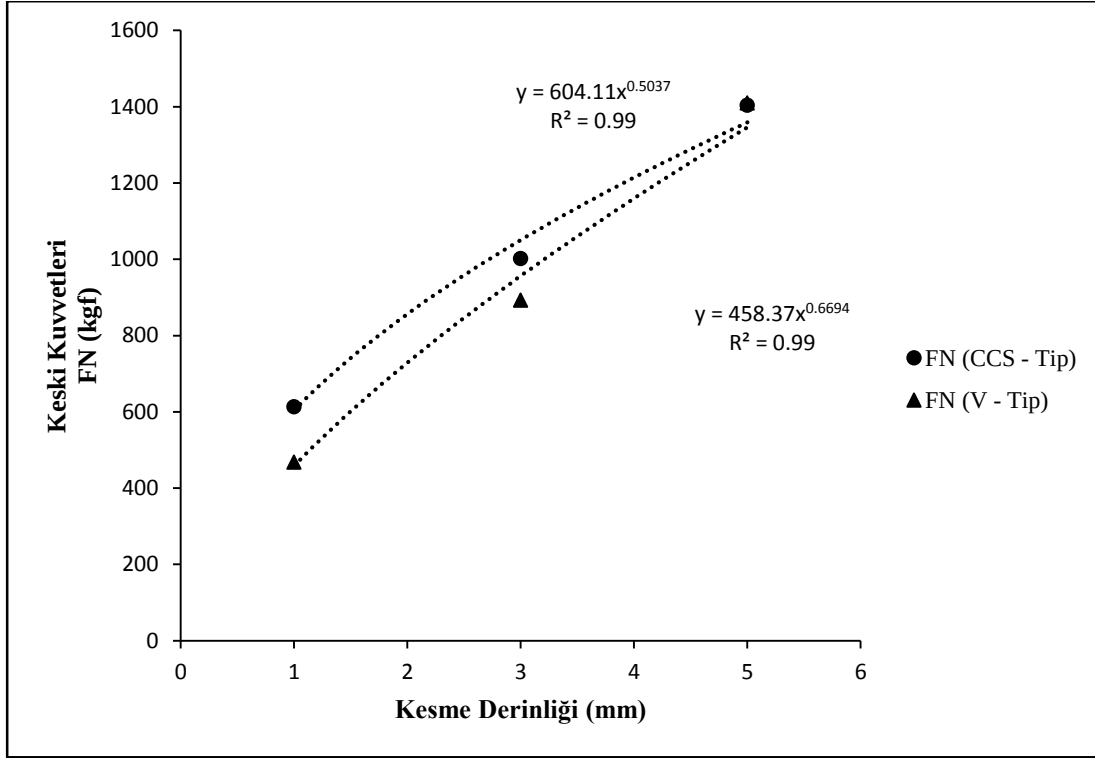
Şekil 4.91 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.92 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.93 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.94 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.3.6 Küfeki kireçtaşı üzerinde yapılan PLCM deneyleri

4.3.6.1 Küfeki kireçtaşı üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deney programı

Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde taşınabilir doğrusal kaya kesme deney setinde 2 farklı tip mini disk keski kullanılarak kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Kullanılan mini disk keskilerden biri V tipli disk keski diğeri CCS tip disk keskidir. CCS tip disk keski olarak 4 mm disk uç çapına sahip mini disk keski kullanılmıştır.

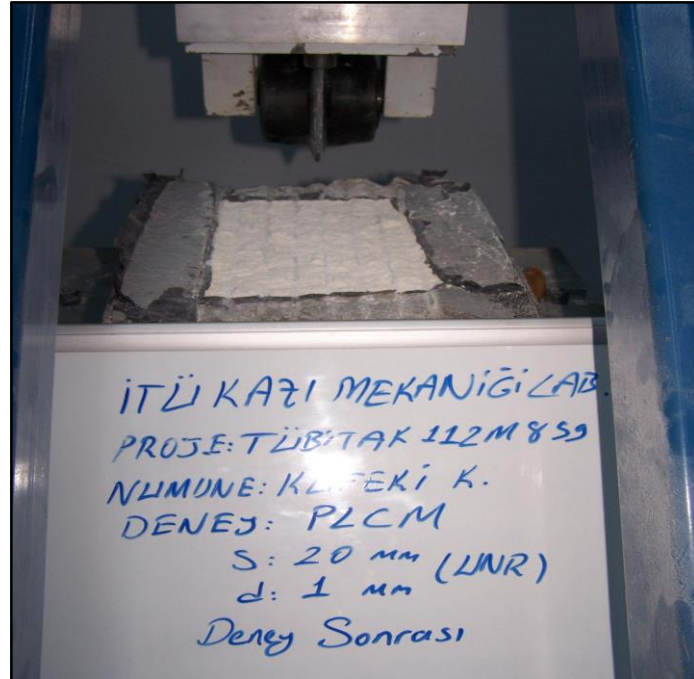
Yapılan PLCM kesme deneylerinde keskiler arası mesafe (s) değeri 20 mm olarak ayarlanıp kesme derinliği (d) değerleri 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış ve ayarlanan her bir kesme derinliğinde yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı Çizelge 4.34’ te verilmiştir.

Çizelge 4.34 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı.

Numune Adı	Keski Tipi	d mm	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme
				s= 20 mm
Küfeki kireçtaşı	Disk – 1 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 2 (V)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓

4.3.6.2 Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları

Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde 1, 3 ve 5 mm kesme derinliğinde öncelikle yardımsız PLCM deneyleri yapılmıştır. Yapılan yardımsız kesme deneylerinden sonra kesimler arası mesafe değeri 20 mm olarak ayarlanıp 1, 3 v 5 mm kesme derinliğinde yardımlı PLCM deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.95). Yapılan bu deneylerde 1 adet mini CCS tip ve 1 adet mini V tip olmak üzere iki farklı disk keski kullanılmıştır. Kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olmak üzere 3 farklı şekilde ayarlandığından tek bir disk keski için en az 9 yardımsız kaya kesme deneyi yapılmıştır ve her bir disk keski için deneyler tekrarlanmıştır. Yapılan yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.35’ te, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.5’ te verilmiştir.



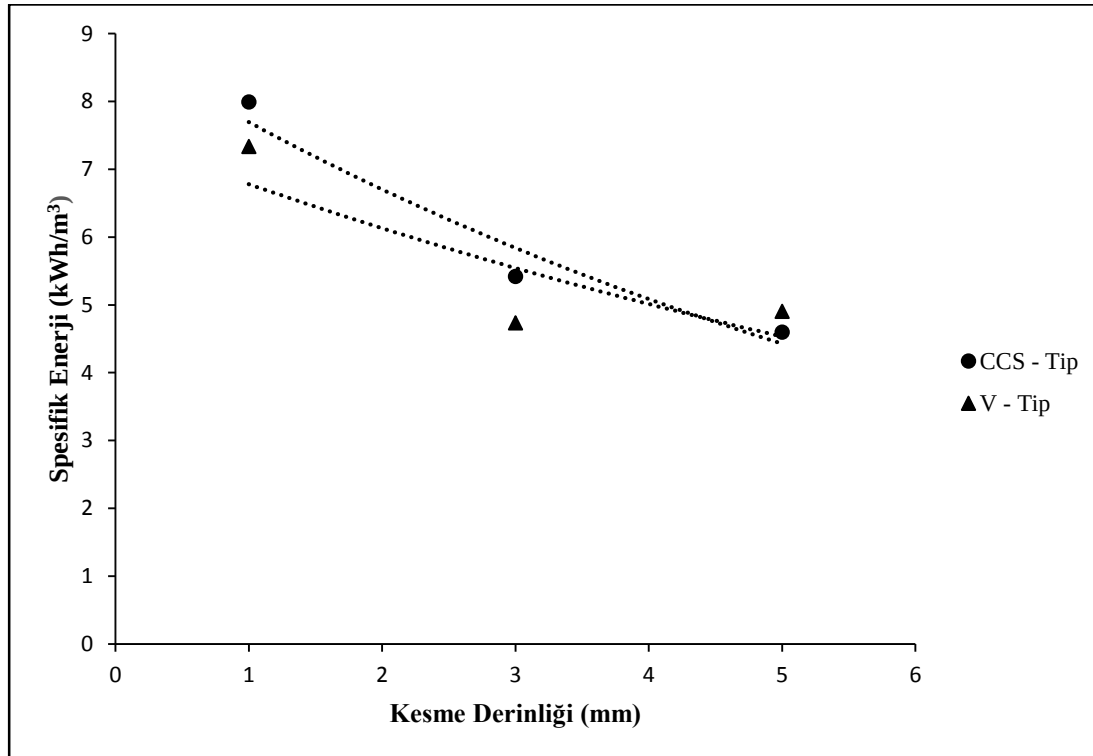
Şekil 4.95 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde d =5 mm şartlarında yardımsız yapılan PLCM kazı deney sonrası görüntüsü.

Çizelge 4.35 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.

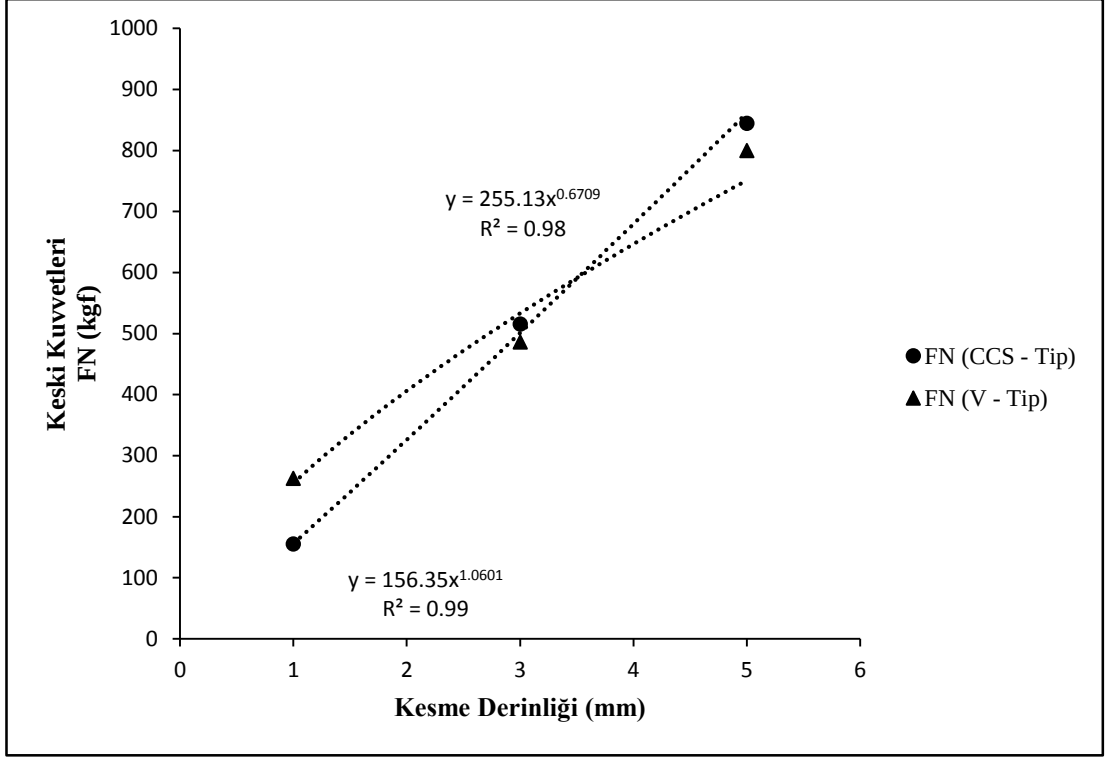
Disk Tipi	d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	154.94	359.51	14.41	48.83	7.99
	3	515.53	989.17	80.24	196.26	5.42
	5	844.60	1621.16	193.77	389.27	4.60
Disk – 2 (V)	1	262.70	592.01	49.50	124.11	7.34
	3	486.23	1084.88	98.32	218.61	4.74
	5	799.79	1542.87	250.65	488.86	4.91

Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yardımsız yapılan PLCM deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.96 – 98’ de verilmiştir.

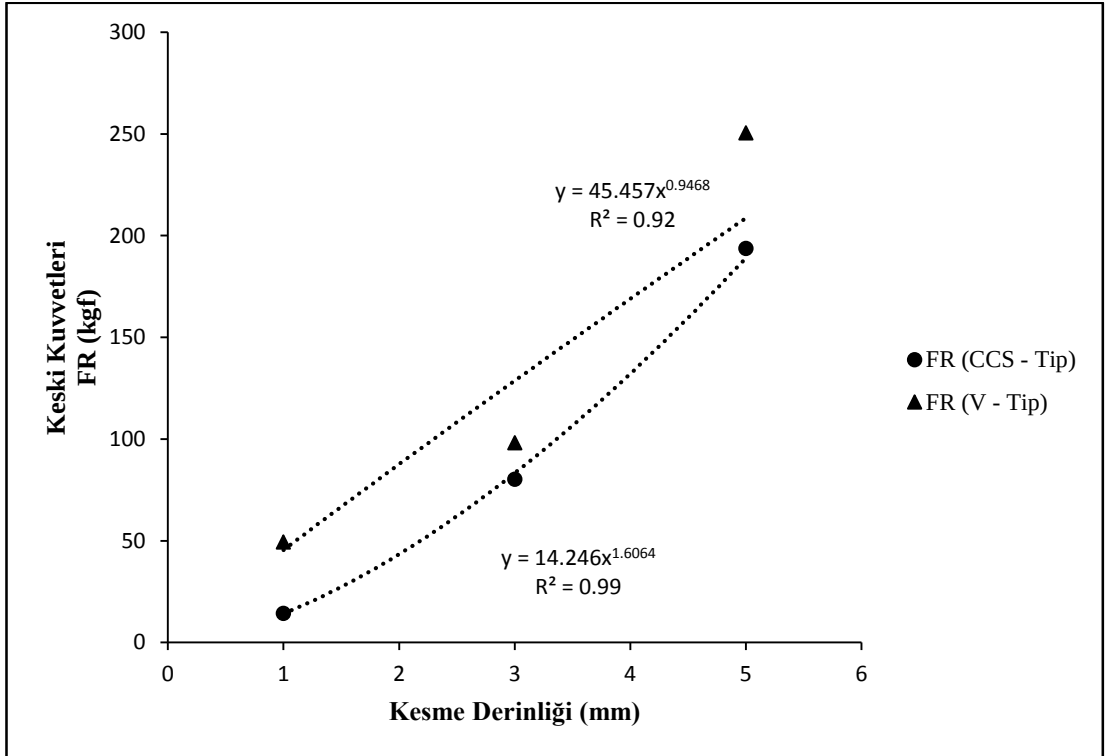
İlgili grafiklere bakıldığında mini CCS tip ve mini V tip disk keskiler için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji değerlerinin ve keskiler üzerine etki eden kuvvet değerlerinin birbirine yakın oranlarda değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.96 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.97 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.98 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

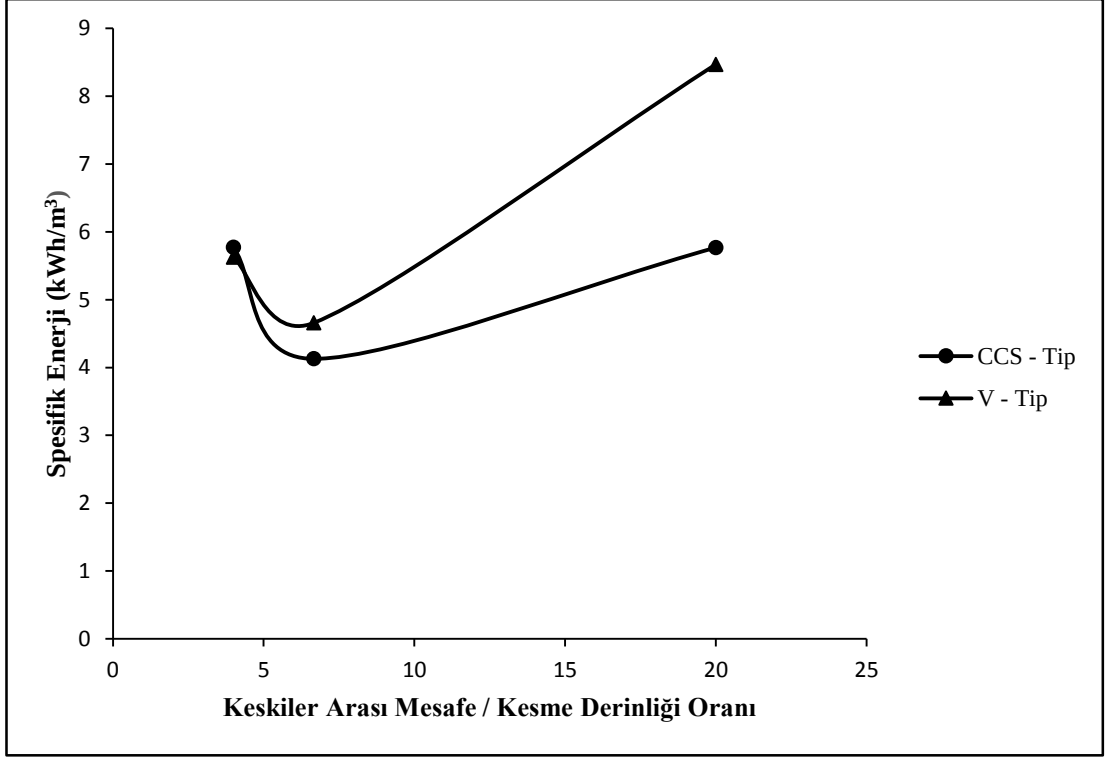
Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde CCS tip ve V tip mini disk keski kullanılarak yapılan yardımsız kaya kesme deneyleriyle birlikte keski arası mesafe 20 mm ayarlandıktan sonra, 1, 3 ve 5 mm kesme derinliklerinde yardımcı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.36’ da, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.6’ da verilmiştir.

Çizelge 4.36 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

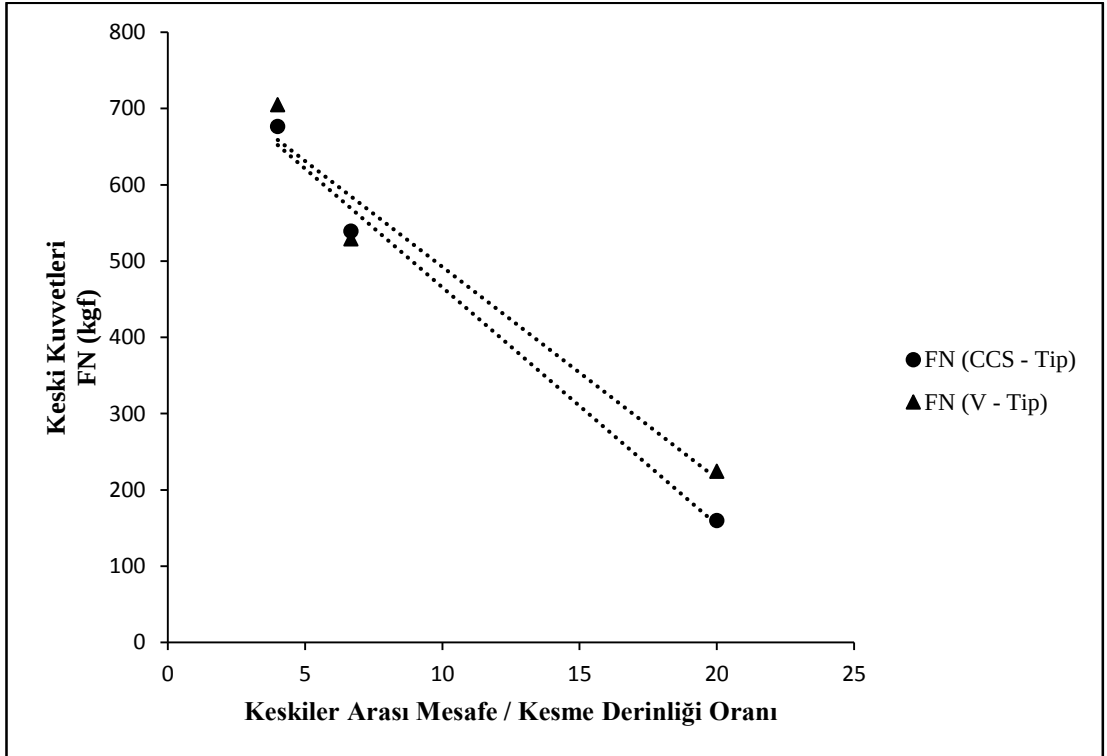
Disk Tipi	d mm	s mm	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	20	20	159.87	392.01	15.65	61.58	5.77
	3	20	6.7	539.55	1071.18	87.95	218.03	4.13
	5	20	4	676.60	1068.27	200.11	379.98	5.77
Disk – 2 (V)	1	20	20	224.59	523.86	49.67	123.14	8.47
	3	20	6.7	529.48	1147.64	116.53	259.45	4.66
	5	20	4	705.06	1721.41	177.84	484.98	5.63

Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM deney sonuçlarına bakıldığında CCS tip ve V tip mini disk keski için keski üzerine etki eden kuvvetlerin birbirlerine yakın değerlerde değiştikleri ve bununla birlikte keski arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak elde edilen optimum spesifik enerji değerinin her iki mini disk keski için aynı kesme derinliğinde elde edildiği görülmektedir. Spesifik enerji değişimine göre optimum keski arası mesafe / kesme derinliği oranı her iki mini disk keski için 3 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir.

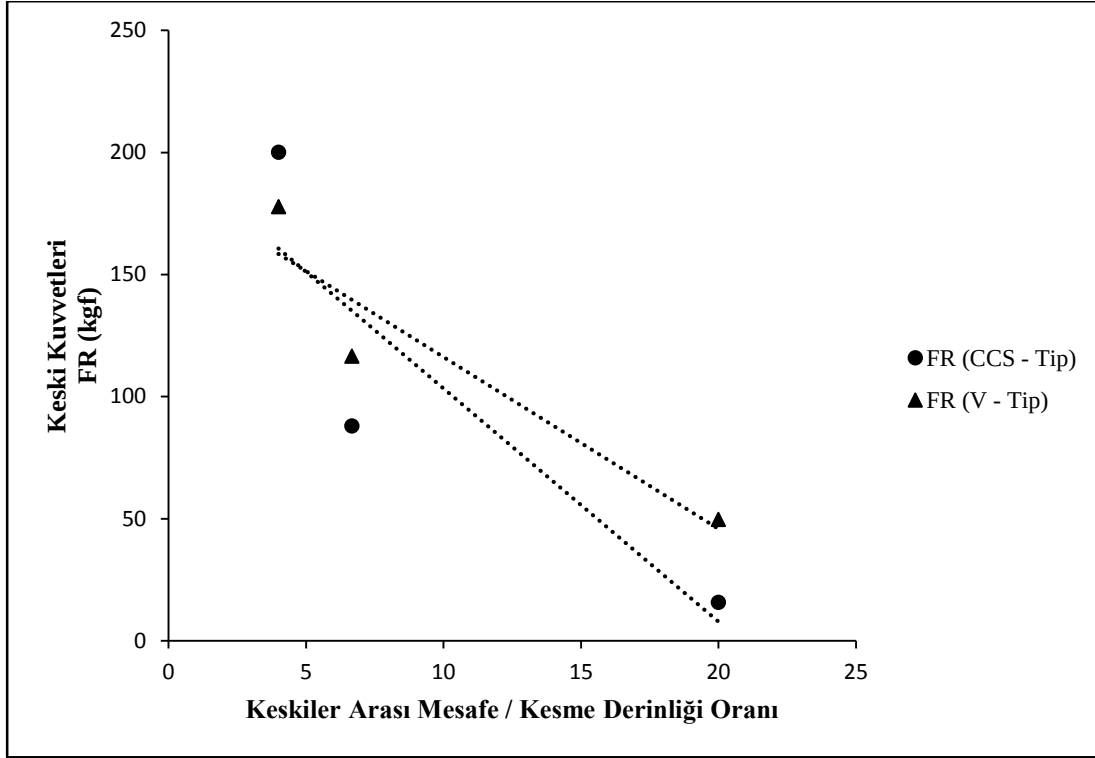
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yardımcı kesme deneyleri için keski arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.99 – 101’ de verilmiştir. Yine yardımcı kesme deneyleri için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.102 – 103’ te verilmiştir.



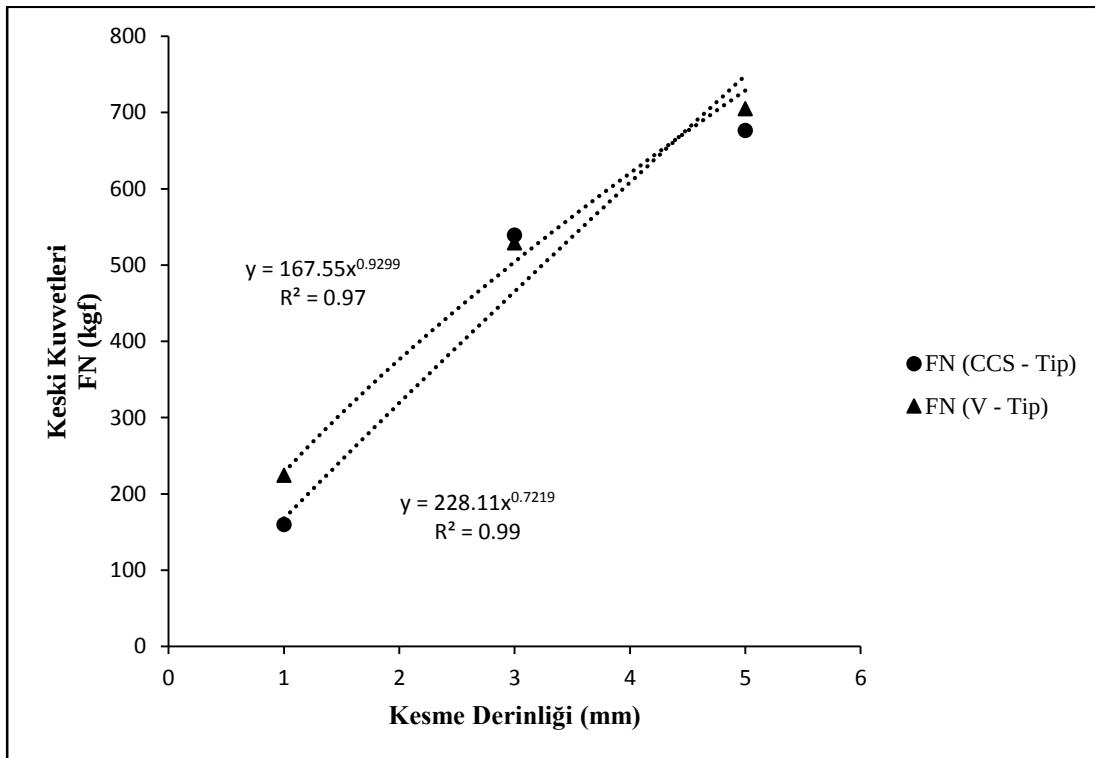
Şekil 4.99 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



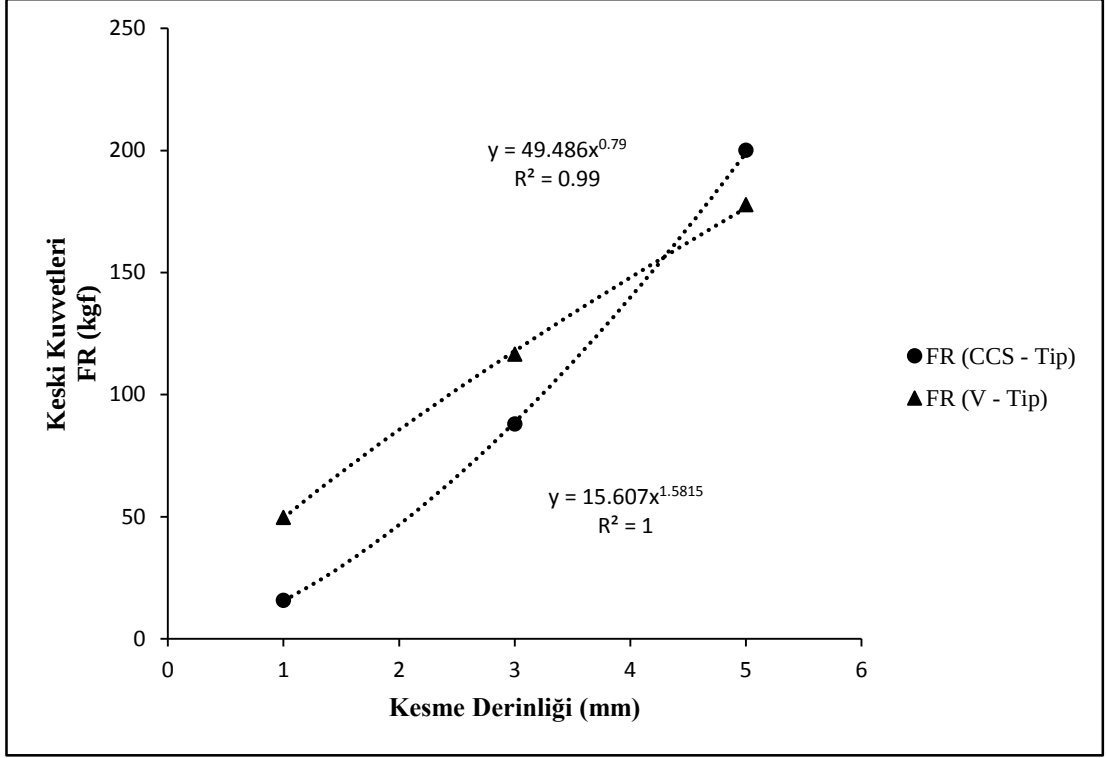
Şekil 4.100 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.101 : Kūfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.102 : Kūfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.103 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.3.7 Kireçtaşı üzerinde yapılan PLCM deneyleri

4.3.7.1 Kireçtaşı üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deney programı

Kireçtaşı numunesi üzerinde taşınabilir doğrusal kaya kesme deney setinde 2 farklı tip mini disk keski kullanılarak kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Kullanılan mini disk keskilerden biri V tipli disk keski diğeri CCS tip disk keskidir. CCS tip disk keski olarak 4 mm disk uç çapına sahip mini disk keski kullanılmıştır.

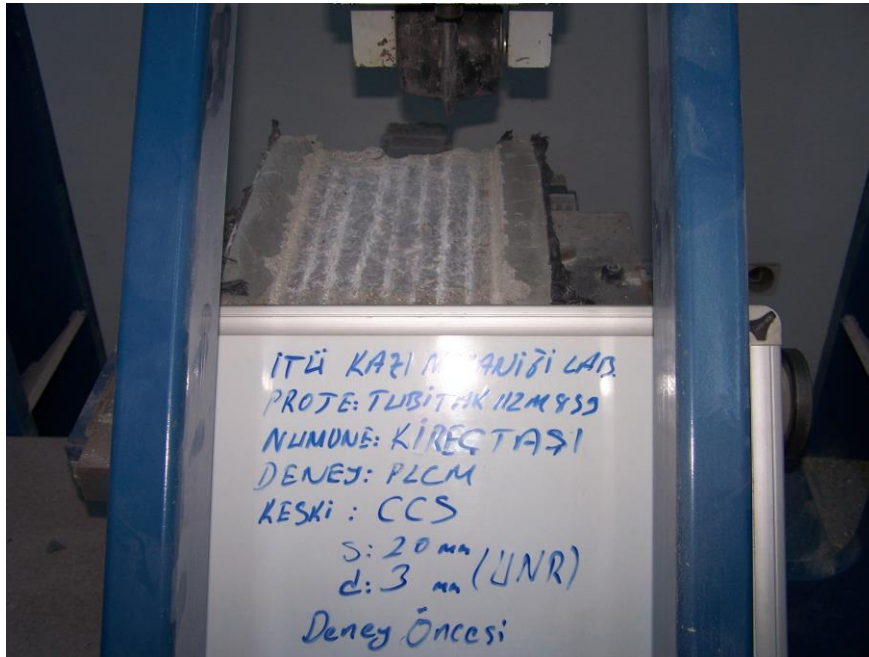
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneylerinde keskiler arası mesafe (s) değeri 20 mm olarak belirlenip kesme derinliği (d) değerleri 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış ve ayarlanan her bir kesme derinliğinde yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı Çizelge 4.37’ da verilmiştir.

Çizelge 4.37 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı.

Numune Adı	Keski Tipi	d mm	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme
				s= 20 mm
Kireçtaşı	Disk – 1 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 2 (V)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓

4.3.7.2 Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları

Kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM deney setinde yapılan yardımsız kaya kesme deneylerinde kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Yardımlı kaya kesme deneylerinde ise 1, 3 ve 5 mm kesme derinliğinde keski arası mesafe 20 mm olarak ayarlandıktan sonra deneyler yapılmıştır (Şekil 4.104). Yapılan bu deneylerde 1 adet mini CCS tip ve 1 adet mini V tip olmak üzere iki farklı disk keski kullanılmıştır. Kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olmak üzere 3 farklı şekilde ayarlandığından tek bir disk keski için en az 9 yardımsız kaya kesme deneyi yapılmıştır ve her bir disk keski için deneyler tekrarlanmıştır. Yapılan yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.38’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.7’ de verilmiştir.



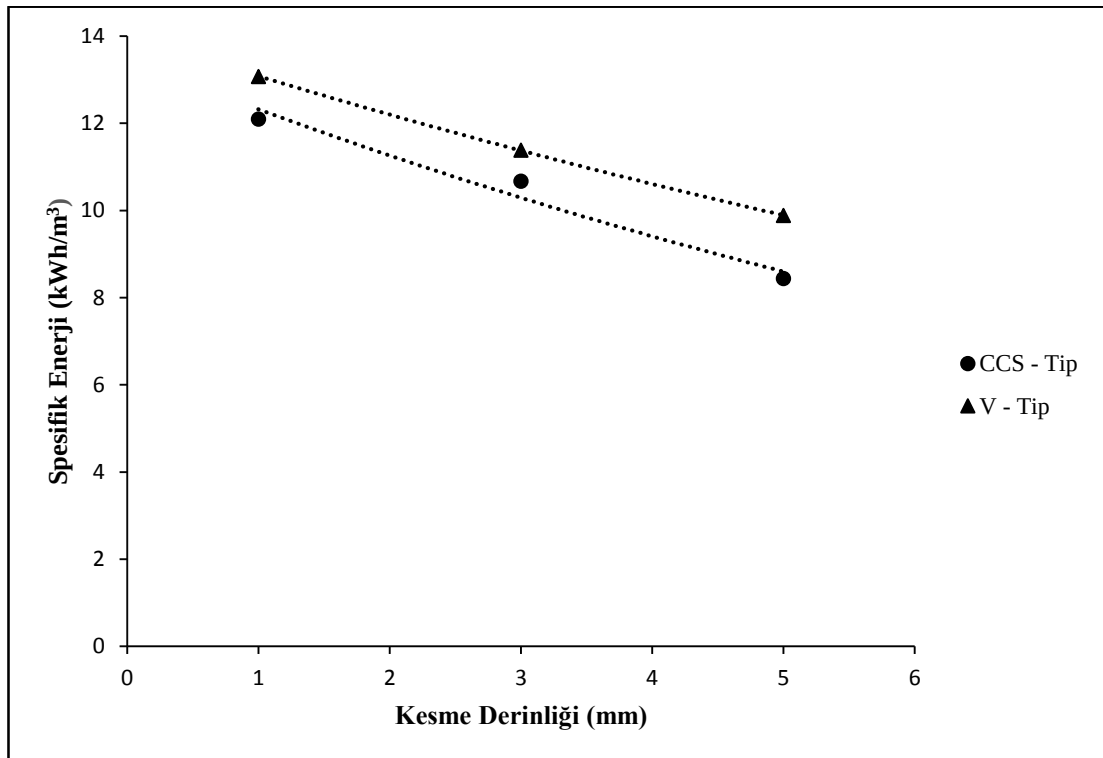
Şekil 4.104 : Kireçtaşı numunesi üzerinde d =3 mm şartlarında yardımsız yapılan PLCM kazı deney öncesi görüntüsü.

Çizelge 4.38 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.

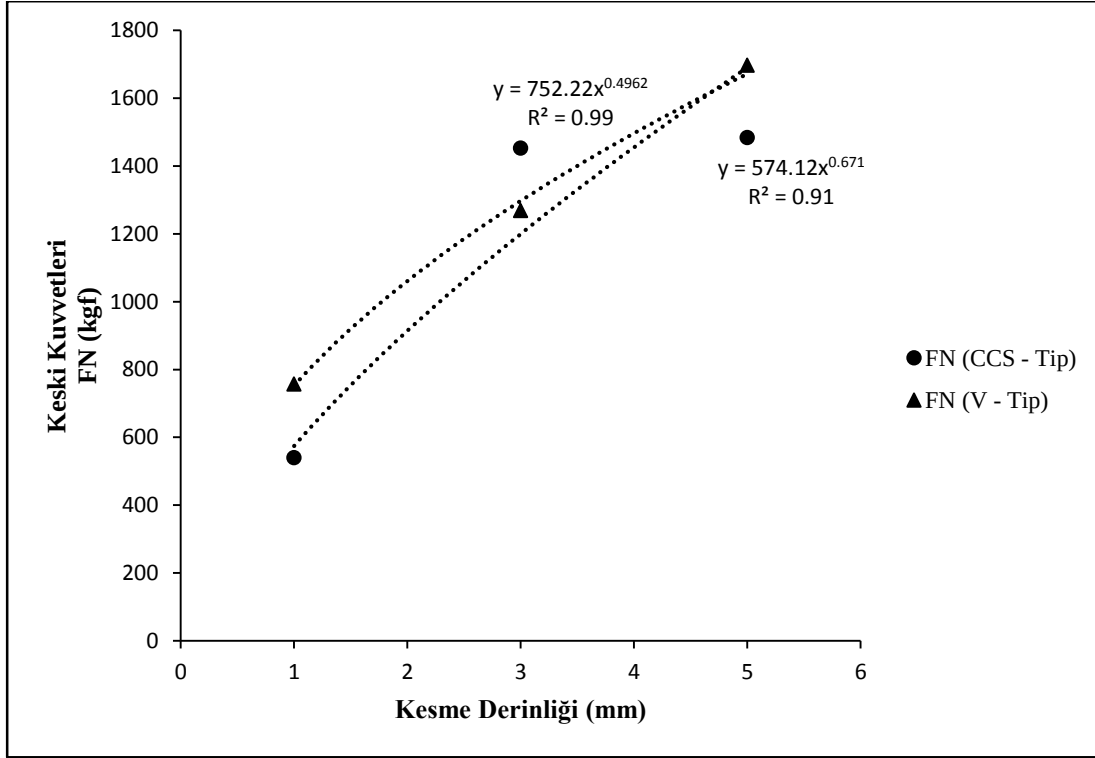
Disk Tipi	d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	540.33	1246.00	57.01	156.72	12.10
	3	1452.59	2604.88	277.93	546.62	10.68
	5	1483.78	2835.81	347.92	797.15	8.44
Disk – 2 (V)	1	757.52	1539.49	96.22	213.84	13.08
	3	1269.10	2583.81	248.07	552.07	11.39
	5	1697.31	3039.76	499.12	1009.24	9.88

Kireçtaşı numunesi üzerinde yardımsız yapılan PLCM deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.105 – 107’ de verilmiştir.

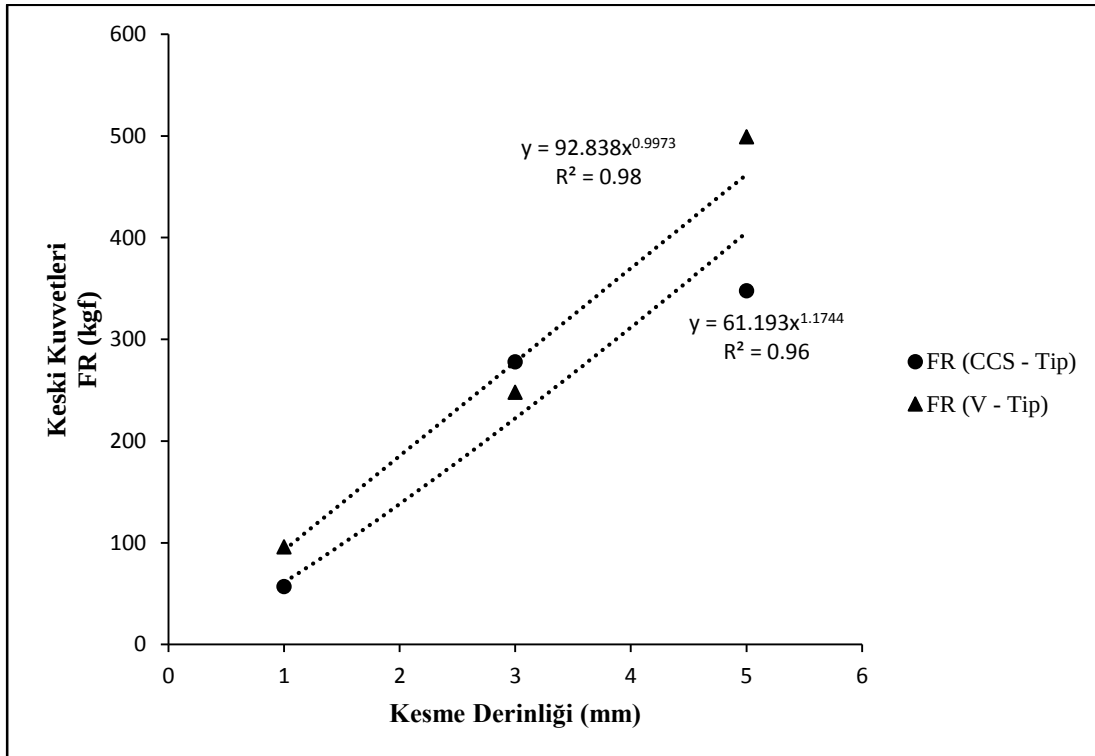
İlgili grafiklere bakıldığında aynı kesme derinliği değerlerinde V tip mini disk keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvet değerlerinin CCS tip mini disk üzerine etki eden kuvvet değerlerinden fazla olduğu buna bağlı olarak V tip mini disk keski için spesifik enerji değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.105 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.106 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.107 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

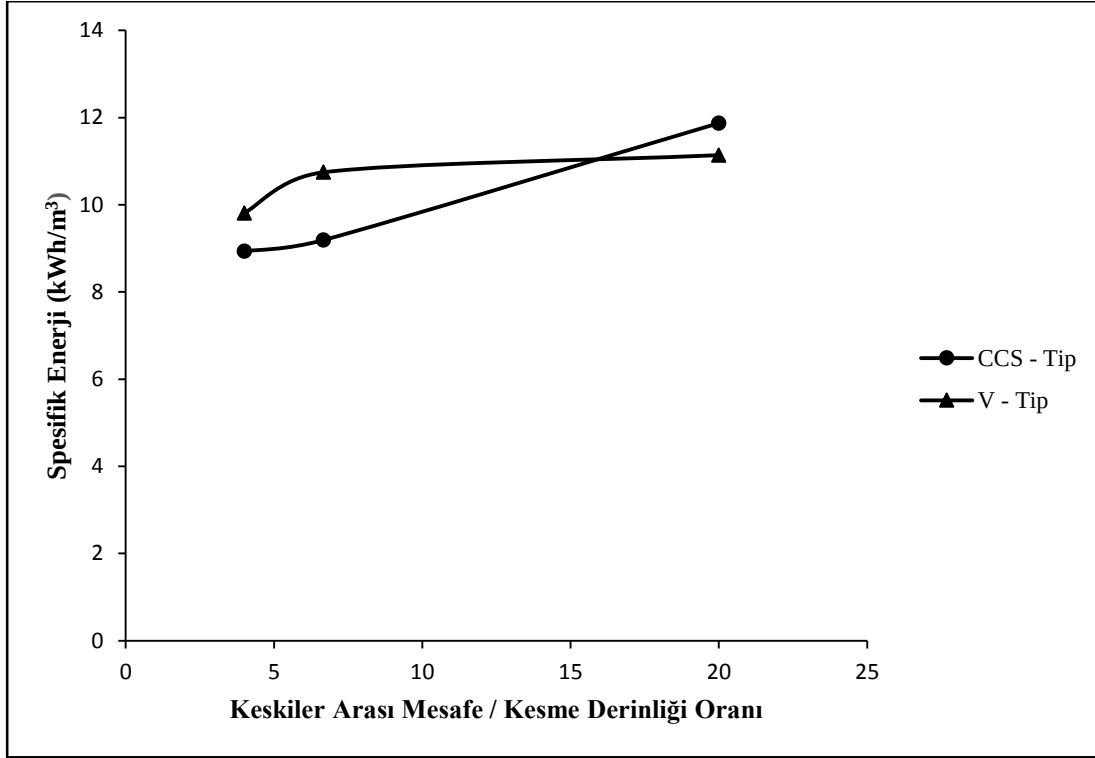
Kireçtaşı numunesi üzerinde keski arası mesafe 20 mm ayarlandıktan sonra 1, 3 ve 5 mm kesme derinliklerinde yapılan yardımcı kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.39’ da, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.8’ de verilmiştir.

Çizelge 4.39 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

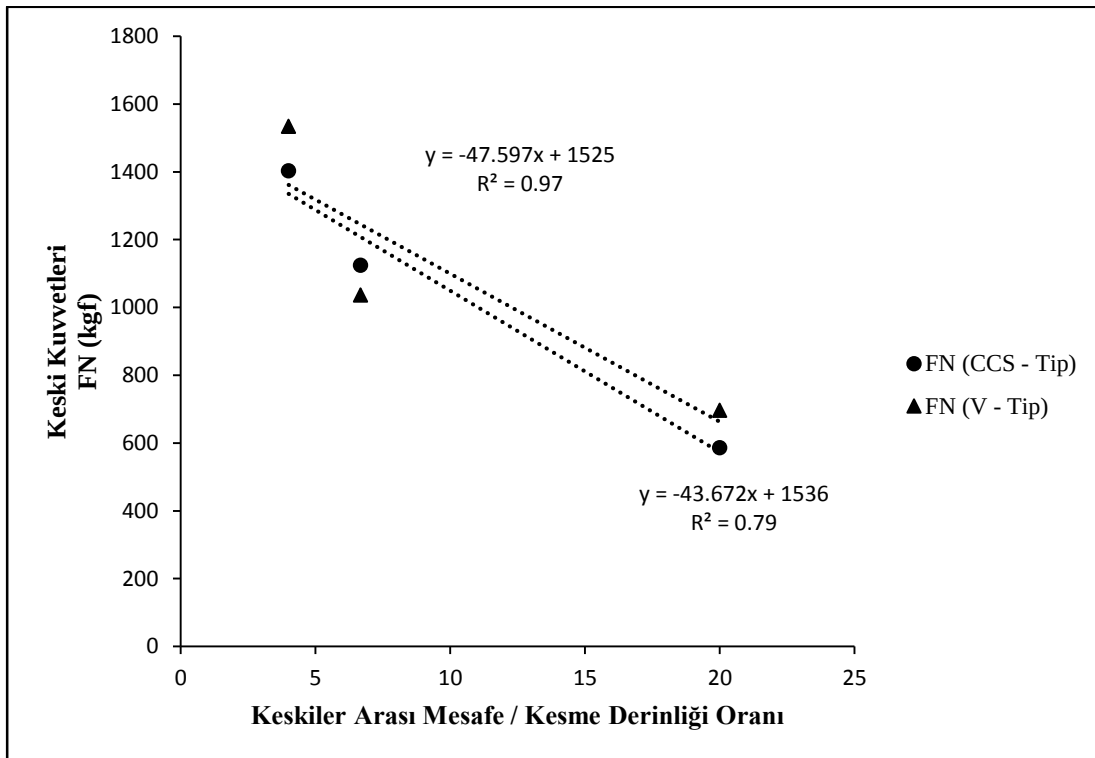
Disk Tipi	d mm	s mm	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	20	20	586.88	1203.75	65.07	183.46	11.87
	3	20	6.7	1125.10	2085.59	180.57	401.95	9.19
	5	20	4	1403.52	2688.61	333.15	711.30	8.94
Disk – 2 (V)	1	20	20	697.27	1278.08	87.67	162.76	11.14
	3	20	6.7	1036.58	2077.14	201.53	463.67	10.75
	5	20	4	1534.87	2464.11	493.68	907.18	9.81

Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM deney sonuçlarına bakıldığında her iki mini disk keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvet değerlerinin birbirine yakın olduğu ve bunun sonucunda her iki mini disk keski için keski arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak elde edilen optimum spesifik enerji değerinin aynı kesme derinliğinde (5 mm) elde edildiği görülmektedir.

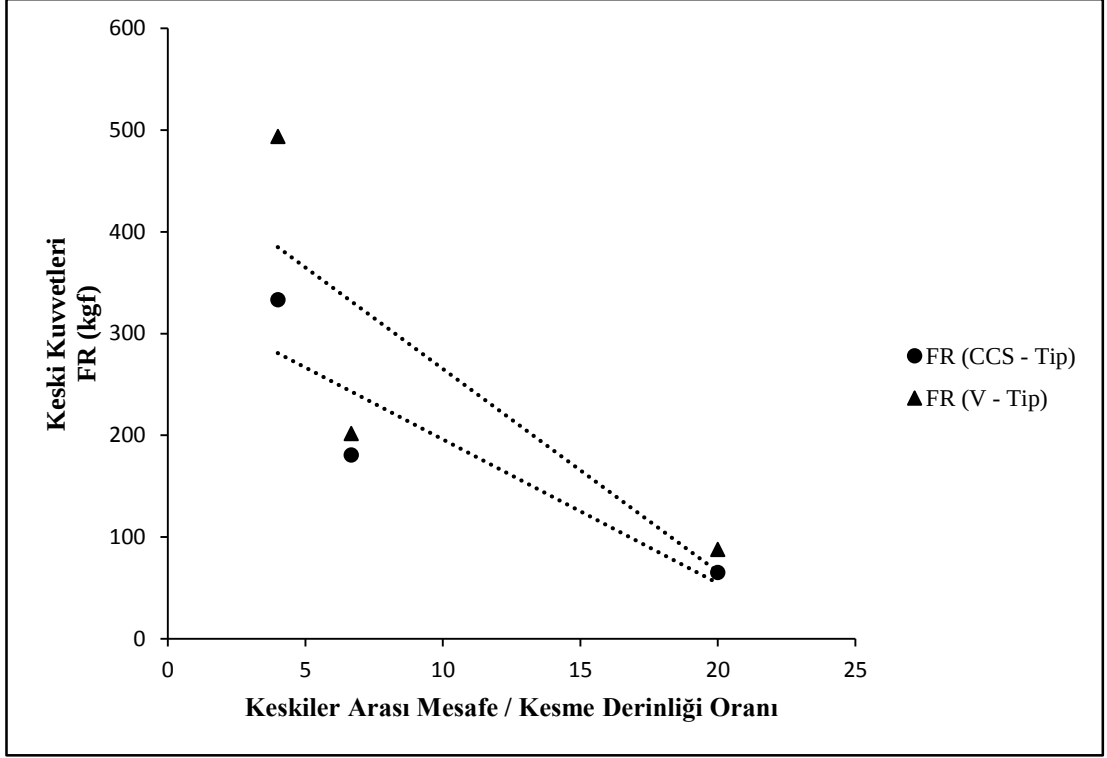
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yardımcı kesme deneyleri için keski arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.108 – 110’ da verilmiştir. Yine yardımcı kesme deneyleri için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.111 – 112’ de verilmiştir.



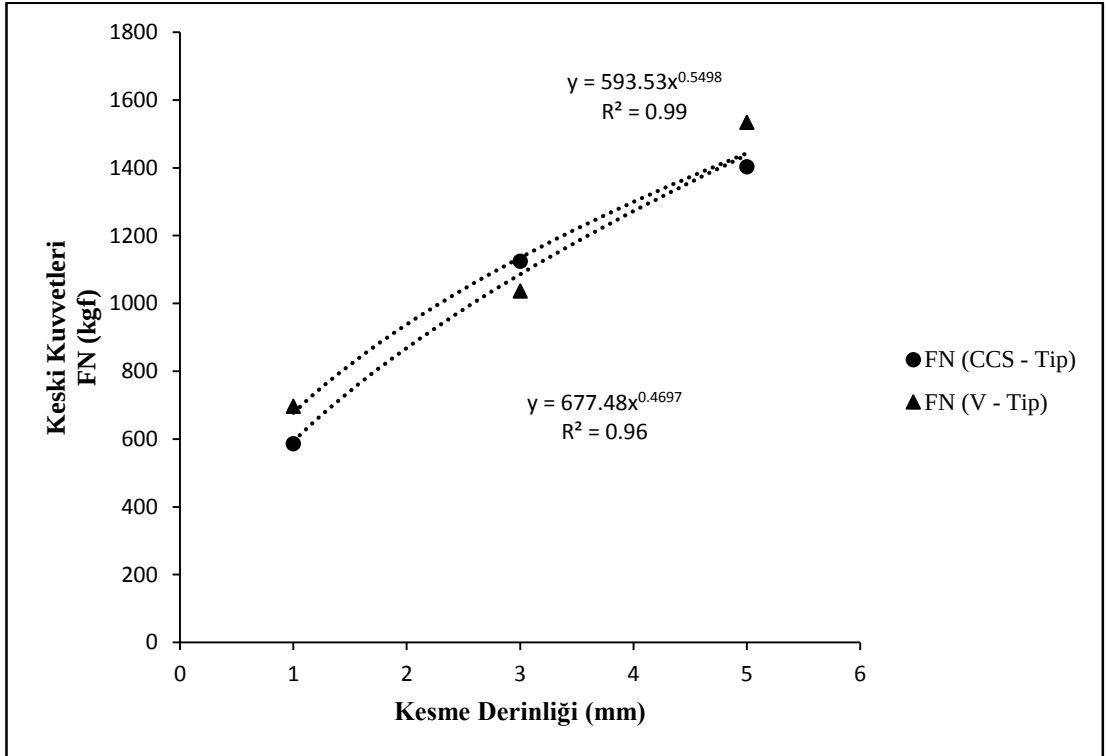
Şekil 4.108 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



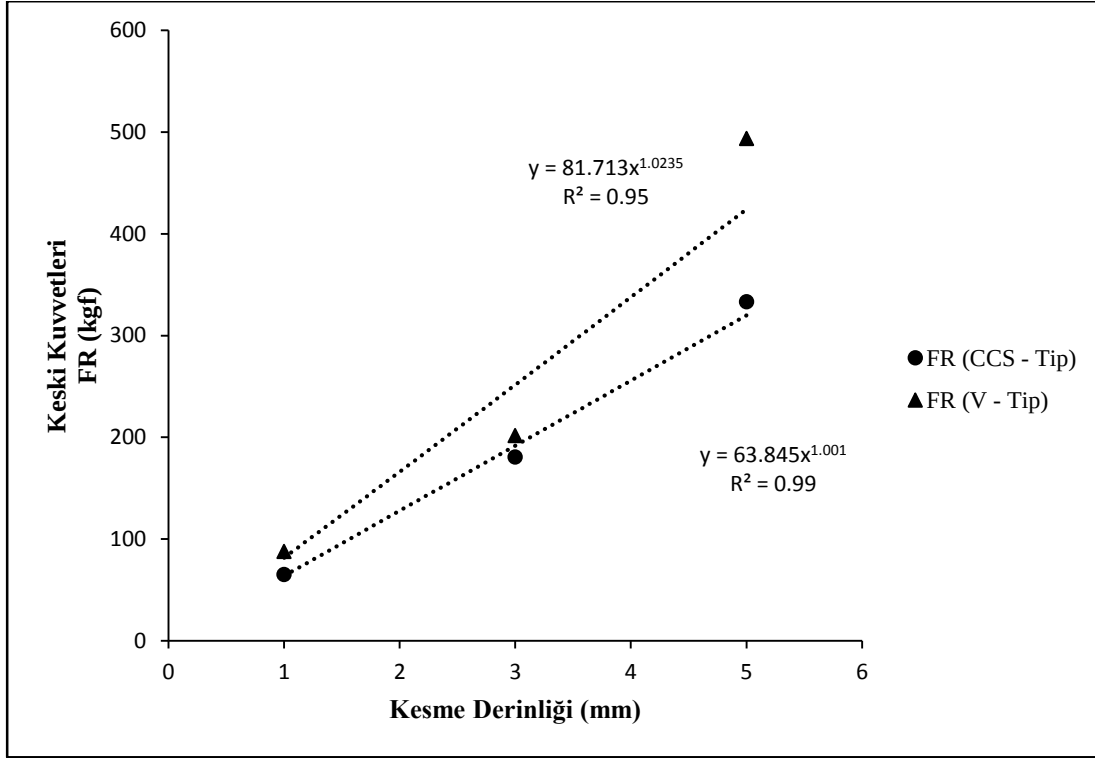
Şekil 4.109 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.110 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.111 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.112 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.3.8 Kumtaşı üzerinde yapılan PLCM deneyleri

4.3.8.1 Kumtaşı üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deney programı

Kumtaşı numunesi üzerinde taşınabilir doğrusal kaya kesme deney setinde V tipli ve CCS tipli olmak üzere 2 farklı tip mini disk keski kullanılarak kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Kullanılan mini disk keski 13 cm disk çapına sahip olup, CCS tip disk keski 4 mm disk uç çapına sahiptir.

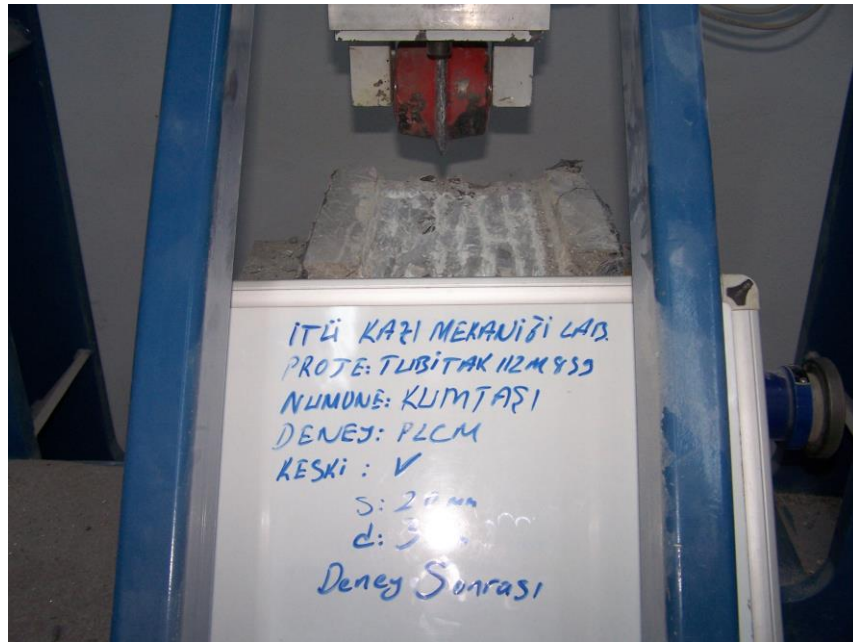
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneylerinde keski arası mesafe (s) değeri 20 mm olarak belirlenip kesme derinliği (d) değerleri 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış ve ayarlanan her bir kesme derinliğinde yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı Çizelge 4.40’ da verilmiştir.

Çizelge 4.40 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı.

Numune Adı	Keski Tipi	d mm	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme
				s= 20 mm
Kumtaşı	Disk – 1 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 2 (V)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓

4.3.8.2 Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları

Kumtaşı numunesi üzerinde PLCM deney setinde yapılan yardımsız kaya kesme deneylerinde kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Yardımlı kaya kesme deneylerinde ise 1, 3 ve 5 mm kesme derinliğinde keski arası mesafe 20 mm olarak ayarlandıktan sonra deneyler yapılmıştır (Şekil 4.113). Yapılan bu deneylerde 1 adet mini CCS tip ve 1 adet mini V tip olmak üzere iki farklı mini disk keski kullanılmıştır. Kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olmak üzere 3 farklı şekilde ayarlandığından tek bir disk keski için en az 9 yardımsız kaya kesme deneyi yapılmış ve her bir disk keski için deneyler tekrarlanmıştır. Yapılan yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.41’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.9’ da verilmiştir.



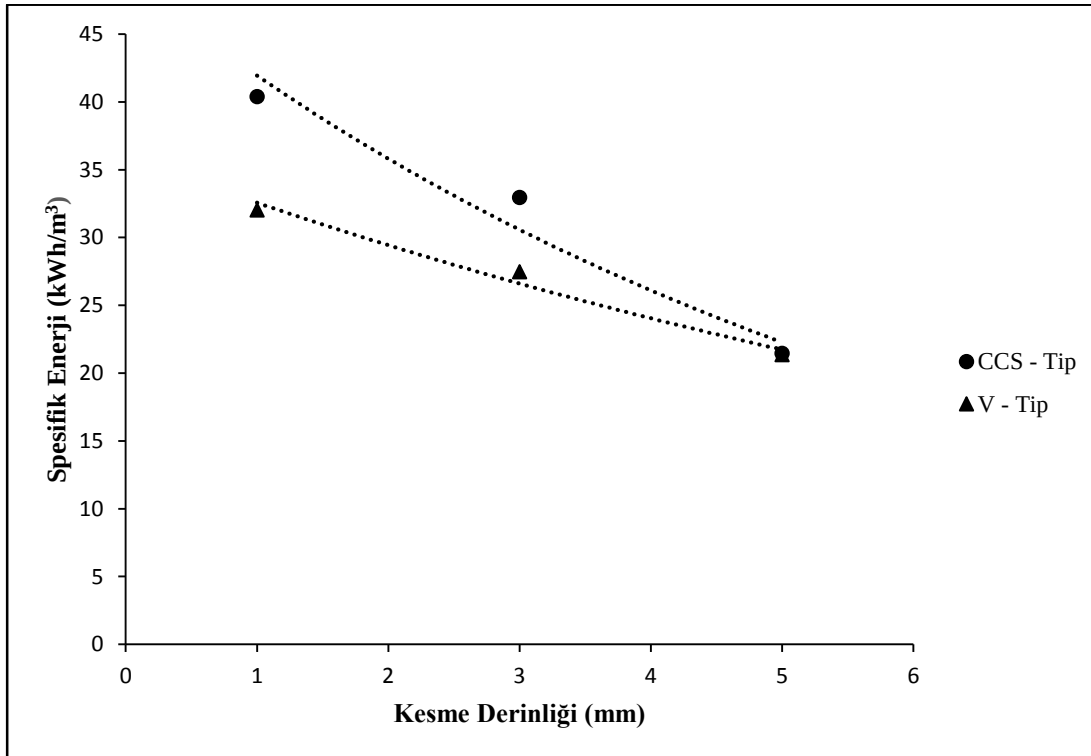
Şekil 4.113 : Kumtaşı numunesi üzerinde d =3 mm şartlarında yardımlı yapılan PLCM kazı deney sonrası görüntüsü.

Çizelge 4.41 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.

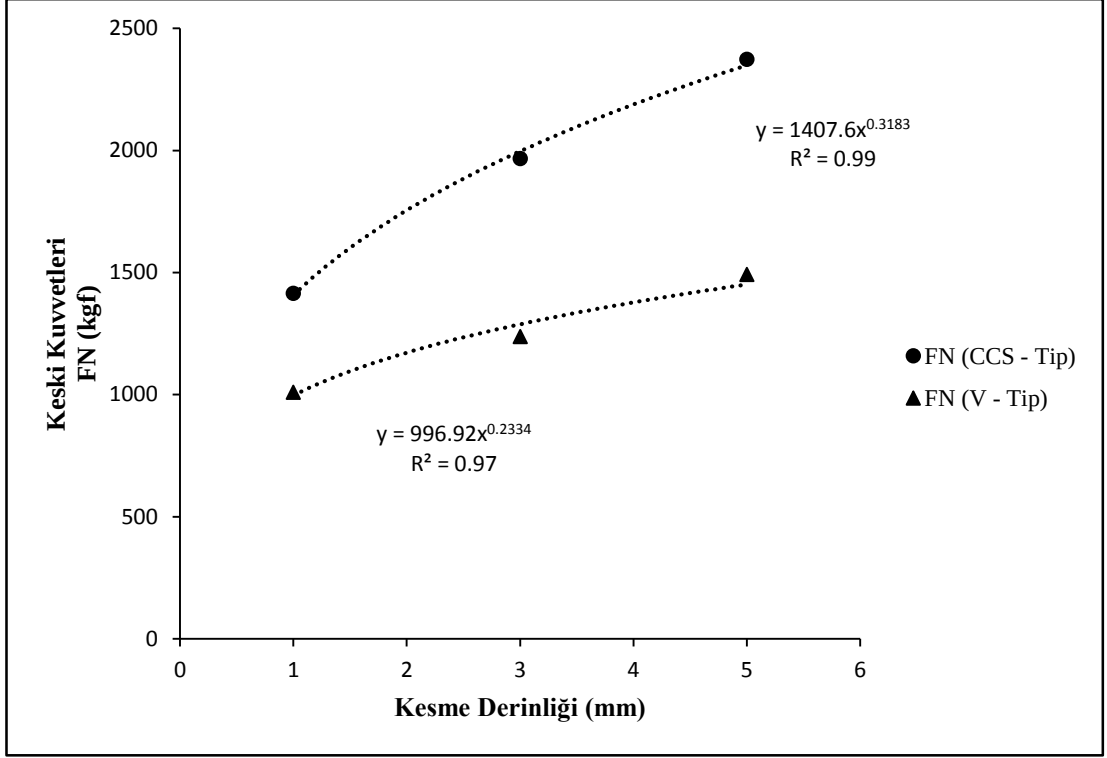
Disk Tipi	d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	1414.29	2998.41	175.82	440.39	40.40
	3	1967.20	3624.07	431.25	924.09	32.96
	5	2373.67	3565.13	658.32	1084.34	21.46
Disk – 2 (V)	1	1009.67	1804.76	157.79	332.19	32.04
	3	1237.72	2733.61	325.10	889.94	27.48
	5	1491.55	2608.55	404.25	884.57	21.38

Kumtaşı numunesi üzerinde yardımsız yapılan PLCM deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.114 – 116’ da verilmiştir.

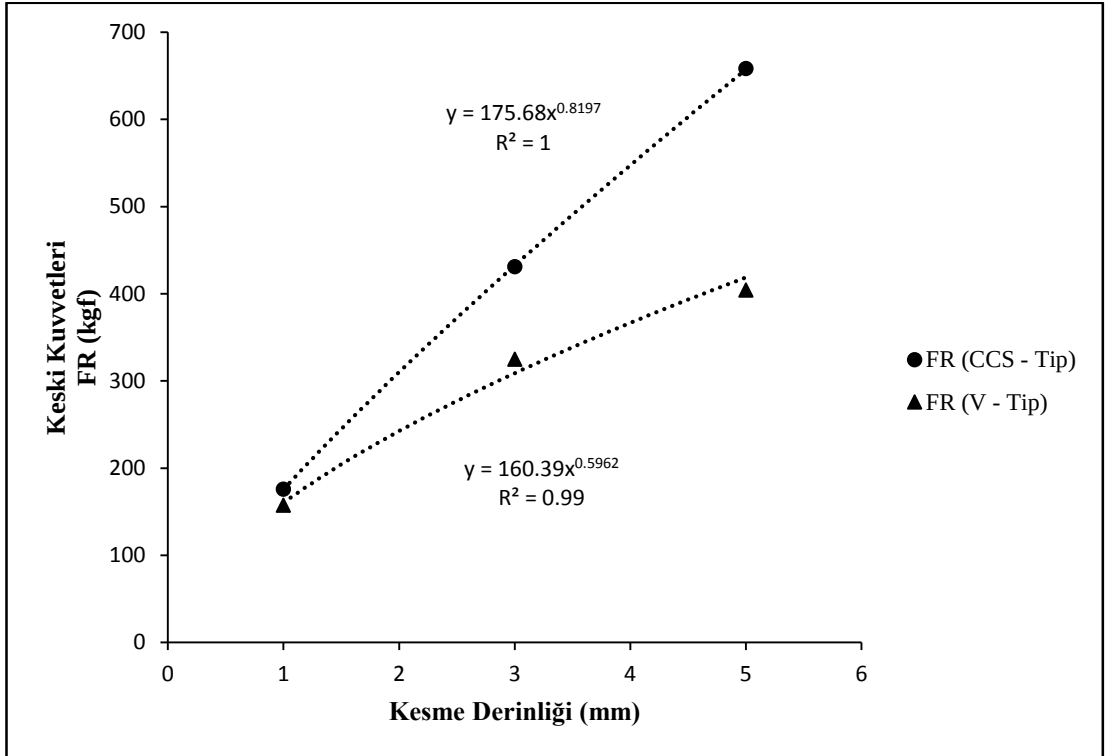
İlgili grafiklere bakıldığında aynı kesme derinliği değerlerinde CCS tip mini disk keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvet değerlerinin V tip mini disk üzerine etki eden kuvvet değerlerinden fazla olduğu buna bağlı olarak CCS tip mini disk keski için spesifik enerji değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.114 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.115 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.116 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

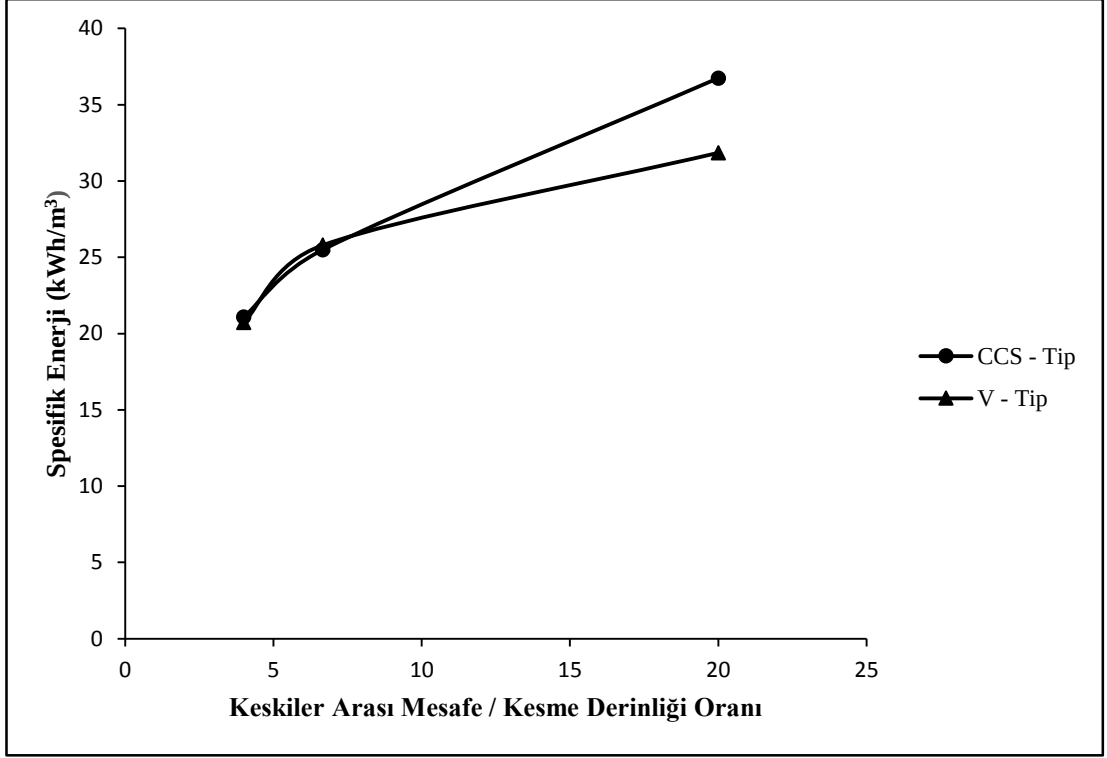
Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı kaya kesme deneyleri için keskiler arası mesafe 20 mm olarak ayarlanıp 1, 3 ve 5 mm kesme derinliklerinde deneyler yapılmıştır. Yardımlı PLCM deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.42’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.10’ da verilmiştir.

Çizelge 4.42 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

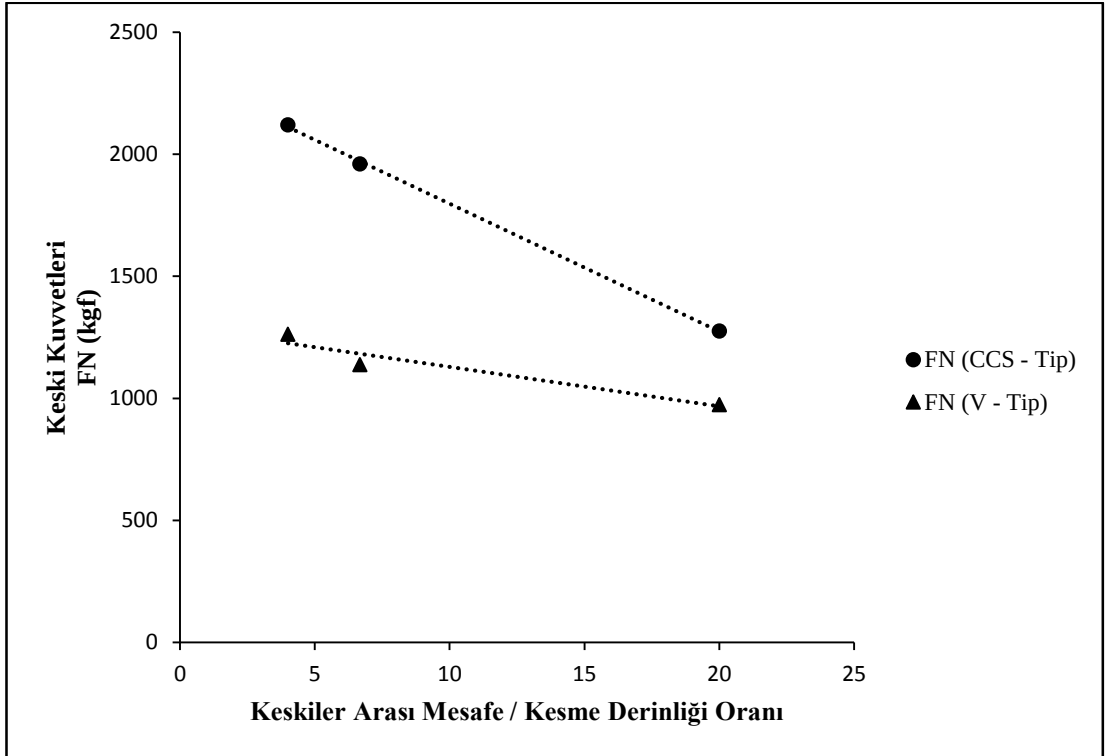
Disk Tipi	d mm	s mm	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	20	20	1276.18	2330.75	163.75	362.35	36.75
	3	20	6.7	1961.51	3578.66	414.98	1032.89	25.50
	5	20	4	2120.39	3313.36	518.81	992.71	21.07
Disk – 2 (V)	1	20	20	975.11	1777.17	138.19	269.36	31.85
	3	20	6.7	1138.35	2598.14	279.62	771.31	25.80
	5	20	4	1263.76	2074.33	317.19	620.29	20.72

Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM deney sonuçlarına bakıldığında her iki mini disk keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvet değerlerinin birbirine yakın olduğu ve bunun sonucunda her iki mini disk keski için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak elde edilen optimum spesifik enerji değerinin 5 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmektedir.

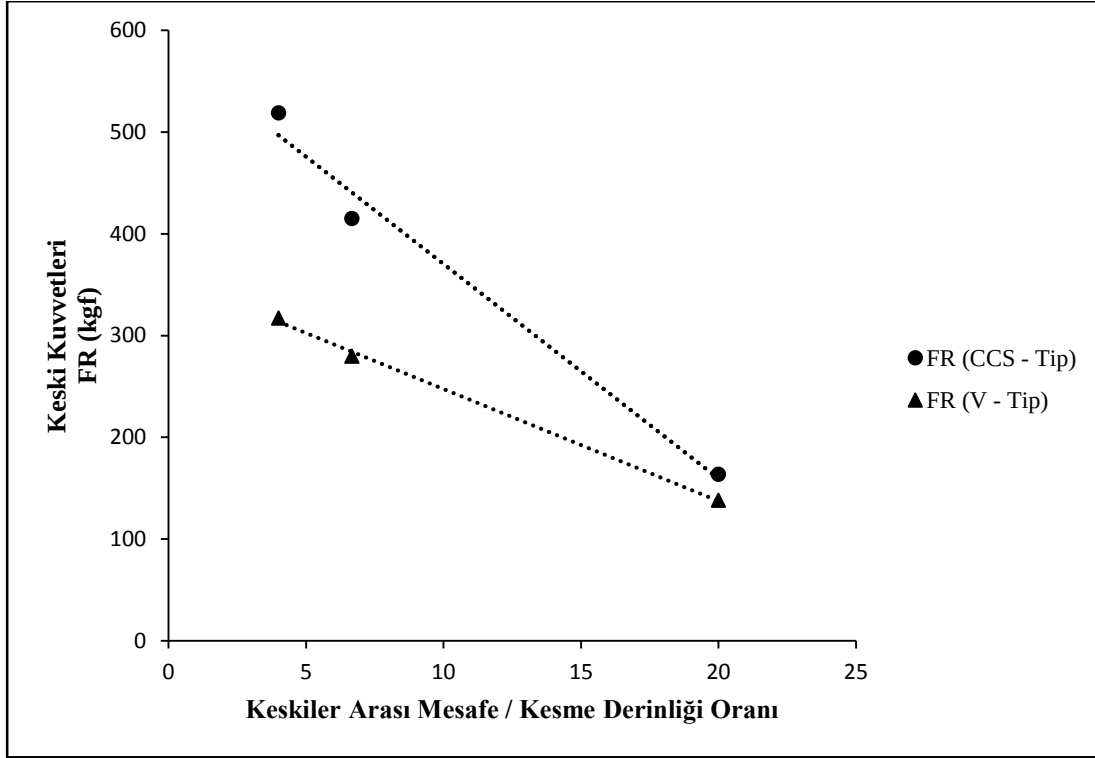
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yardımcı kesme deneyleri için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.117 – 119’ da verilmiştir. Yine yardımcı kesme deneyleri için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.120 – 122’ de verilmiştir.



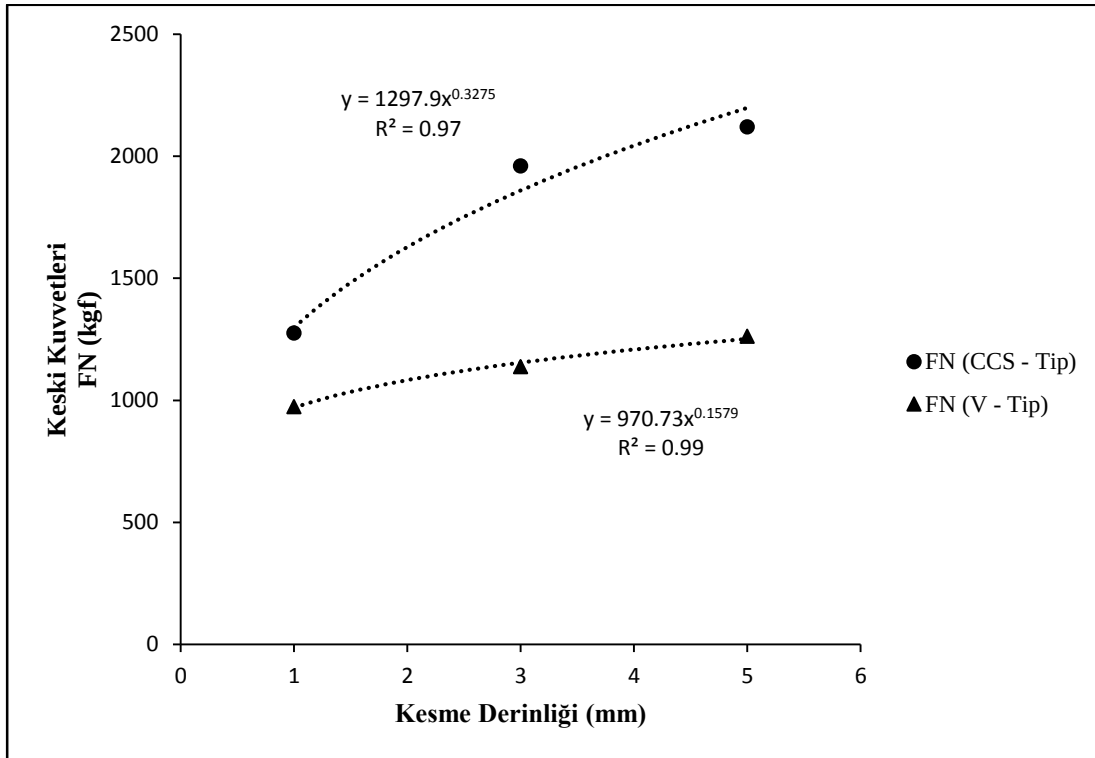
Şekil 4.117 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



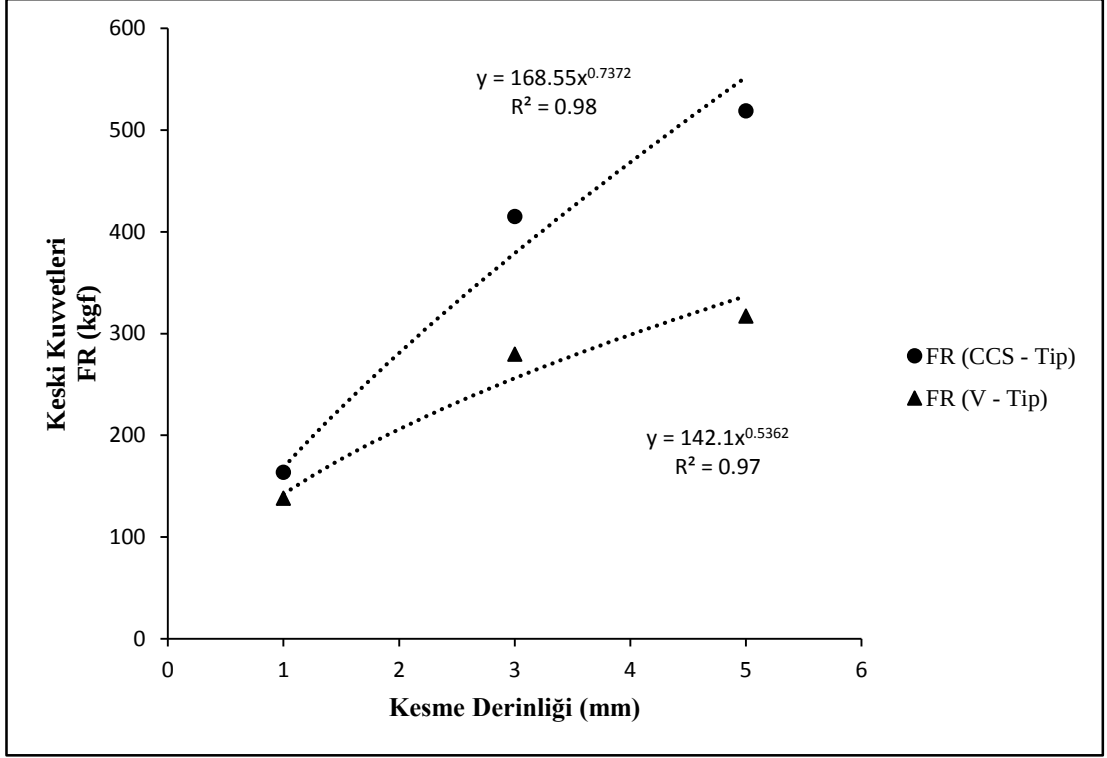
Şekil 4.118 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.119 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.120 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.121 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.4 Arazi Numuneleri Üzerinde Yapılan PLCM Deneyleri

Bu kısımda Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy (ÜÜÇ) metro hattı TBM kazısı sırasında alınan 5 farklı numune üzerinde yeni geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney setinde (PLCM) yapılan kaya kesme deneylerinin sonuçları verilmiştir. Araziden alınan 5 farklı numune üzerinde PLCM deneyleri yardımcı ve yardımcı kaya kesme deneyleri olarak yapılmıştır. Yardımsız yapılan kaya kesme deneylerinde kesme derinliği değerleri kireçtaşı (A), Çamurtaşı, altere kireçtaşı ve konglomera numuneleri için 1, 3 ve 5 mm olarak seçilmişken, Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılacak kaya kesme deneylerinde keski üzerine gelecek kuvvet değerlerinin daha fazla olacağı düşünülerek kesme derinliği değerleri düşürülmüş ve bu değerler 1, 2 ve 3 mm olarak alınmıştır. Yardımlı yapılan kaya kesme deneylerinde ise her bir kayaç için belirlenen kesme derinliği değerlerinde keski arası mesafe (s) değeri 20 mm olarak ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Araziden alınan 5 farklı kaya numunesi üzerinde yapılan PLCM deney programı özet şeklinde Çizelge 4.43’ te verilmiştir.

Çizelge 4.43 : Arazi numuneleri üzerinde yapılan PLCM deney programı.

Numune Adı	Keski Tipi	d mm	Yardımsız Kesme	Yardımlı Kesme
				s= 20 mm
Kireçtaşı (A)	Disk – 1 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 2 (V)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
Çamurtaşı	Disk – 1 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 2 (V)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
Altere Kireçtaşı	Disk – 1 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 2 (V)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
Konglomera	Disk – 1 (CCS)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
	Disk – 2 (V)	1	✓	✓
		3	✓	✓
		5	✓	✓
Diyabaz	Disk – 1 (CCS)	1	✓	✓
		2	✓	✓
		3	✓	✓
	Disk – 2 (V)	1	✓	✓
		2	✓	✓
		3	✓	✓

4.4.1 Kireçtaşı (A) üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları

Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde 1 adet mini CCS tip ve 1 adet mini V tip olmak üzere iki farklı disk keski kullanılarak yardımlı ve yardımsız PLCM deneyleri yapılmıştır. Yapılan yardımsız deneyler için kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış olup tek bir keski için her bir kesme derinliğinde en az 3 kaya kesme deneyi yapılarak

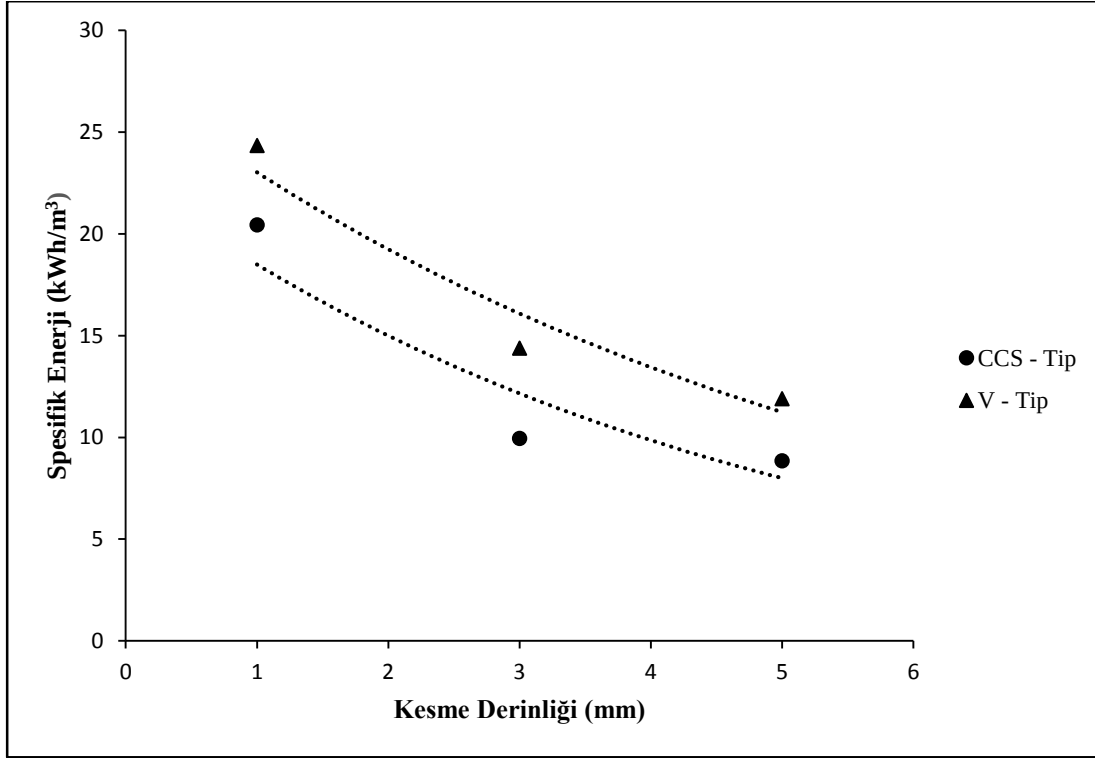
veriler elde edilmiştir. Kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olmak üzere 3 farklı şekilde ayarlandığından tek bir disk keski için en az 9 yardımsız kaya kesme deneyi yapılmıştır. Yapılan yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.44’ te, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.11’ de verilmiştir.

Çizelge 4.44 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deney sonuçları.

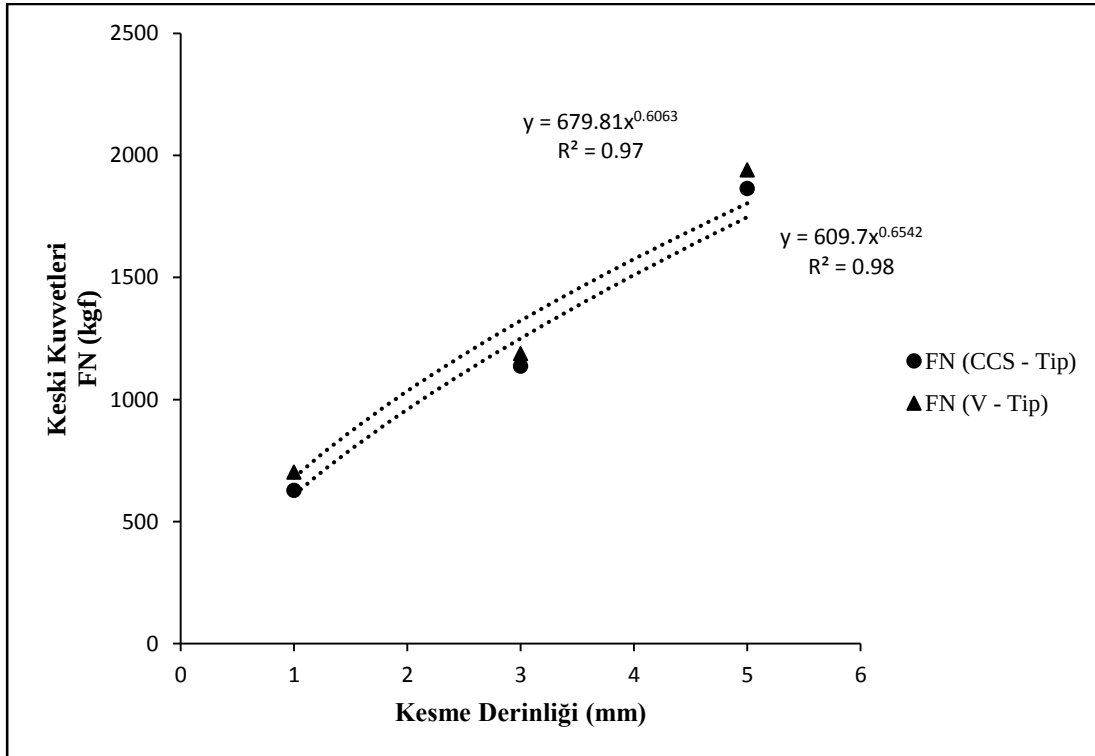
Disk Tipi	d (mm)	FN (kgf)	F’N (kgf)	FR (kgf)	F’R (kgf)	SE (kWh/m³)
Disk – 1 (CCS)	1	628.51	1672.40	87.15	267.74	20.45
	3	1136.85	2083.35	206.32	480.90	9.95
	5	1865.48	3603.11	464.51	1102.85	8.84
Disk – 2 (V)	1	703.38	1642.29	100.74	268.04	24.35
	3	1188.50	2379.91	256.72	650.94	14.39
	5	1940.80	3841.89	606.73	1431.81	11.89

Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yardımsız yapılan PLCM deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.122 – 124’ te verilmiştir.

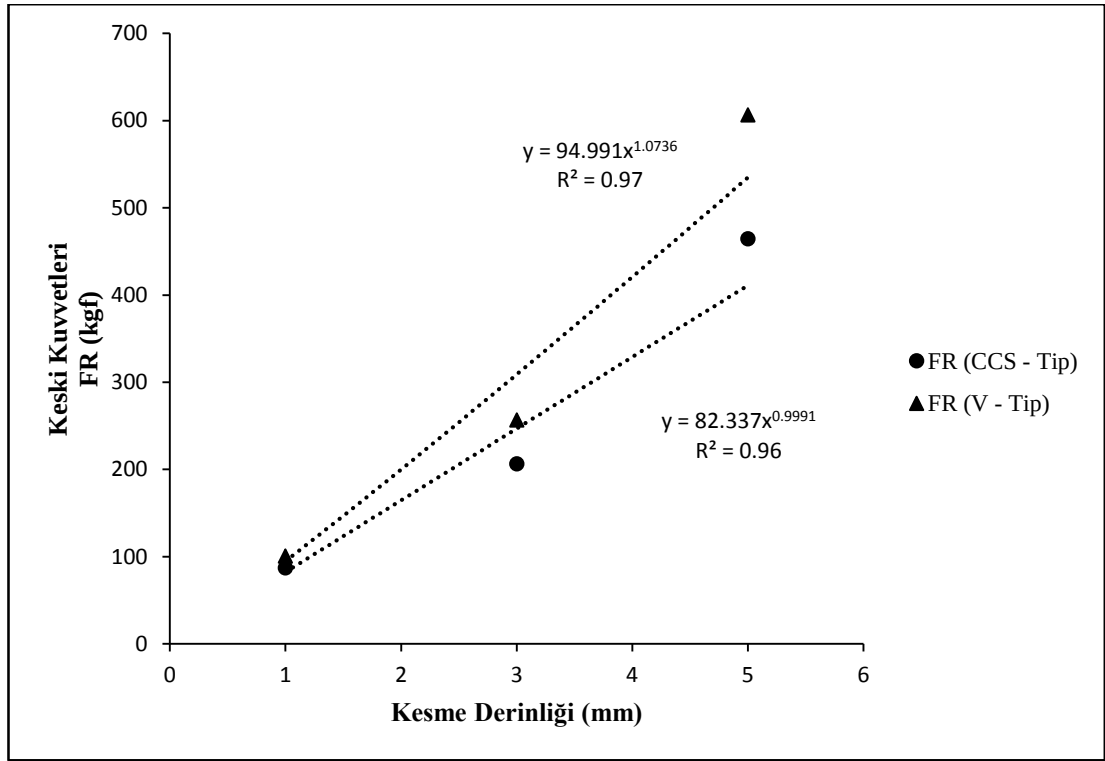
İlgili grafiklere bakıldığında mini CCS tip (disk 1) ve mini V tip (disk 2) disk keskiler için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji değerlerinin ve keskiler üzerine etki eden kuvvet değerlerinin birbirine yakın oranlarda değiştiği fakat V tip disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin daha fazla olmasına rağmen spesifik enerji değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, kaya söküm açısının V tip disk keskide daha düşük olmasına bağlı olarak kazı veriminin yani pasa miktarının daha az olması gösterilebilir.



Şekil 4.122 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.123 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.124 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde CCS tip ve V tip mini disk keski kullanılarak yapılan yardımsız kaya kesme deneyleriyle birlikte keski arası mesafe 20 mm ayarlandıktan sonra, 1, 3 ve 5 mm kesme derinliklerinde yardımcı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.45’ te, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.12’ de verilmiştir.

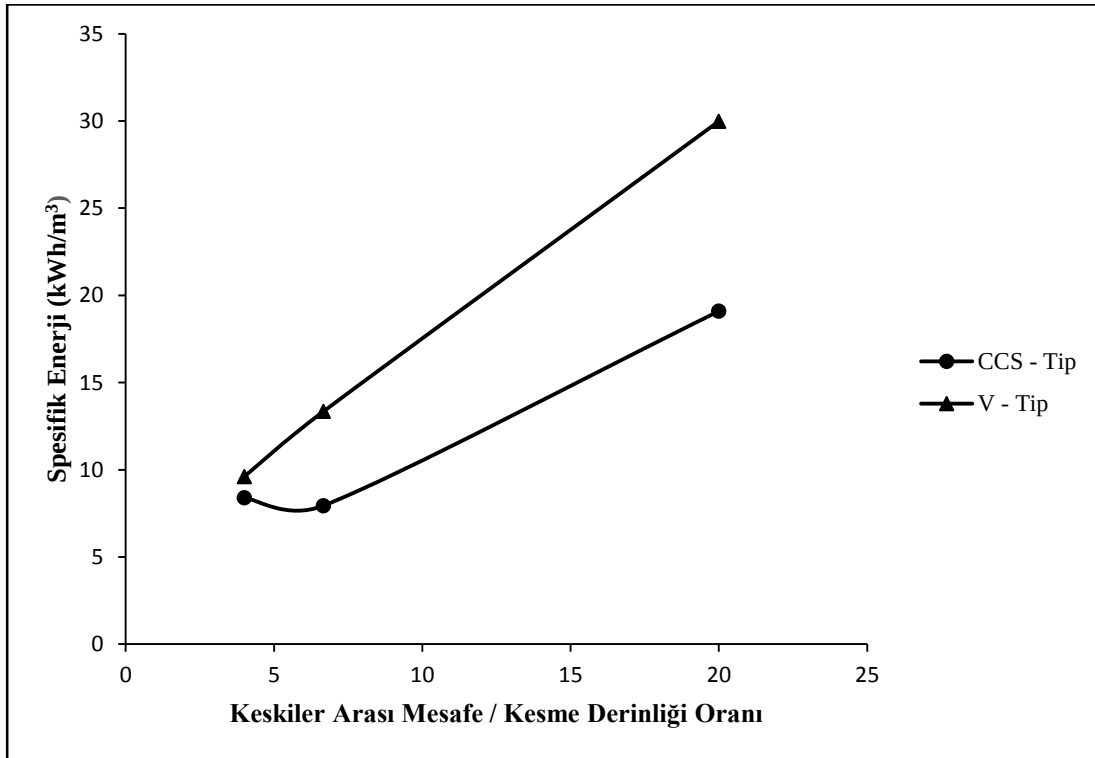
Çizelge 4.45 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

Disk Tipi	d mm	s mm	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	20	20	736.64	1718.59	81.72	215.09	19.10
	3	20	6.7	1112.73	2073.20	190.70	432.68	7.94
	5	20	4	1233.18	2546.56	263.31	737.81	8.40
Disk – 2 (V)	1	20	20	611.22	1246.52	77.37	172.38	29.99
	3	20	6.7	938.16	1899.37	203.33	546.97	13.34
	5	20	4	1507.53	3039.80	413.63	1166.31	9.61

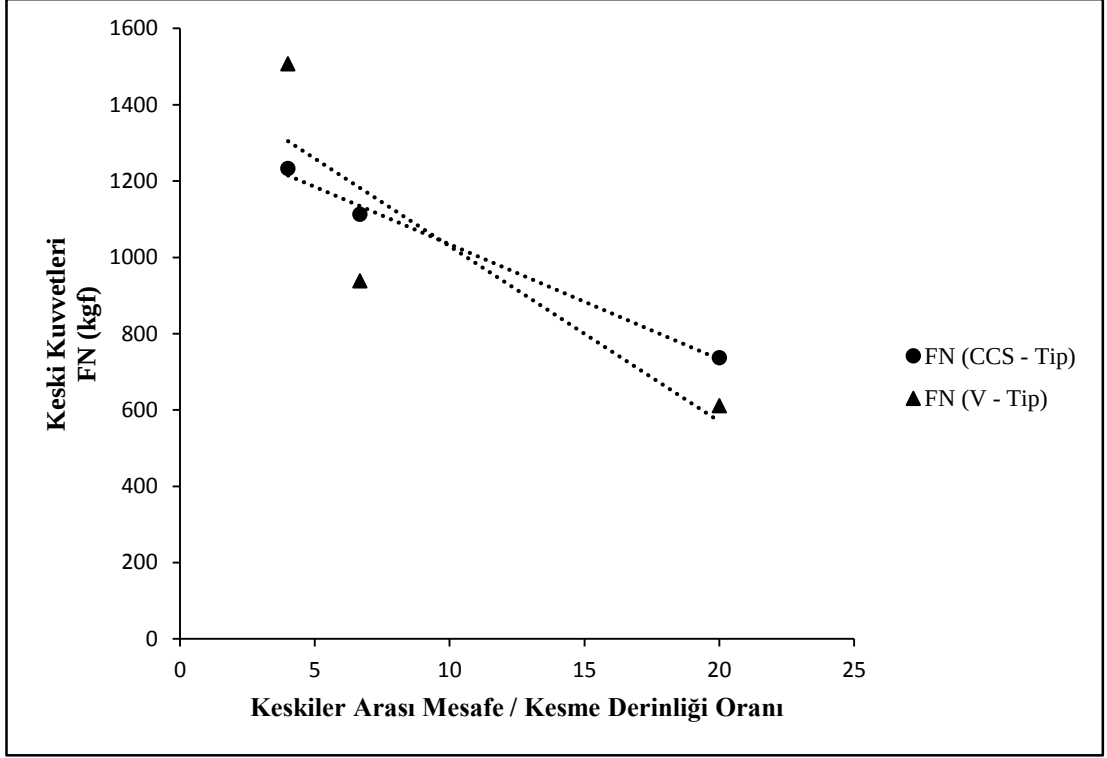
Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM deney sonuçlarına bakıldığında CCS tip mini disk keski kullanılarak yapılan yardımcı kaya kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerlerinin V tip mini disk keski kullanılarak elde edilen spesifik enerji değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Bunun disk

keski tasarım parametrelerinin farklılık göstermesinden kaynaklandığı kesindir. Ayrıca bu farklılıklardan dolayı optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı değerinin CCS tip mini disk keski için 3 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülürken bu değer V tip mini disk keski için 5 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir.

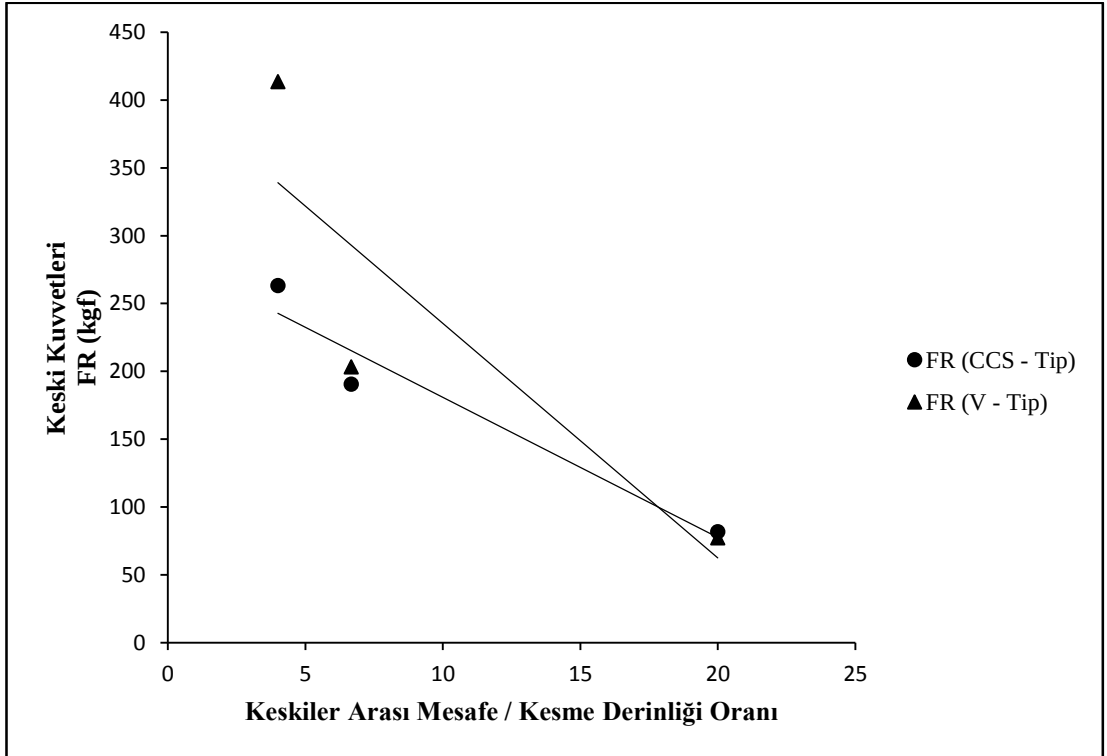
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yardımcı kesme deneyleri için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.125 – 127’ de verilmiştir. Yine yardımcı kesme deneyleri için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.128 – 129’ da verilmiştir.



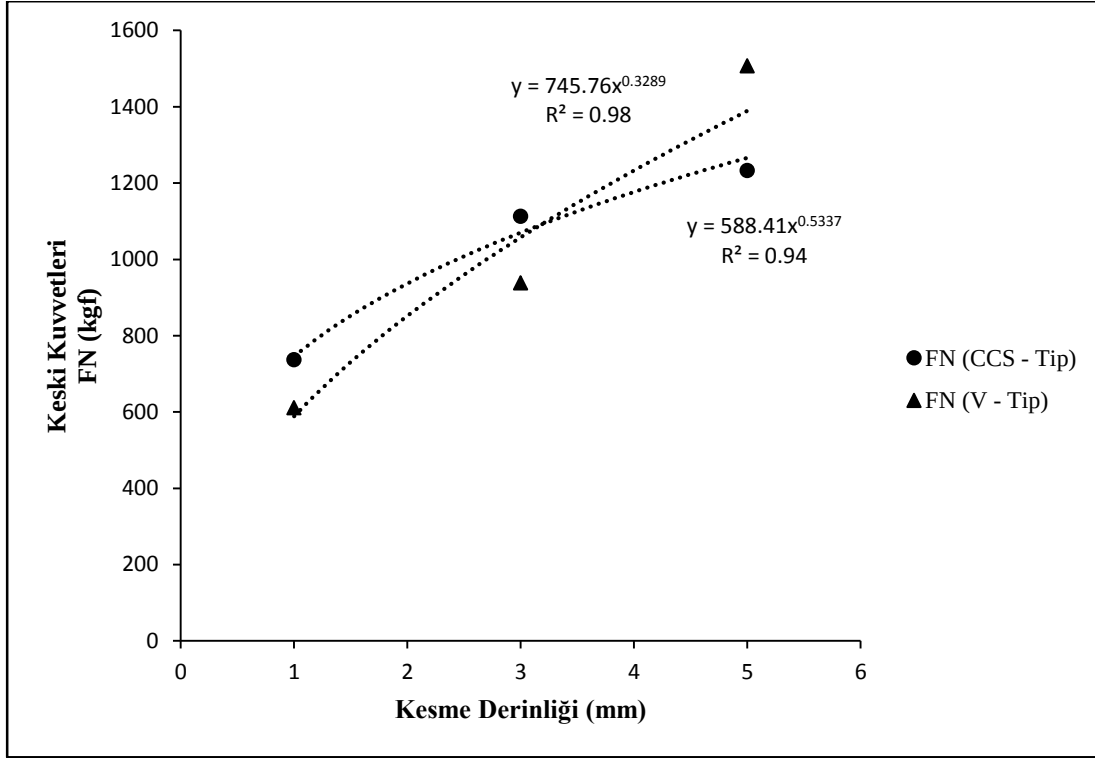
Şekil 4.125 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



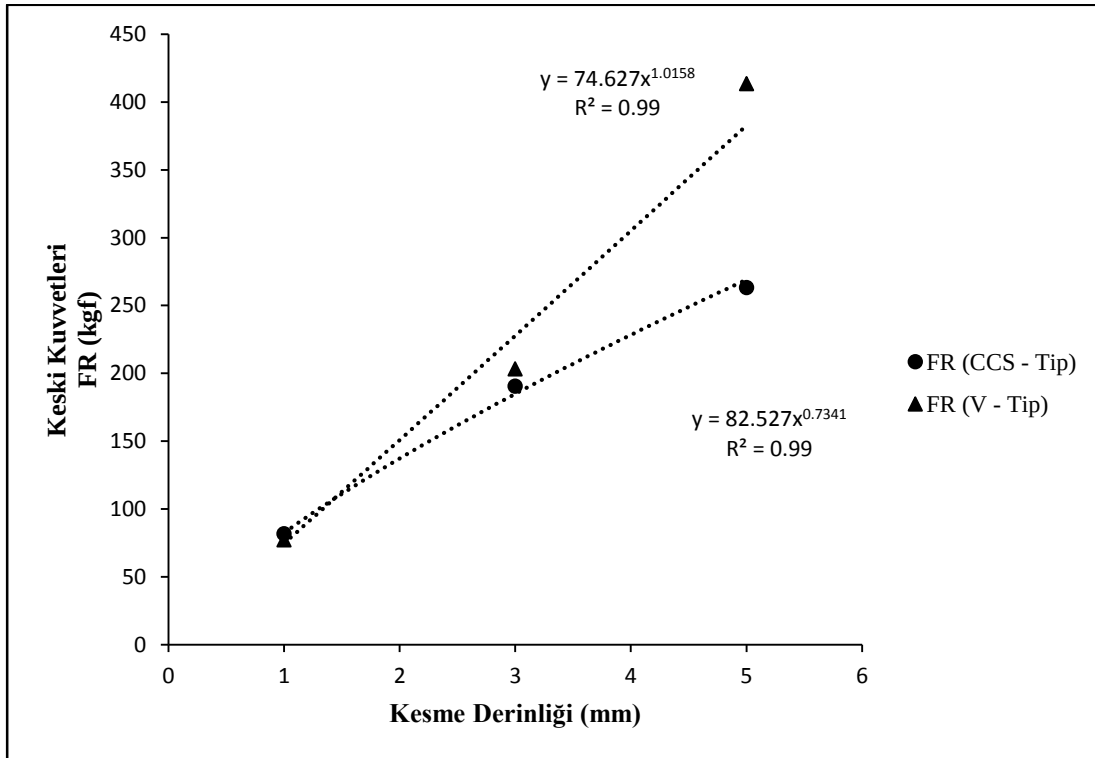
Şekil 4.126 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.127 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.128 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.129 : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.4.2 Altere kireçtaşı üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları

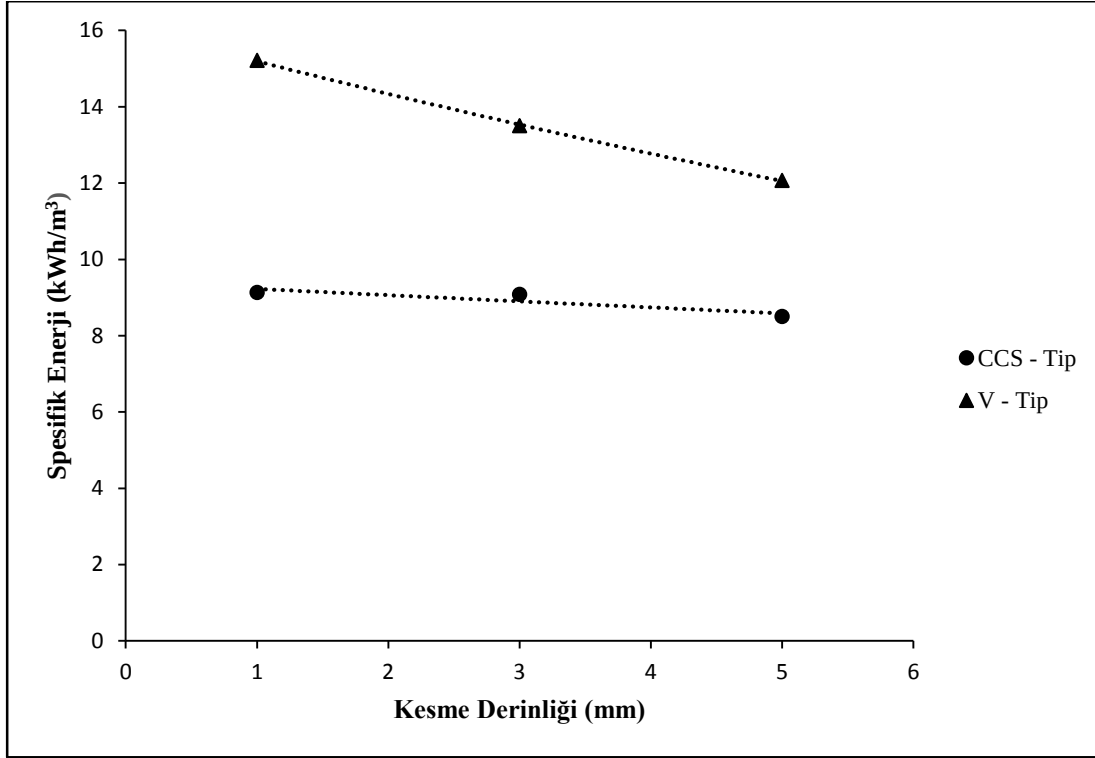
Altere kireçtaşı numunesi üzerinde 1 adet mini CCS tip ve 1 adet mini V tip olmak üzere iki farklı disk keski kullanılarak yardımcı ve yardımcı PLCM deneyleri yapılmıştır. Yapılan yardımcı deneyler için kesme derinliği 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış olup tek bir keski için her bir kesme derinliğinde en az 3 kaya kesme deneyi yapılarak veriler elde edilmiştir. Yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.46’ da, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.13’ te verilmiştir.

Çizelge 4.46 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

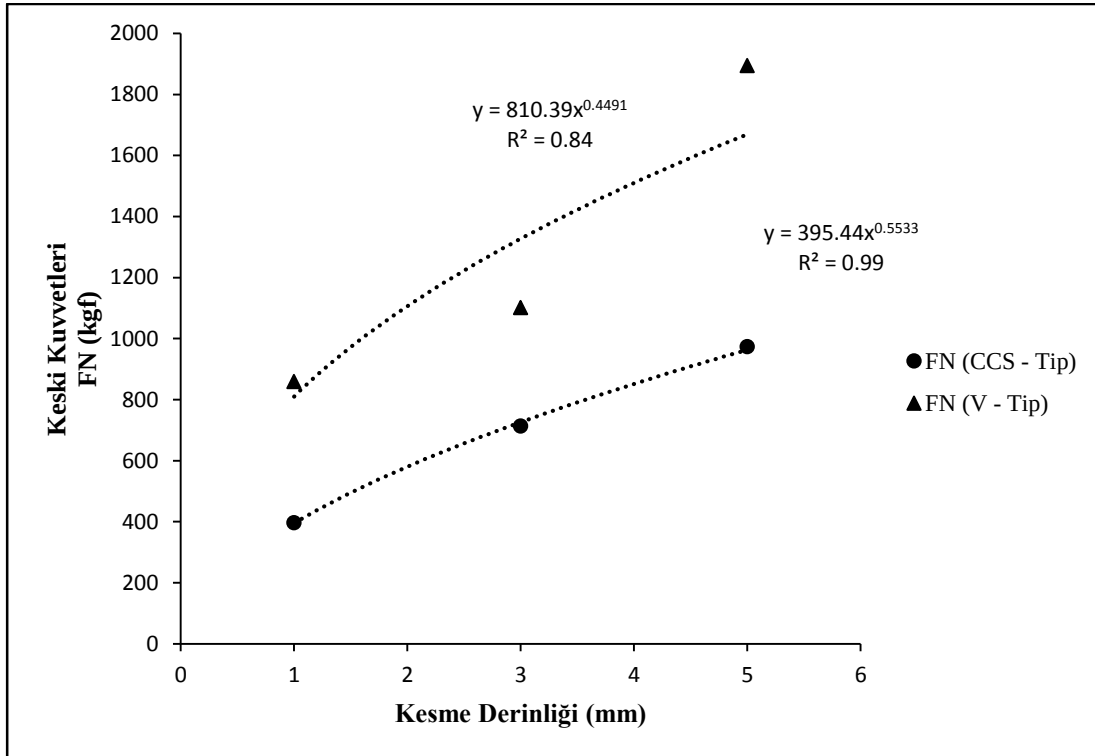
Disk Tipi	d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	397.51	690.89	63.36	116.18	9.14
	3	714.38	1214.50	142.14	269.00	9.08
	5	974.29	1783.59	410.37	760.43	8.50
Disk – 2 (V)	1	859.62	1208.27	135.03	195.01	15.21
	3	1102.22	2041.03	230.38	463.34	13.50
	5	1895.35	3232.75	625.93	1195.93	12.07

Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yardımcı yapılan PLCM deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.130 – 132’ de verilmiştir.

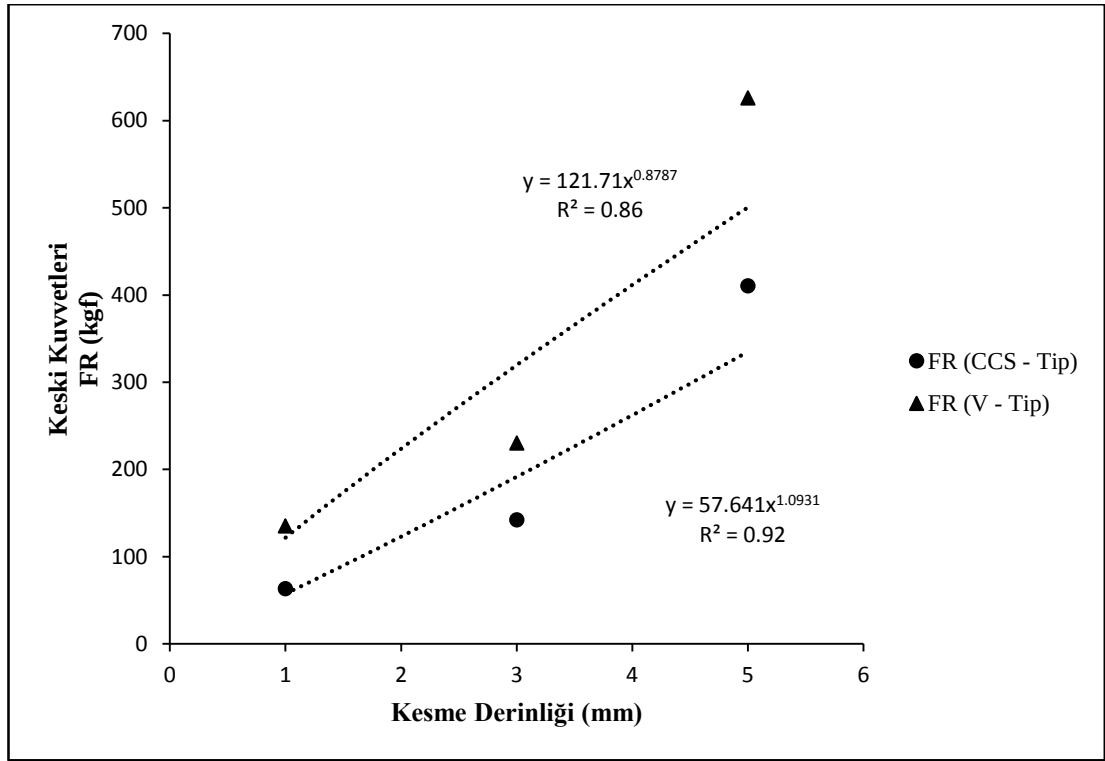
İlgili grafiklere bakıldığında mini V tip disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin daha fazla olmasına rağmen spesifik enerji değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, kaya söküm açısının V tip disk keskinde daha düşük olmasına bağlı olarak kazı veriminin yani pasa miktarının daha az olması gösterilebilir.



Şekil 4.130 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.131 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.132 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

Altere kireçtaşı numunesi üzerinde CCS tip ve V tip mini disk keski kullanılarak yapılan yardımsız kaya kesme deneyleriyle birlikte keskiler arası mesafe 20 mm ayarlandıktan sonra, 1, 3 ve 5 mm kesme derinliklerinde yardımcı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.47’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.14’ te verilmiştir.

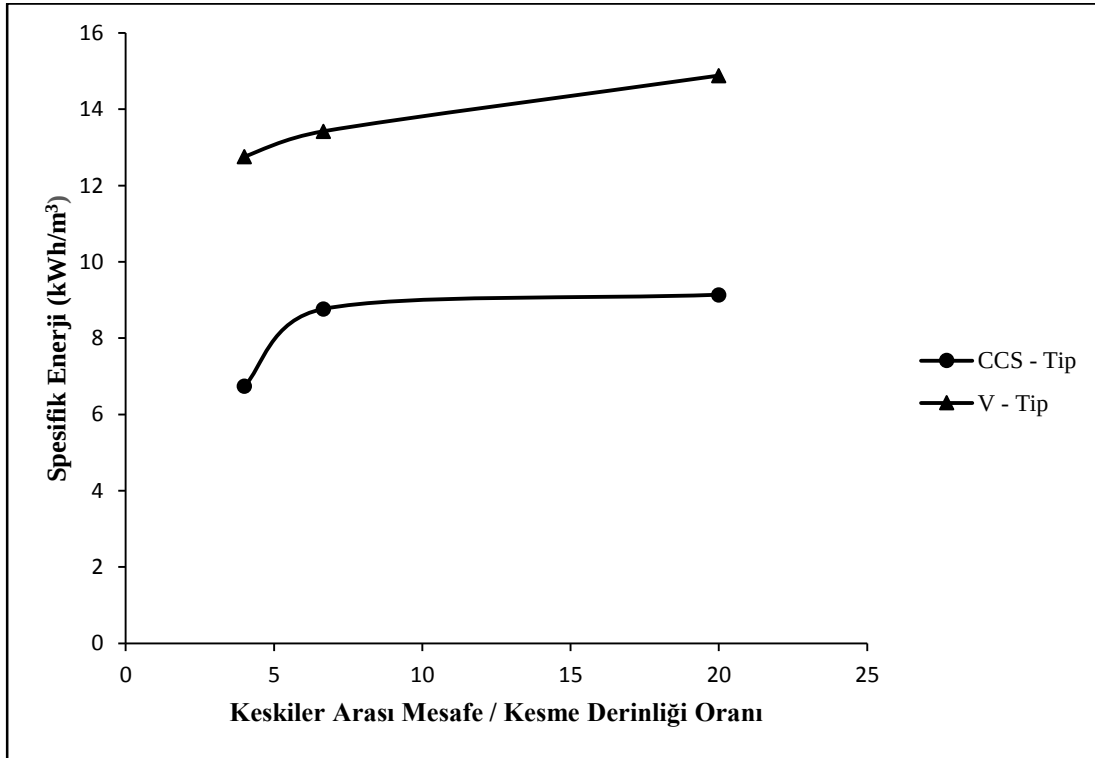
Çizelge 4.47 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

Disk Tipi	d mm	s mm	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	20	20	186.03	488.93	37.96	86.78	9.14
	3	20	6.7	645.45	1346.50	128.54	293.24	8.77
	5	20	4	608.25	1040.38	216.94	329.61	6.74
Disk – 2 (V)	1	20	20	845.79	1373.93	133.65	305.07	14.88
	3	20	6.7	960.76	1814.07	230.30	467.79	13.42
	5	20	4	1613.77	2656.17	605.06	1001.36	12.76

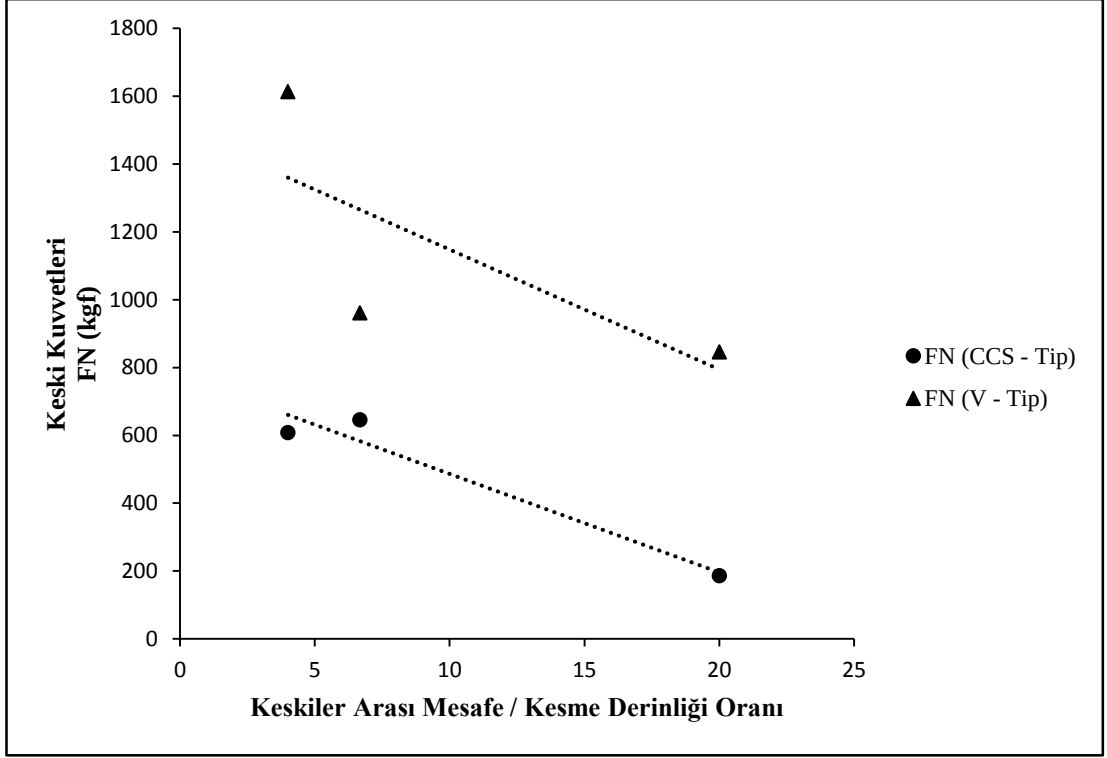
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yardımcı kesme deneyleri için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma

kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.133 – 135’ te verilmiştir. Yine yardımcı kesme deneyleri için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.136 – 127’ de verilmiştir. İlgili grafiklere bakıldığında altere kireçtaşı numunesi için hem V tip hemde CCS tip mini disk keskiler için optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranının (s / d) 5 mm kesme derinliğinde elde edildiği ancak aynı kesme derinliği değerlerinde V tip disk keski kullanılarak yapılan kaya kesme deneylerinde daha yüksek spesifik enerji değerlerinin elde edildiği görölmüştür.

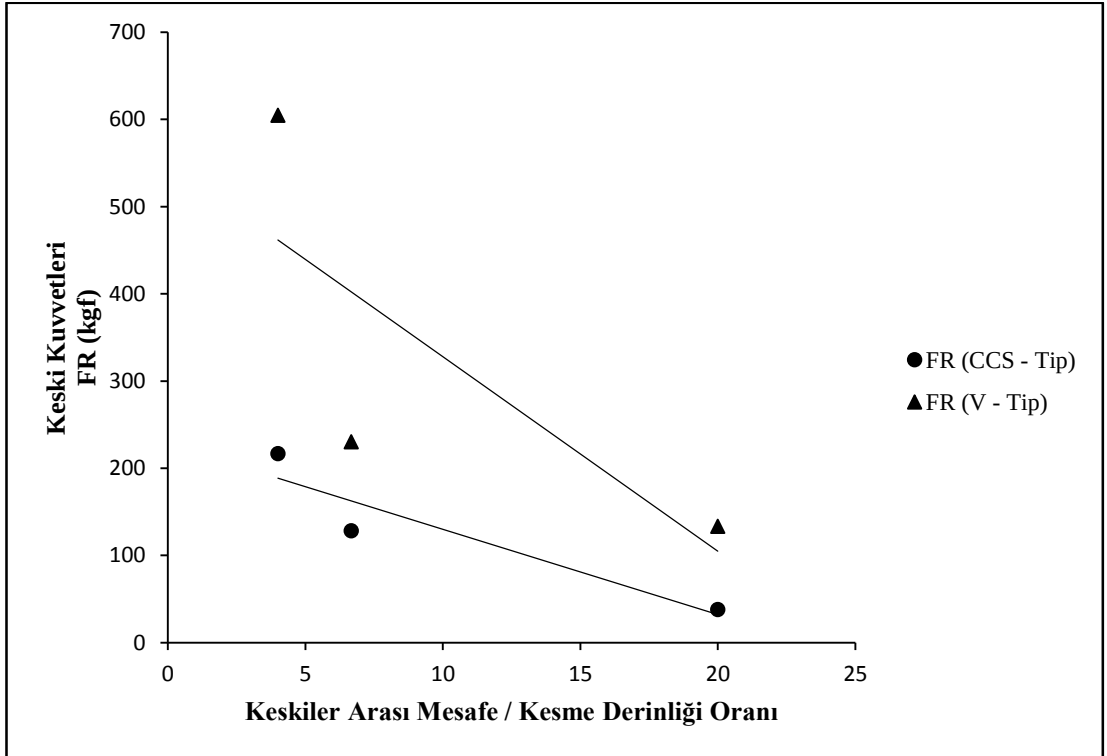
Keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösteren ilgili grafiklere bakıldığında ise keski üzerine etki eden kuvvet değerleri arasındaki ilişkinin diğer numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen ilişkilerden daha düşük olduğu görölmüştür. Bunun nedeni numunenin yapısının bozularak altere bir kayaca dönüşmüş olması gösterilebilir.



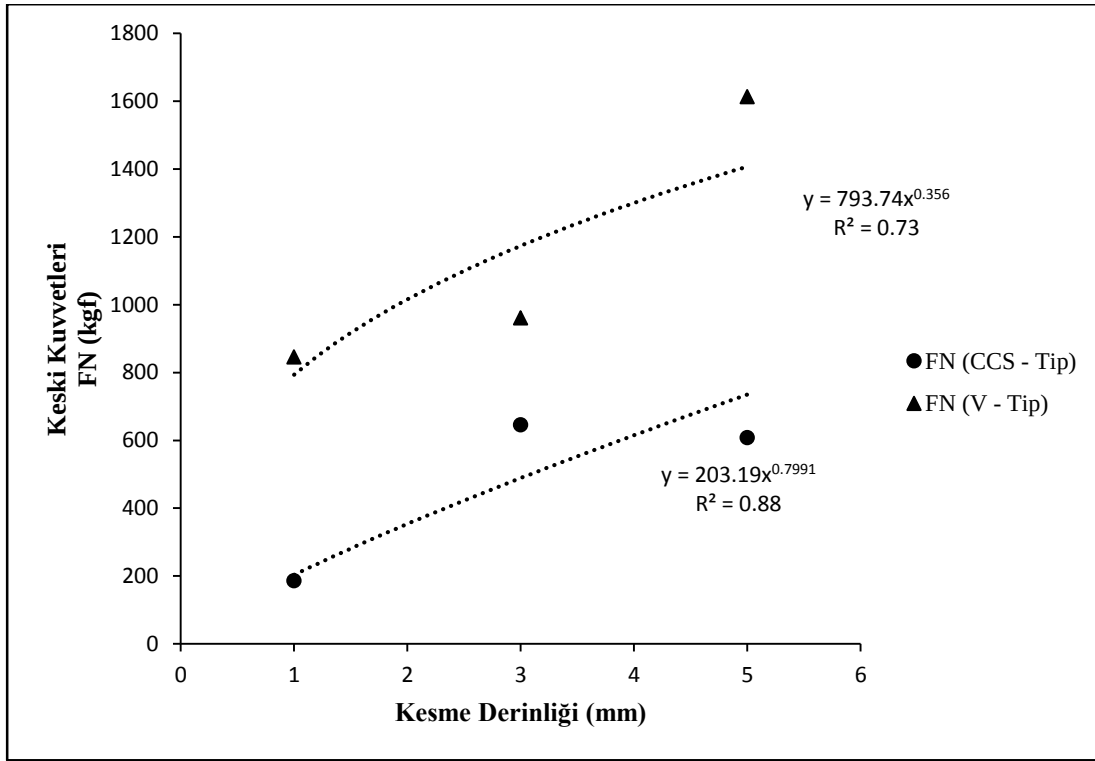
Şekil 4.133 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



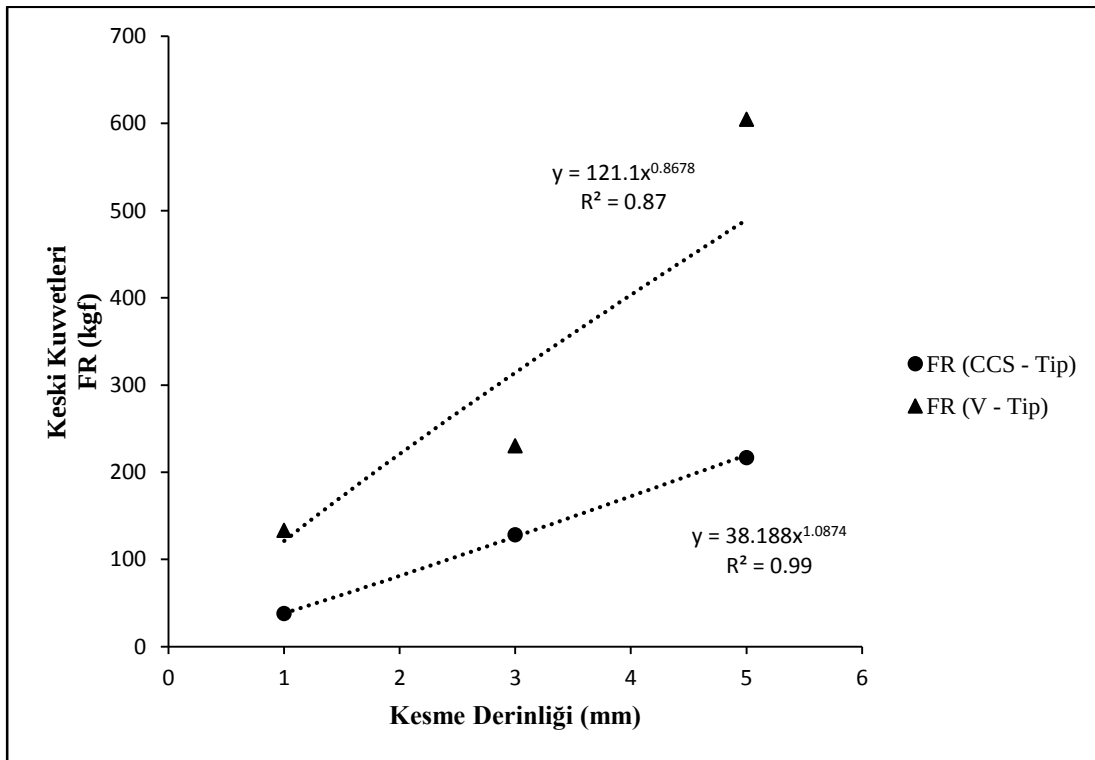
Şekil 4.134 : Altire kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.135 : Altire kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.136 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.137 : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.4.3 Diyabaz üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları

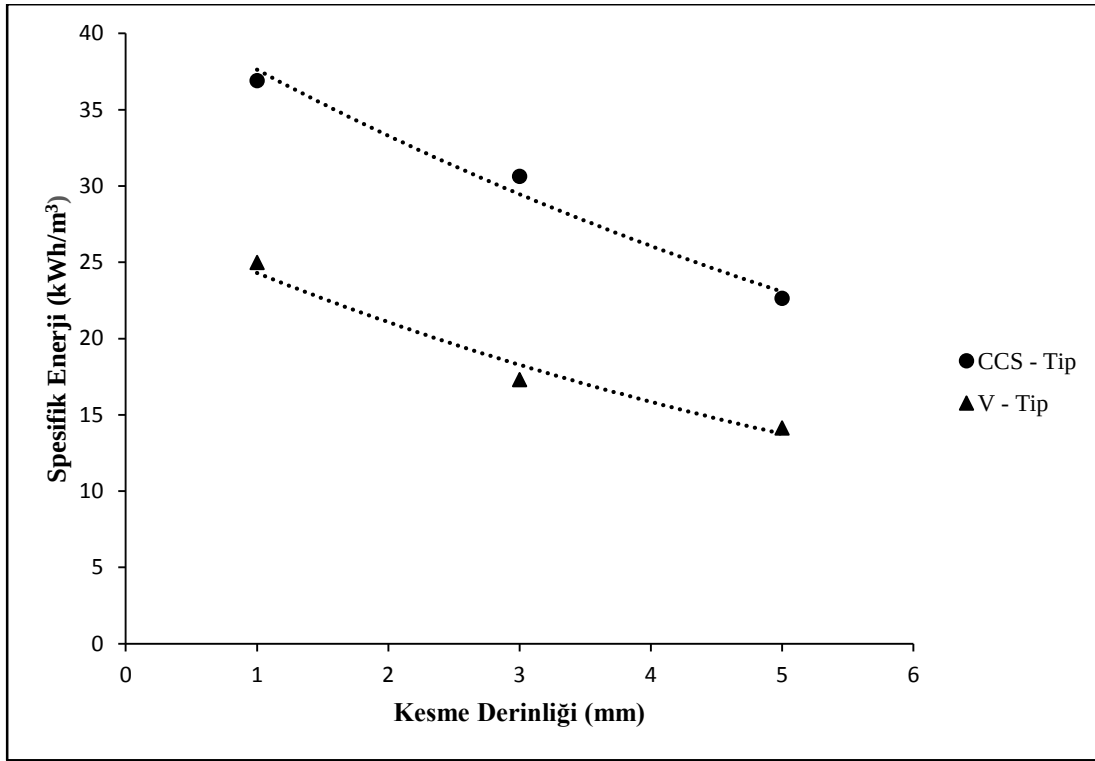
Diyabaz numunesi üzerinde 1 adet mini CCS tip ve 1 adet mini V tip olmak üzere iki farklı disk keski kullanılarak yardımcı ve yardımcı PLCM deneyleri yapılmıştır. Yapılan yardımcı deneyler için kesme derinliği 1, 2 ve 3 mm olarak ayarlanmış olup tek bir keski için her bir kesme derinliğinde en az 3 kaya kesme deneyi yapılarak veriler elde edilmiştir. Yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.48’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.15’ te verilmiştir.

Çizelge 4.48 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

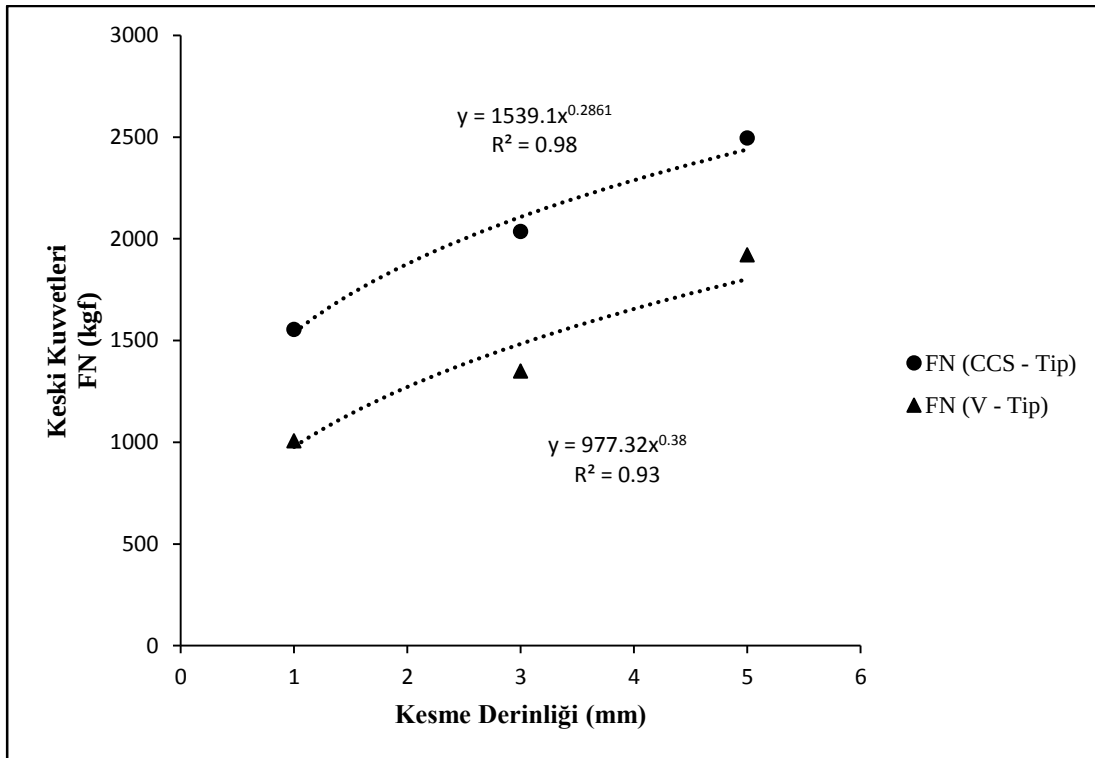
Disk Tipi	d (mm)	FN (kgf)	F’N (kgf)	FR (kgf)	F’R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	1555.91	3094.33	207.37	598.27	36.90
	3	2036.42	3503.14	399.83	939.13	30.64
	3	2496.68	3756.62	571.91	1290.12	22.63
Disk – 2 (V)	1	1007.09	2031.19	149.42	362.54	24.98
	2	1349.89	2756.56	274.75	740.88	17.31
	3	1921.70	3482.84	468.20	983.11	14.13

Diyabaz numunesi üzerinde yardımcı yapılan PLCM deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanarak kesme derinliğine bağlı olarak keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.138 – 140’ da verilmiştir.

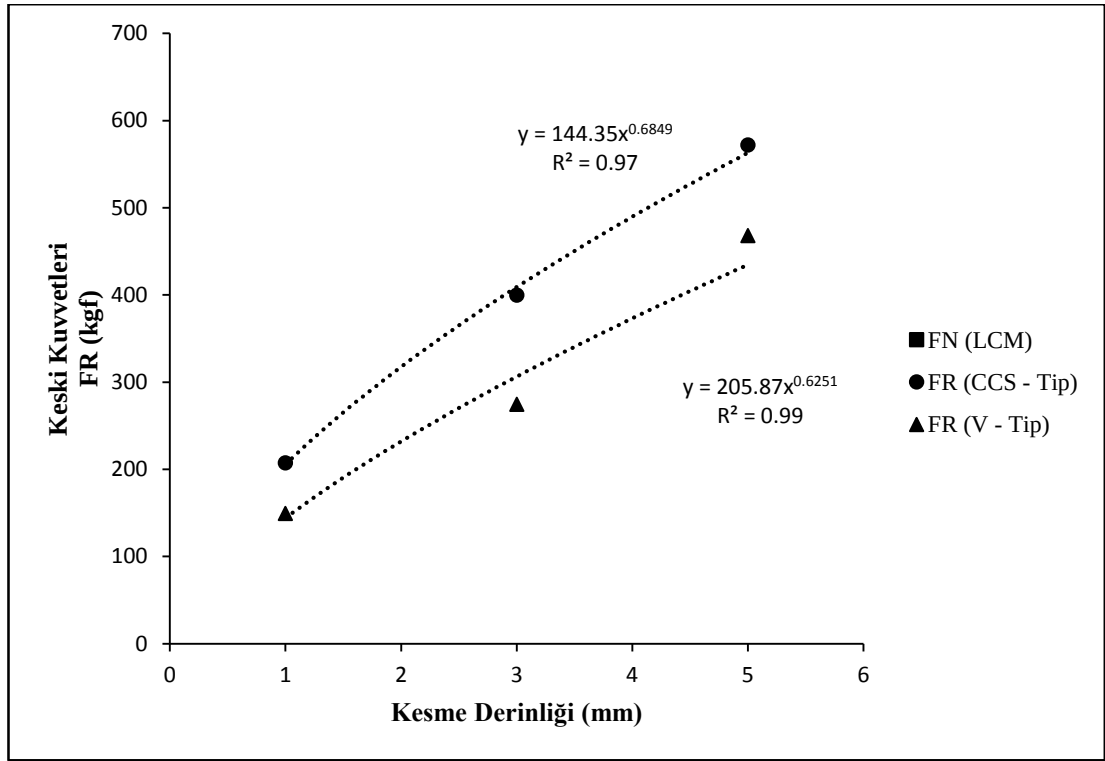
Diyabaz numunesi üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deneyi sonuçlarına bakıldığında diğer kayalardan farklı olarak CCS tip mini disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin V tip disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinden çok fazla olduğu ve buna bağlı olarak spesifik enerji değerlerinin CCS tip mini disk keski için daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak kayacın daha kırılğan bir yapıda olması ve disk keski uç açısı değerinin CCS tip disk keski için daha fazla olması gösterilebilir.



Şekil 4.138 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.139 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.140 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

Diyabaz numunesi üzerinde CCS tip ve V tip mini disk keski kullanılarak yapılan yardımsız kaya kesme deneyleriyle birlikte keskiler arası mesafe 20 mm ayarlandıktan sonra, 1, 2 ve 3 mm kesme derinliklerinde yardımcı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.49’ da, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.16’ da verilmiştir.

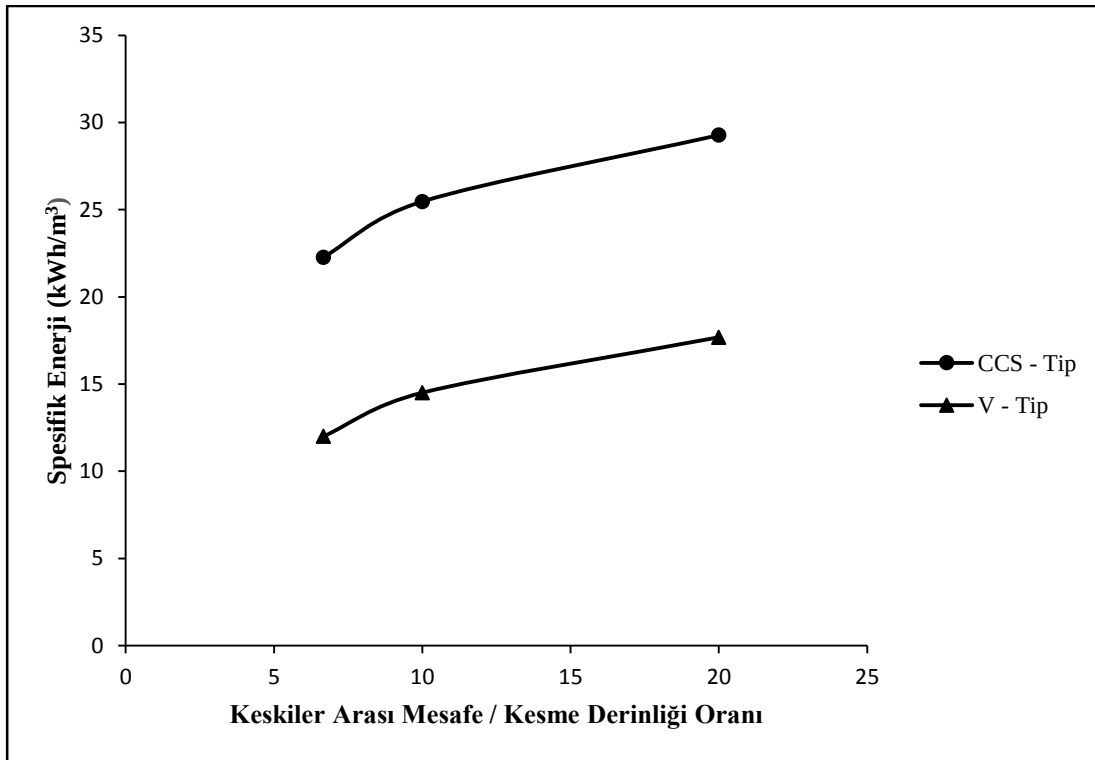
Çizelge 4.49 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

Disk Tipi	d mm	s mm	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	20	20	1907.53	4209.49	283.51	837.93	29.28
	2	20	6.7	2379.31	4459.82	661.56	1473.56	25.47
	3	20	4	2563.24	5134.20	749.75	1626.15	22.28
Disk – 2 (V)	1	20	20	1082.16	2341.70	163.79	603.55	17.68
	2	20	6.7	1190.04	2802.31	267.39	869.86	14.50
	3	20	4	1719.41	4330.22	440.06	1372.30	12.00

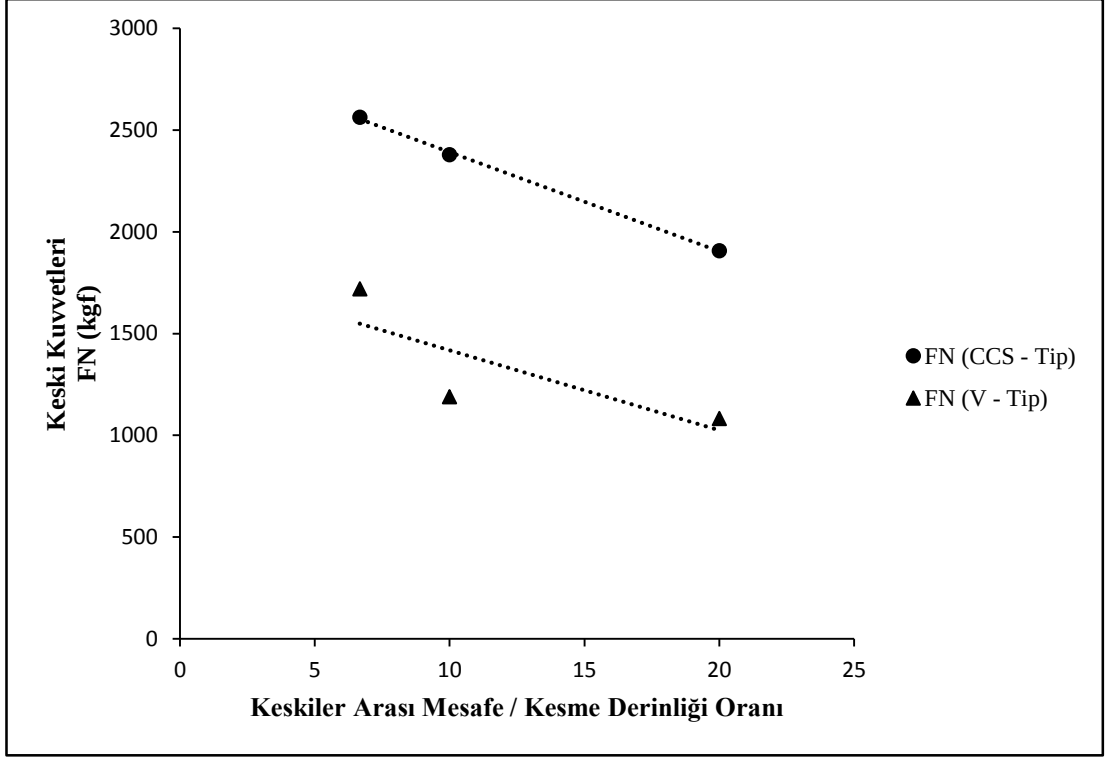
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yardımcı kesme deneyleri için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.141 – 143’ te verilmiştir. Yine

yardımlı kesme deneyleri için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.144 – 145’ te verilmiştir. İlgili grafiklere bakıldığında diyabaz numunesi için hem V tip hem de CCS tip mini disk keskiler için optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranının (s / d) 3 mm kesme derinliğinde elde edildiği ancak aynı kesme derinliği değerlerinde CCS tip disk keski kullanılarak yapılan kaya kesme deneylerinde daha yüksek spesifik enerji değerlerinin ortaya çıktığı görülmüştür.

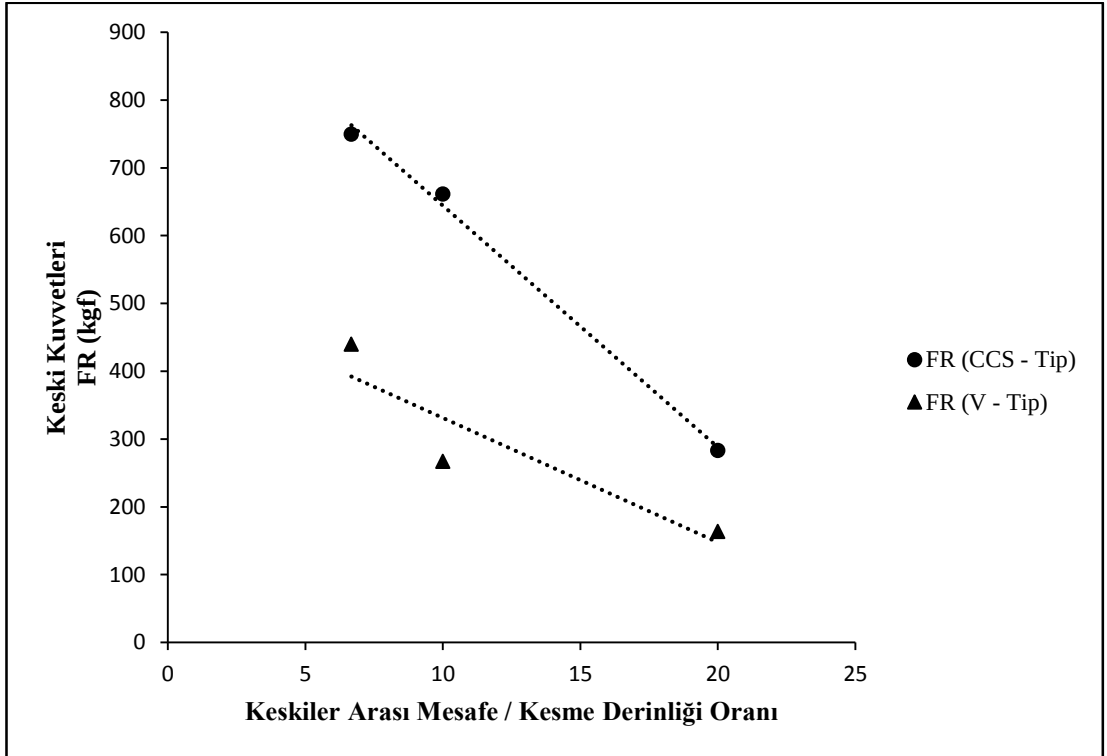
Keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösteren ilgili grafiklere bakıldığında ise keski üzerine etki eden kuvvet değerleri arasındaki ilişkilerin oldukça güçlü olduğu görülmüştür.



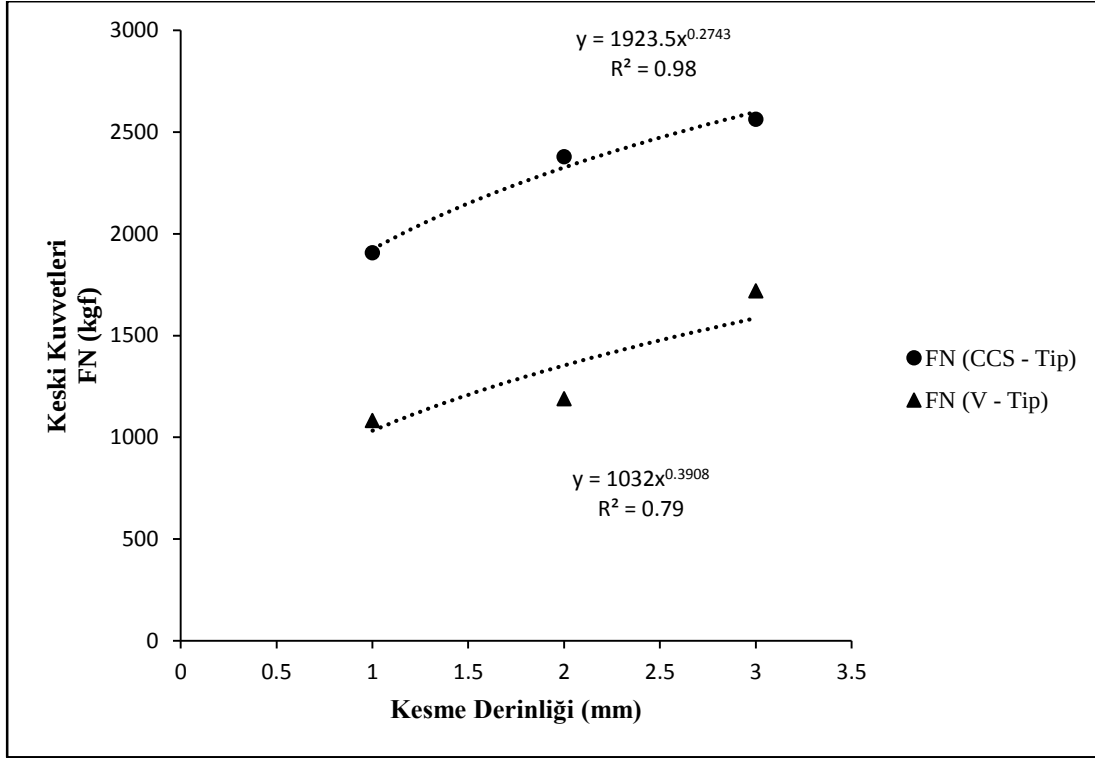
Şekil 4.141 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımlı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



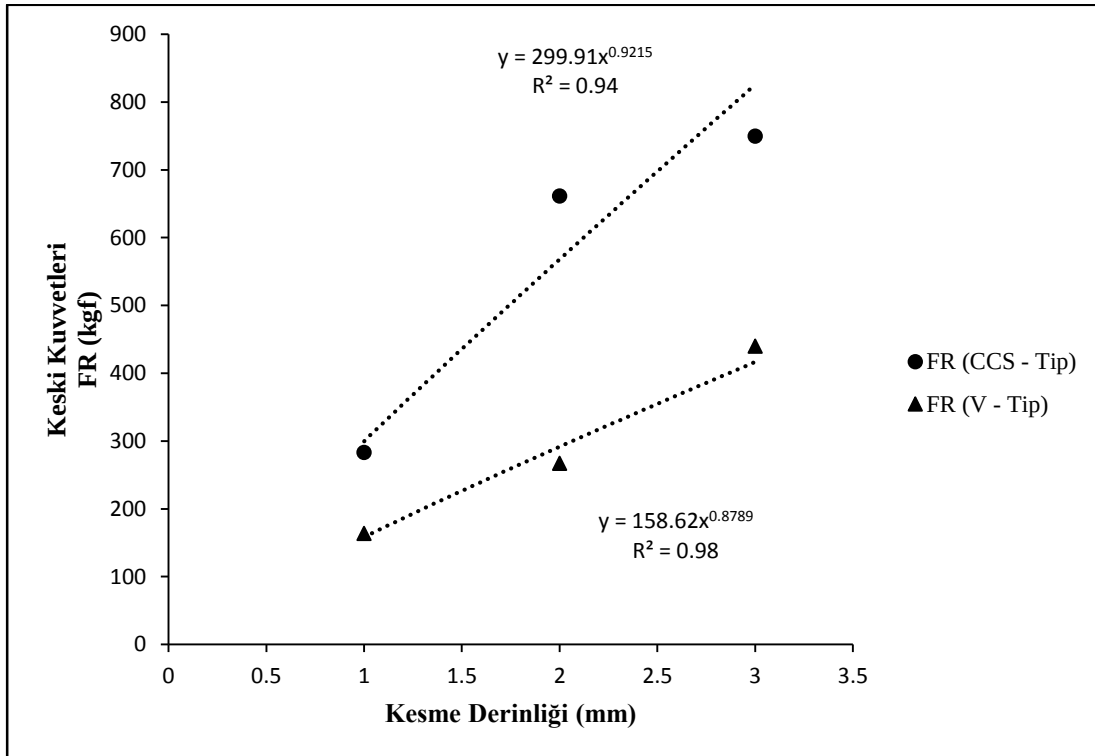
Şekil 4.142 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.143 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.144 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.145 : Diyabaz numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.4.4 Çamurtaşı üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları

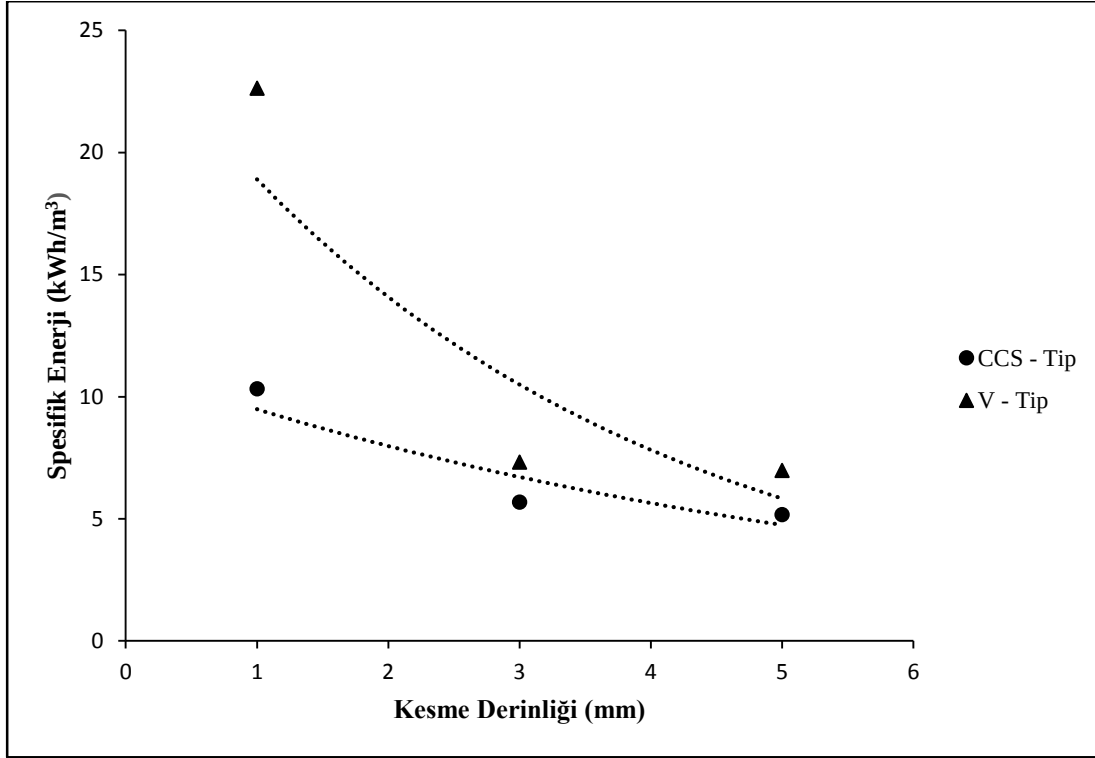
Çamurtaşı numunesi üzerinde PLCM kaya kesme deneyleri yapılırken iki farklı mini disk keski kullanılarak yardımcı ve yardımcı olmayan deneyler yapılmıştır. Kullanılan disk keski 144 mm disk çapına sahip 1 adet CCS tip ve 1 adet V tip disk keskidir. Yapılan yardımcı olmayan deneyler için kesme derinliği sırasıyla 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış olup her bir kesme derinliğinde yarı ayrı veri alınmıştır. Yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.50’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.17’ de verilmiştir.

Çizelge 4.50 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı olmayan PLCM kesme deney sonuçları.

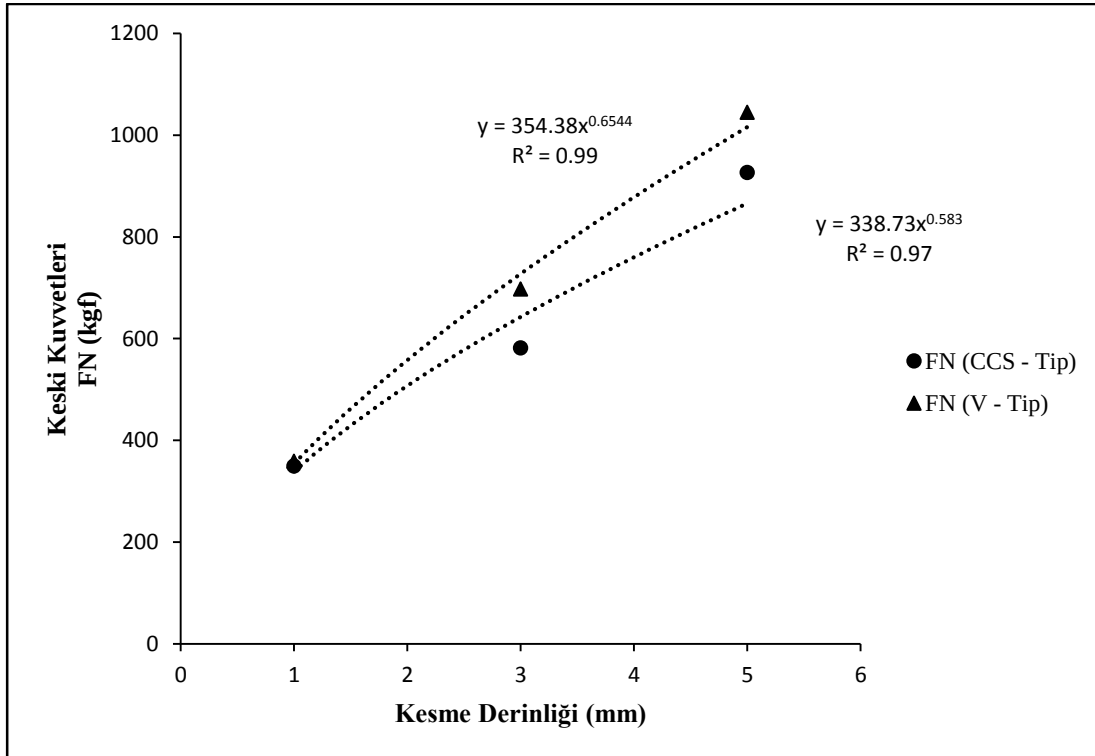
Disk Tipi	d (mm)	FN (kgf)	F’N (kgf)	FR (kgf)	F’R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	387.62	986.90	68.92	173.75	10.32
	3	581.71	1313.61	123.43	331.91	5.68
	5	926.59	1946.98	238.74	567.35	5.16
Disk – 2 (V)	1	370.73	1039.73	54.76	148.93	22.63
	3	697.53	1622.24	176.20	560.66	7.32
	5	887.97	2034.22	261.64	666.20	6.98

Çamurtaşı numunesi üzerinde yardımcı olmayan yapılan PLCM deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden kuvvetlerin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.146 – 148’ de verilmiştir.

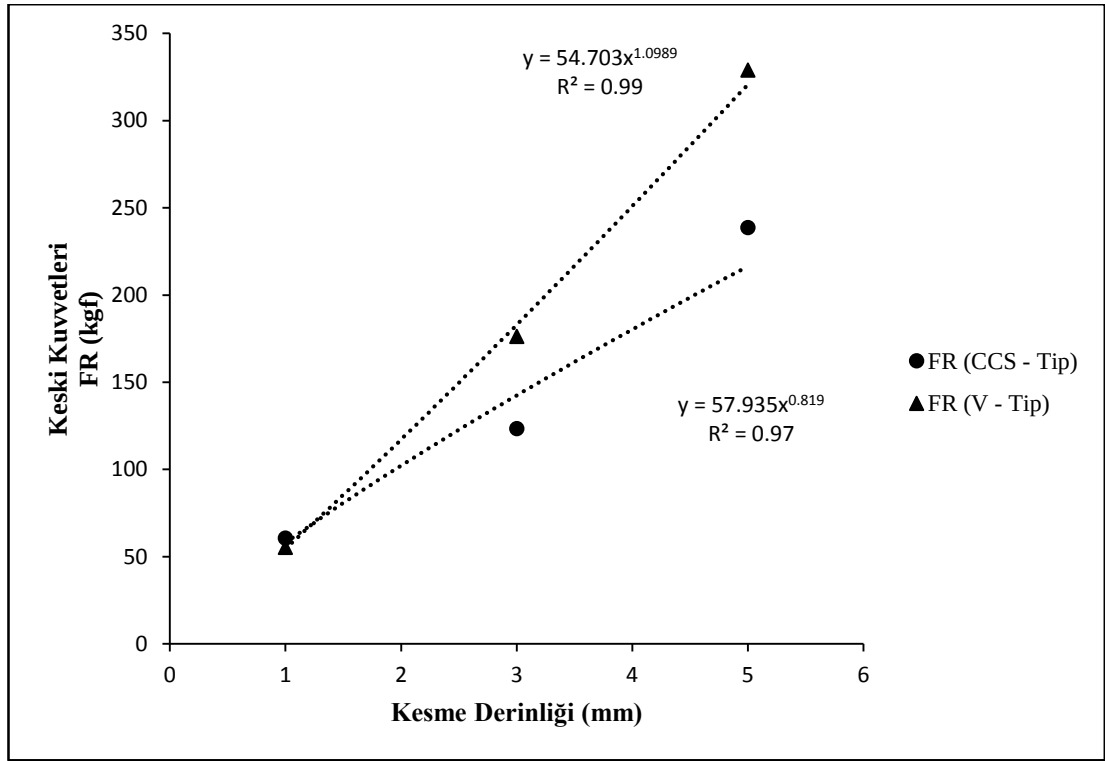
Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deneyi sonuçlarına bakıldığında aynı kesme derinliği değerlerinde mini V tip disk keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvet değerlerinin mini CCS tip disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinden fazla olduğu ve buna bağlı olarak spesifik enerji değerinin de V tip disk keski için daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.146 : Çamurtaş numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.147 : Çamurtaş numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.148 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

Çamurtaşı numunesi üzerinde CCS tip ve V tip mini disk keski kullanılarak yapılan yardımsız kaya kesme deneyleriyle birlikte keskiler arası mesafe 20 mm ayarlandıktan sonra, 1, 3 ve 5 mm kesme derinliklerinde yardımcı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.51’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.18’ de verilmiştir.

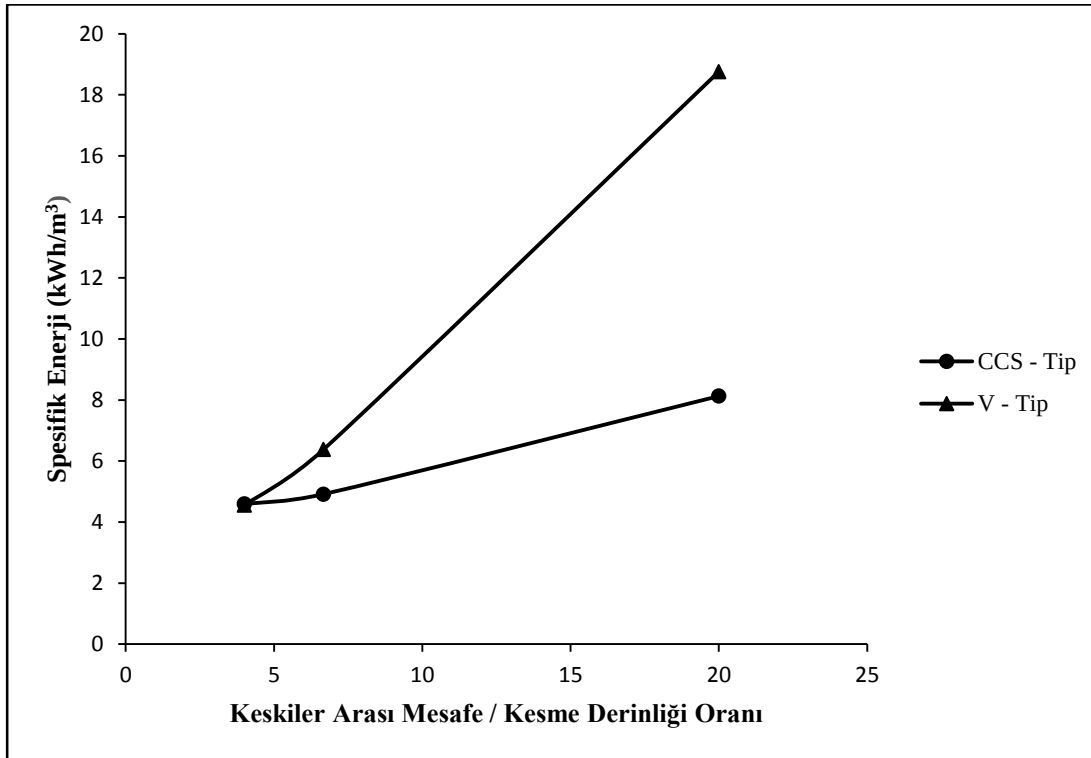
Çizelge 4.51 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

Disk Tipi	d mm	s mm	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	20	20	396.71	1018.12	59.40	166.59	8.13
	3	20	6.7	567.20	1611.02	113.05	386.79	4.92
	5	20	4	756.36	1765.34	183.06	516.94	4.59
Disk – 2 (V)	1	20	20	268.16	1041.23	47.88	209.09	18.76
	3	20	6.7	627.38	1604.22	149.88	447.67	6.38
	5	20	4	542.39	1339.51	138.94	411.97	4.56

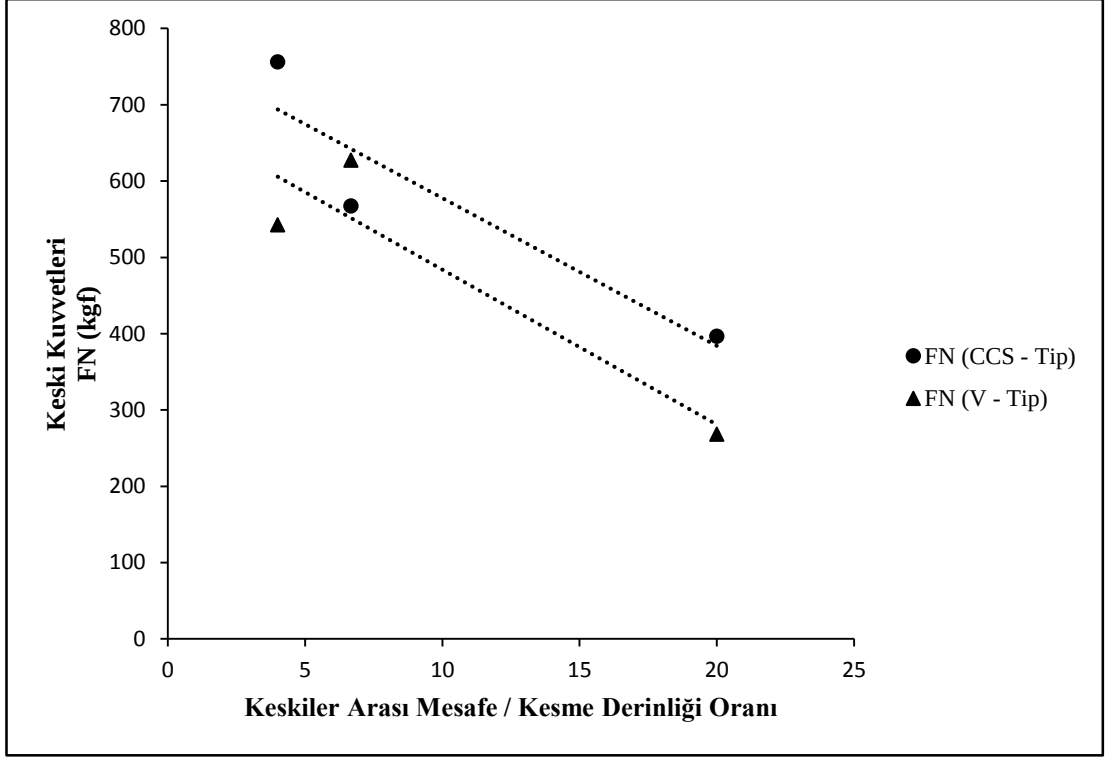
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yardımcı kesme deneyleri için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.149 – 151’ de verilmiştir. Yine

yardımlı kesme deneyleri için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.152 – 153’ te verilmiştir. İlgili grafiklere bakıldığında Çamurtaş numunesi için hem V tip hemde CCS tip mini disk keski için optimum keski arası mesafe / kesme derinliği oranının (s / d) 5 mm kesme derinliğinde elde edildiği ancak aynı kesme derinliği değerlerinde V tip disk keski kullanılarak yapılan kaya kesme deneylerinde daha yüksek spesifik enerji değerlerinin elde edildiği ve V tip disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin daha fazla olduğu görülmüştür.

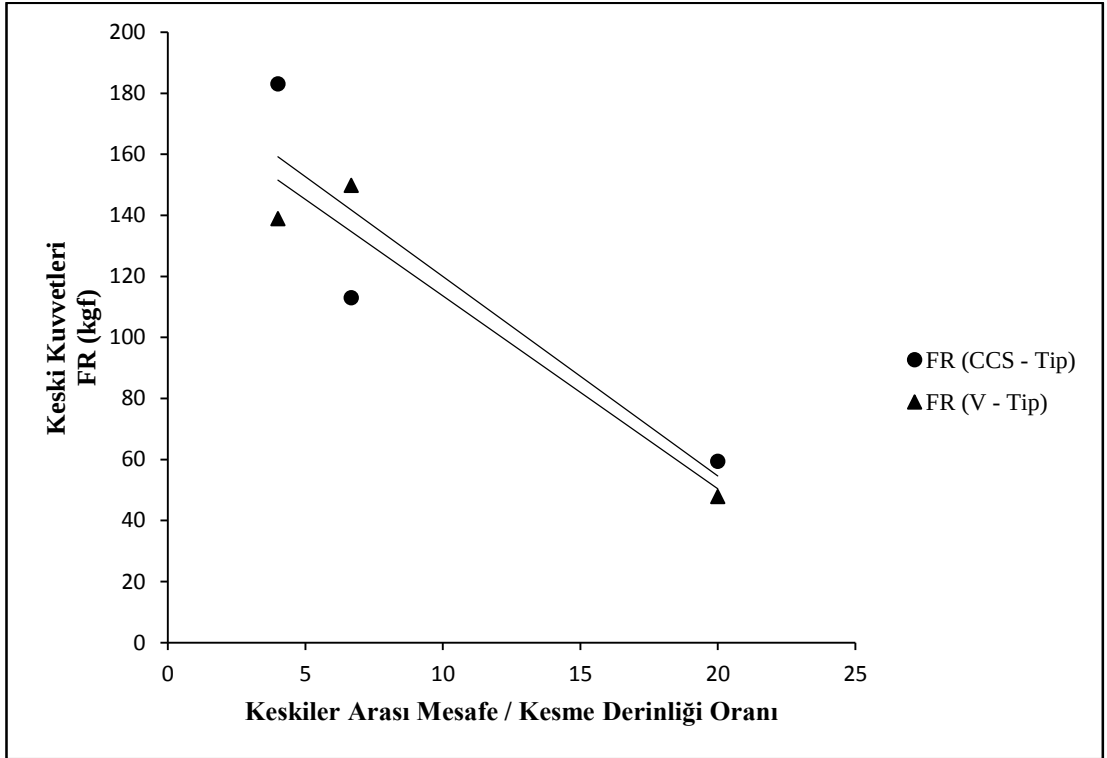
Keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösteren ilgili grafiklere bakıldığında ise CCS tip disk keski üzerine etki eden kuvvetler arasındaki ilişkinin mini V tip disk keski üzerine etki eden kuvvetler arasındaki ilişkiden daha kuvvetli olduğu görülmektedir.



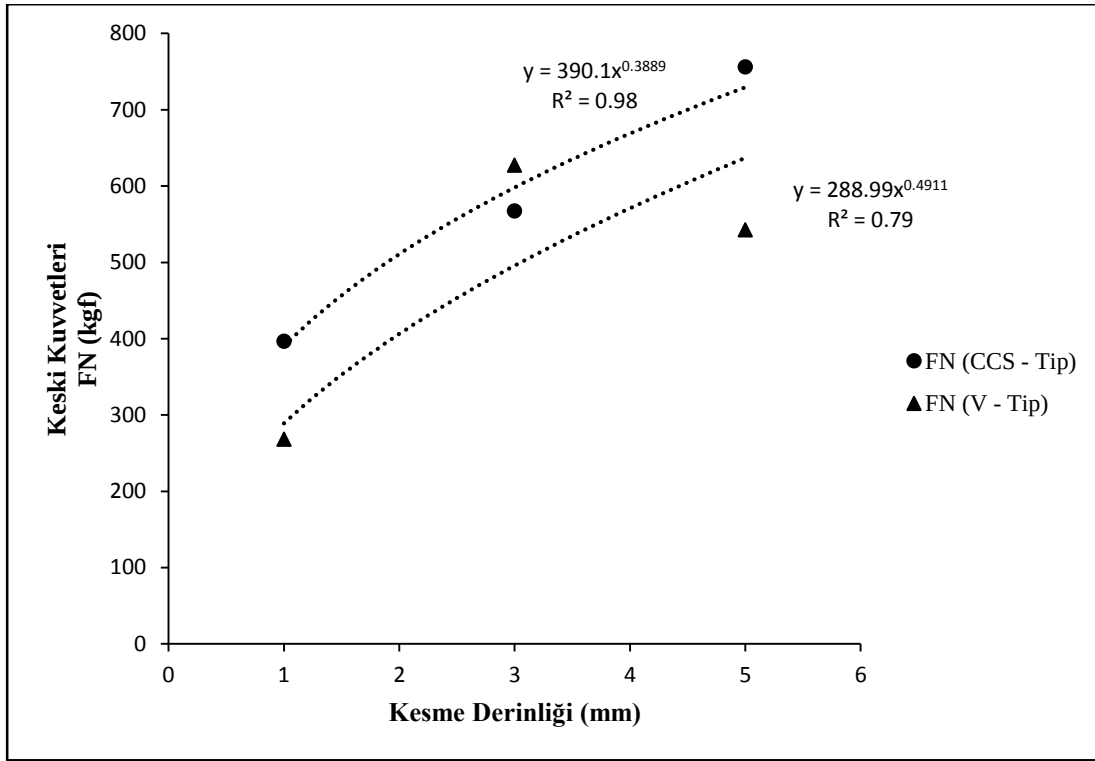
Şekil 4.149 : Çamurtaş numunesi üzerinde yapılan yardımlı PLCM kesme deneyleri için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



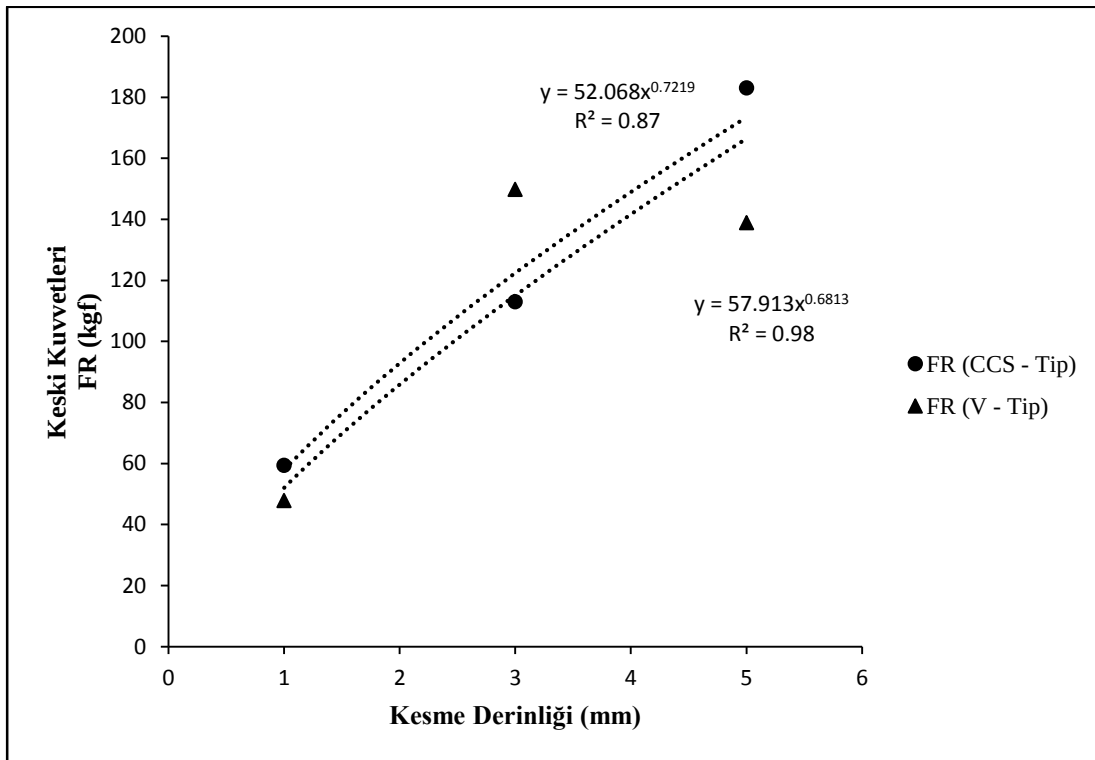
Şekil 4.150 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.151 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.152 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.153 : Çamurtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.4.5 Konglomera üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları

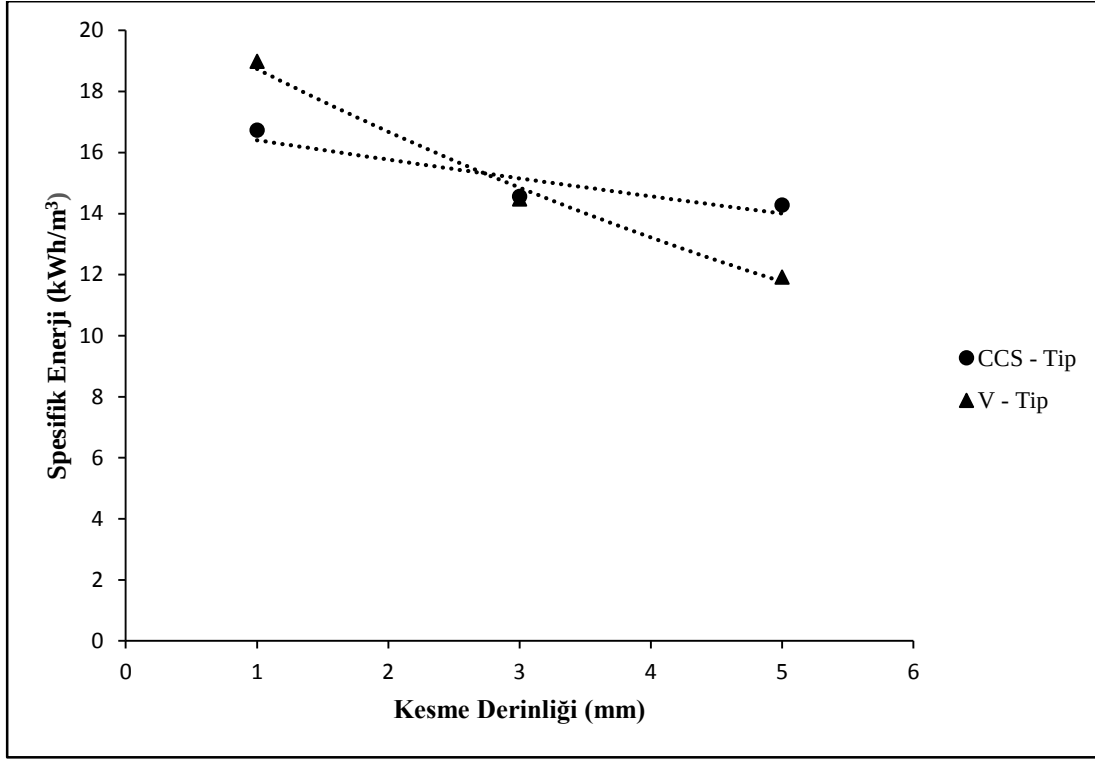
Konglomera numunesi üzerinde PLCM kaya kesme deneyleri yapılırken iki farklı mini disk keski kullanılarak yardımcı ve yardımcı olmayan deneyler yapılmıştır. Kullanılan disk keski 144 mm disk çapına sahip 1 adet CCS tip ve 1 adet V tip disk keskidir. Yapılan yardımcı olmayan deneyler için kesme derinliği sırasıyla 1, 3 ve 5 mm olarak ayarlanmış olup her bir kesme derinliğinde yarı ayrı veri alınmıştır. Yardımsız kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.52’ de, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.19’ da verilmiştir.

Çizelge 4.52 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı olmayan PLCM kesme deney sonuçları.

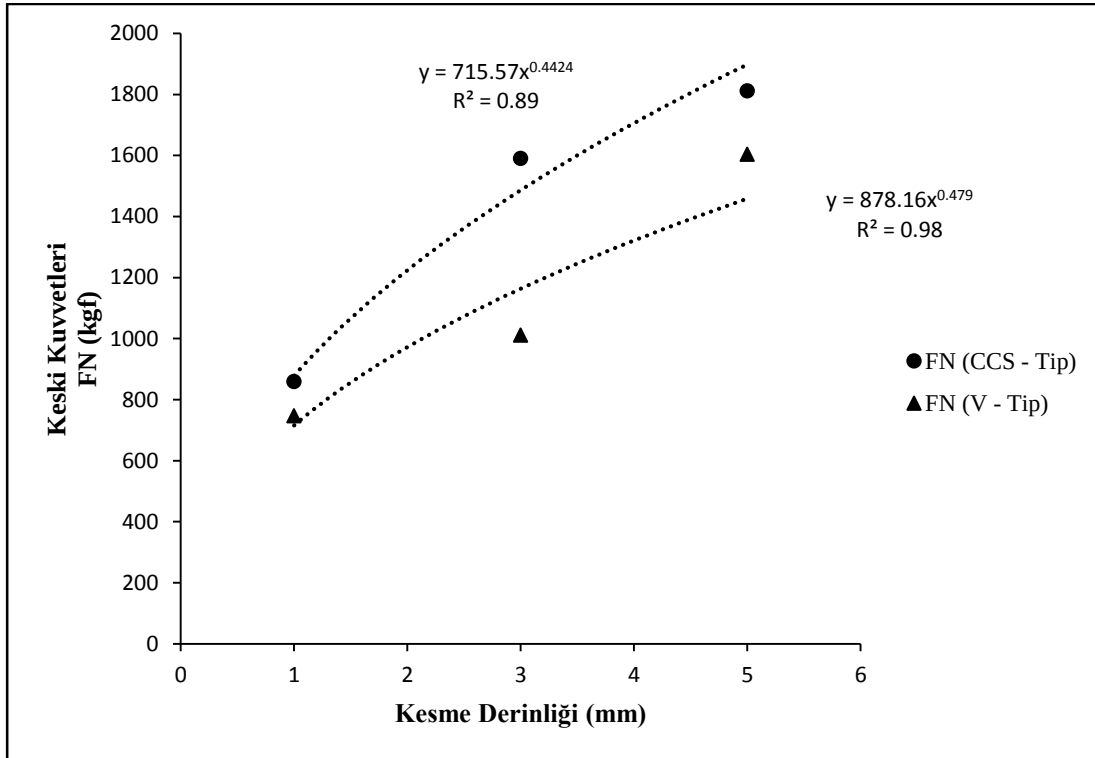
Disk Tipi	d (mm)	FN (kgf)	F’N (kgf)	FR (kgf)	F’R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	859.49	1519.16	111.14	251.47	16.74
	3	1590.43	2385.74	325.03	542.48	14.56
	5	1812.60	2808.81	460.74	809.05	14.28
Disk – 2 (V)	1	748.05	1641.73	115.52	295.20	18.98
	3	1011.62	1963.01	217.67	557.48	14.47
	5	1604.54	2940.09	422.35	829.32	11.92

Konglomera numunesi üzerinde yardımcı olmayan yapılan PLCM deneyleri sonunda elde edilen veriler kullanılarak kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden kuvvetlerin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.154 – 156’ da verilmiştir.

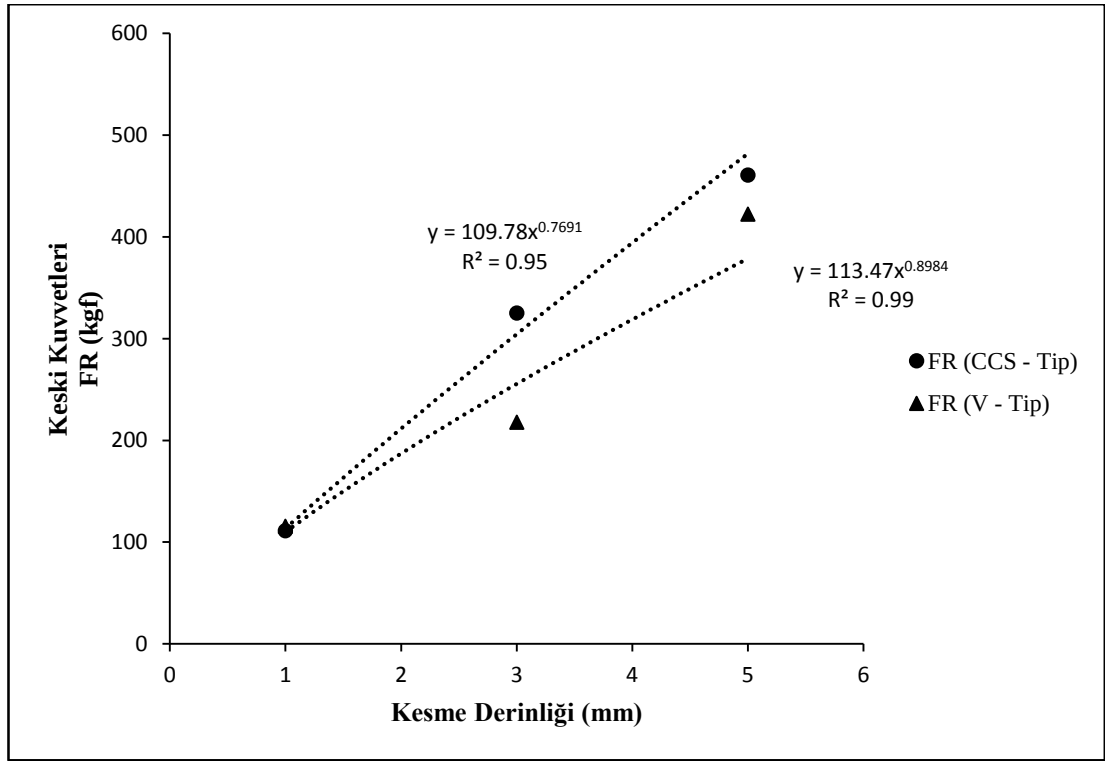
Konglomera numunesi üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deneyi sonuçlarına bakıldığında aynı kesme derinliği değerlerinde mini CCS tip disk keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvet değerlerinin mini V tip disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinden fazla olduğu fakat spesifik enerji değerlerinin her iki mini disk keski için yakın değerlerde elde edildiği görülmektedir. Bunun sebebinin de konglomera numunesinin iri taneli yapısı neticesinde büyük parçaların deney esnasında kopması gösterilebilir.



Şekil 4.154 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği spesifik enerji arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.155 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişkisi.



Şekil 4.156 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımsız PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

Konglomera numunesi üzerinde CCS tip ve V tip mini disk keski kullanılarak yapılan yardımsız kaya kesme deneyleriyle birlikte keskiler arası mesafe 20 mm ayarlandıktan sonra, 1, 3 ve 5 mm kesme derinliklerinde yardımcı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.53’ te, deney sonuçlarının detaylı gösterimi ise EK B.20’ de verilmiştir.

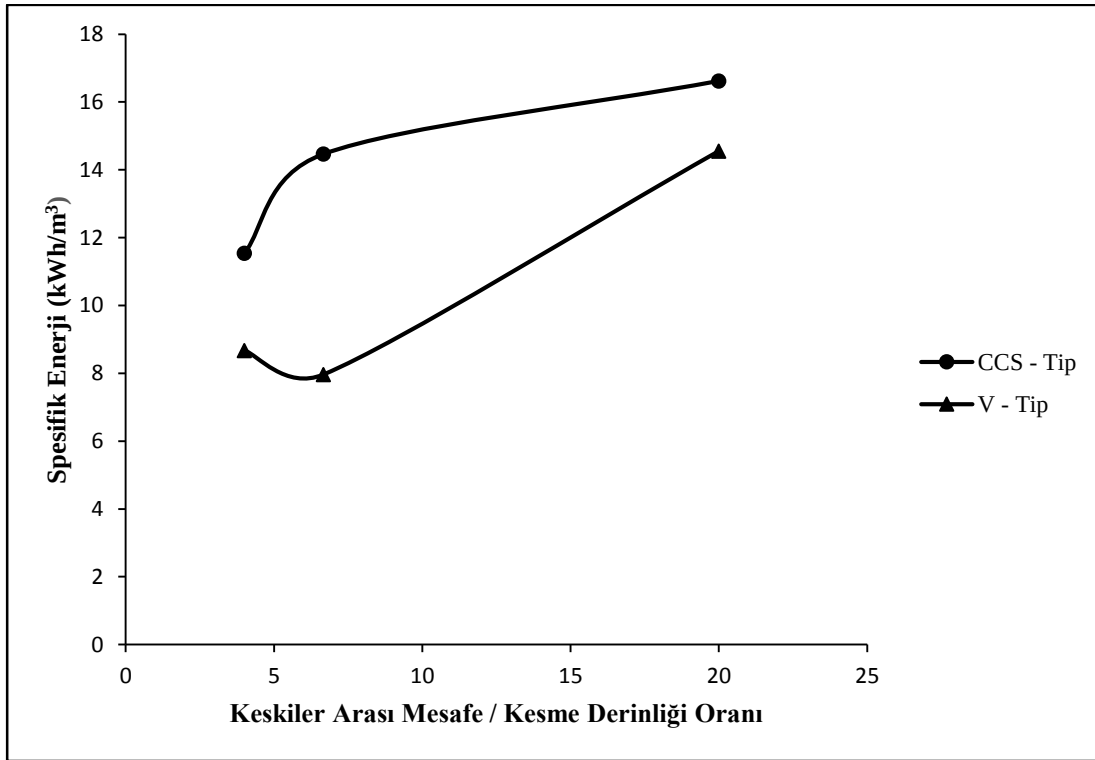
Çizelge 4.53 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deney sonuçları.

Disk Tipi	d mm	s mm	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
Disk – 1 (CCS)	1	20	20	755.59	1303.75	94.97	206.28	16.62
	3	20	6.7	1252.96	2293.43	234.18	497.18	14.47
	5	20	4	1496.28	2664.64	399.49	770.33	11.54
Disk – 2 (V)	1	20	20	475.53	1119.26	64.69	182.80	14.55
	3	20	6.7	807.48	1601.10	158.22	378.80	7.96
	5	20	4	1419.06	2764.58	450.53	1007.74	8.67

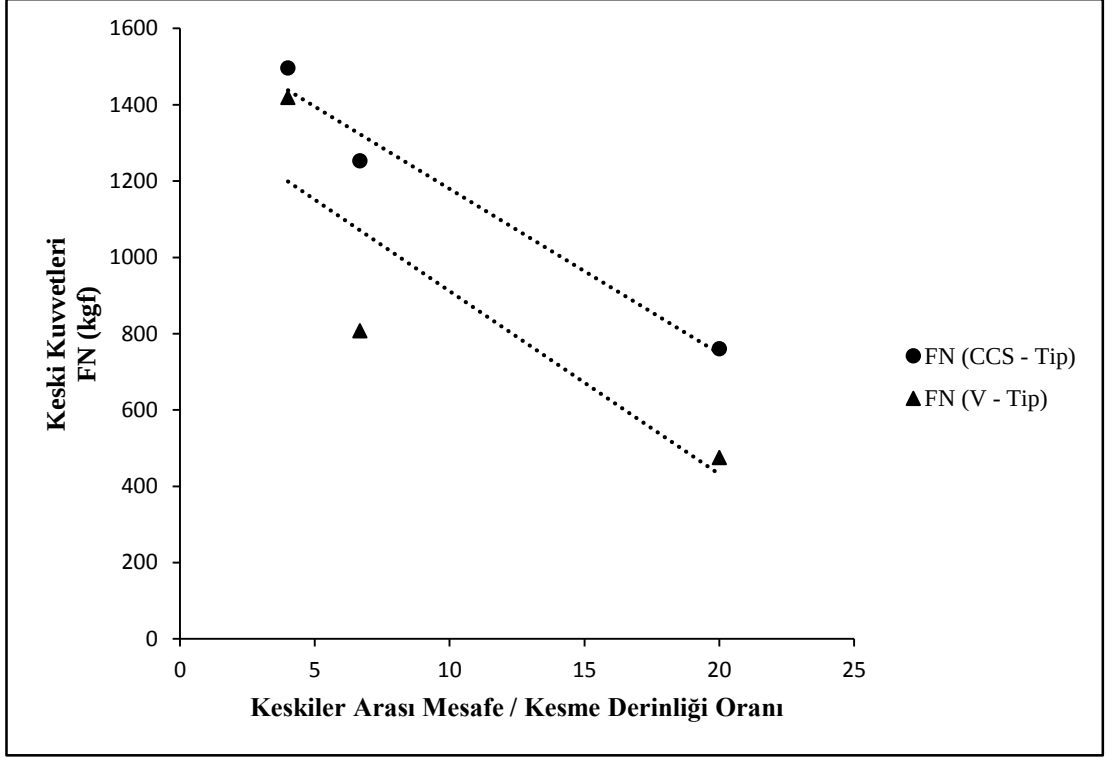
PLCM deney setinde yapılan kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yardımcı kesme deneyleri için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.157 – 159’ da verilmiştir. Yine

yardımlı kesme deneyleri için kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji ve keskiye etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerin değişimini gösterir grafikler Şekil 4.160 – 161’ de verilmiştir. İlgili grafiklere bakıldığında konglomera numunesi için CCS tip mini disk keski ile yapılan kaya kesme deneylerinde optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranının (s / d) 5 mm kesme derinliğinde ve mini V tip disk keski için ise optimum s / d oranının 3 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmektedir. Keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvet değerlerinin değişimine bakıldığında ise kuvvet değerlerinin her iki keski için de yakın değerlerde değiştiği ancak CCS tip disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin biraz daha fazla olduğu görülmektedir.

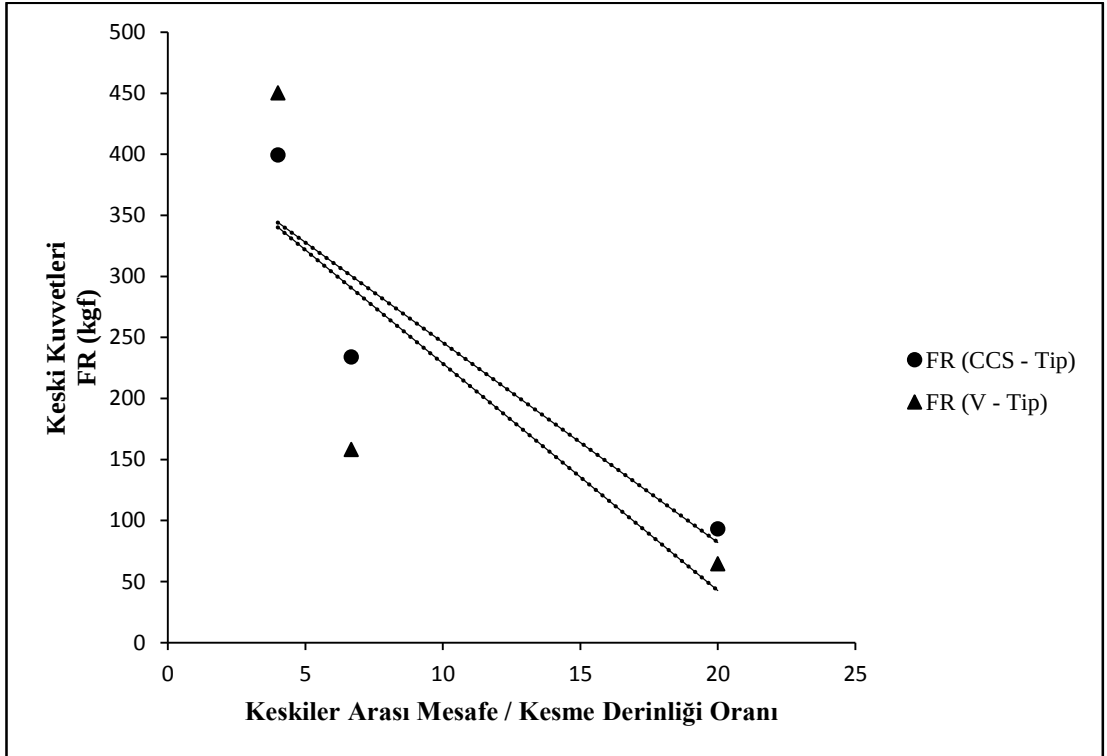
Keskiler üzerine etki eden kuvvetlerin değişimini gösteren ilgili grafiklere bakıldığında ise CCS tip disk keski üzerine etki eden kuvvetler arasındaki ilişkinin mini V tip disk keski üzerine etki eden kuvvetler arasındaki ilişkiden daha kuvvetli olduğu görülmektedir.



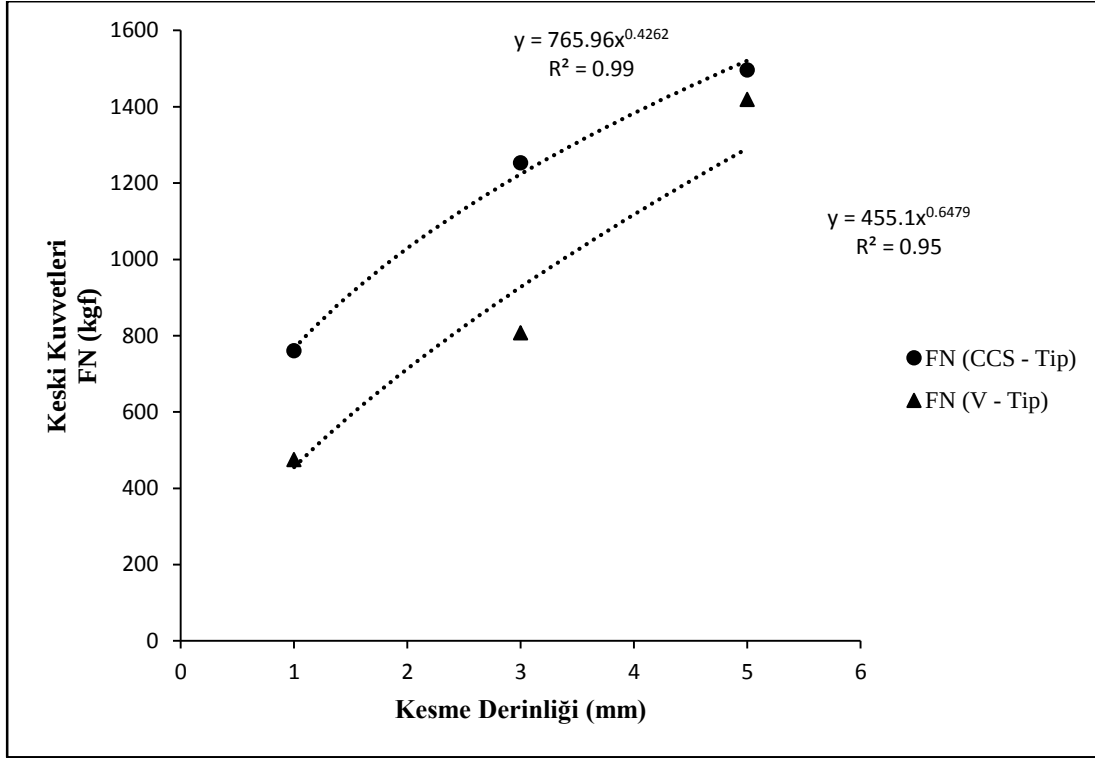
Şekil 4.157 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımlı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



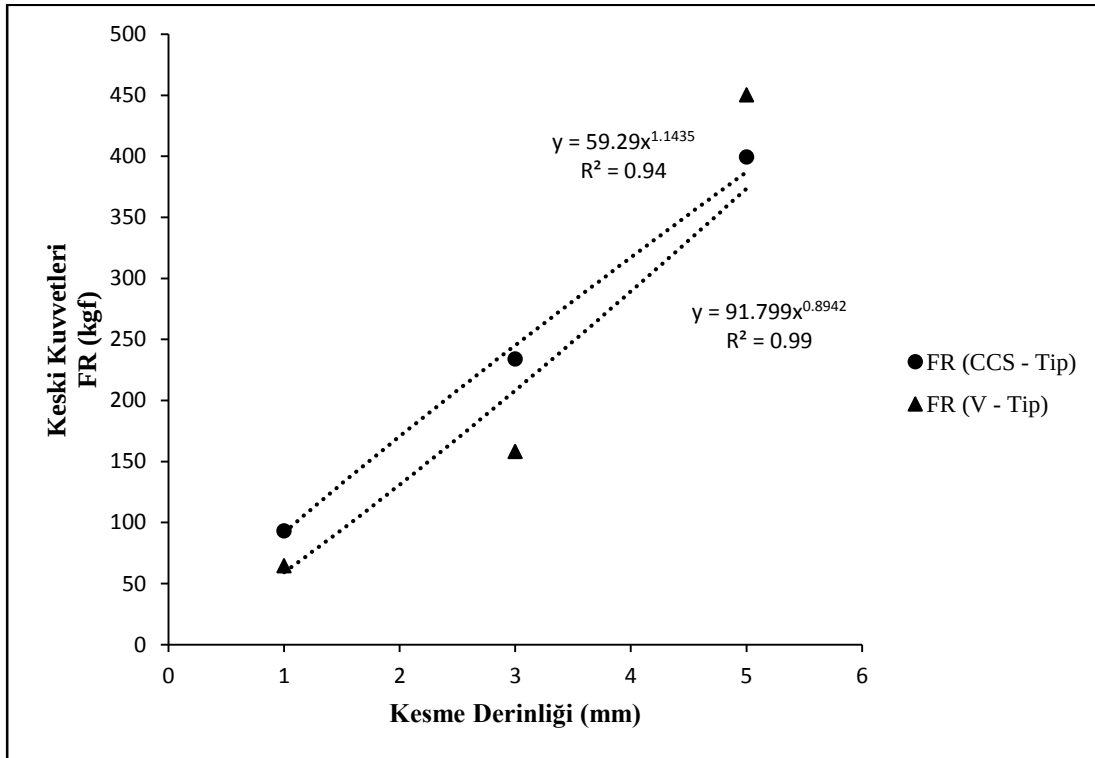
Şekil 4.158 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.159 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.160 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 4.161 : Konglomera numunesi üzerinde yapılan yardımcı PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

4.5 Pasa İrilik Katsayısı Tayini (Elek Analizi)

Mekanize kazı yöntemlerinin uygulanacağı projelerde kazı işlemlerinin verimli olup olmayacağının belirlenmesinde önemli bir parametre de pasa irilik katsayısı değeridir. Pasa irilik katsayısı kazının verimliliğini belirten boyutsuz bir sayıdır ve belirli sayıdaki eleklerden elenen pasaların kümülatif ağırlık yüzdeleri olarak ifade edilir (Tunçdemir, 2002).

Kazı sonrası çıkan pasanın parça boyut dağılımının kazı verimiyle doğrudan ilişkili olduğu ve kazı prosesi ile kaya parçalama mekanizması hakkında bizlere bilgi verdiği yapılan araştırmalar sonucunda ortaya konduğu için kaya kesme deneyleri sonucunda pasa irilik katsayısının belirlenmesi özellikle gerekmektedir (Roxborough, 1973). Roxborough tarafından yapılan çalışma sonucunda spesifik enerji ile pasa irilik katsayısı arasında ters eğilimli bir ilişki bulunmuştur. Buna göre spesifik enerji arttıkça pasa irilik katsayısı azalmaktadır.

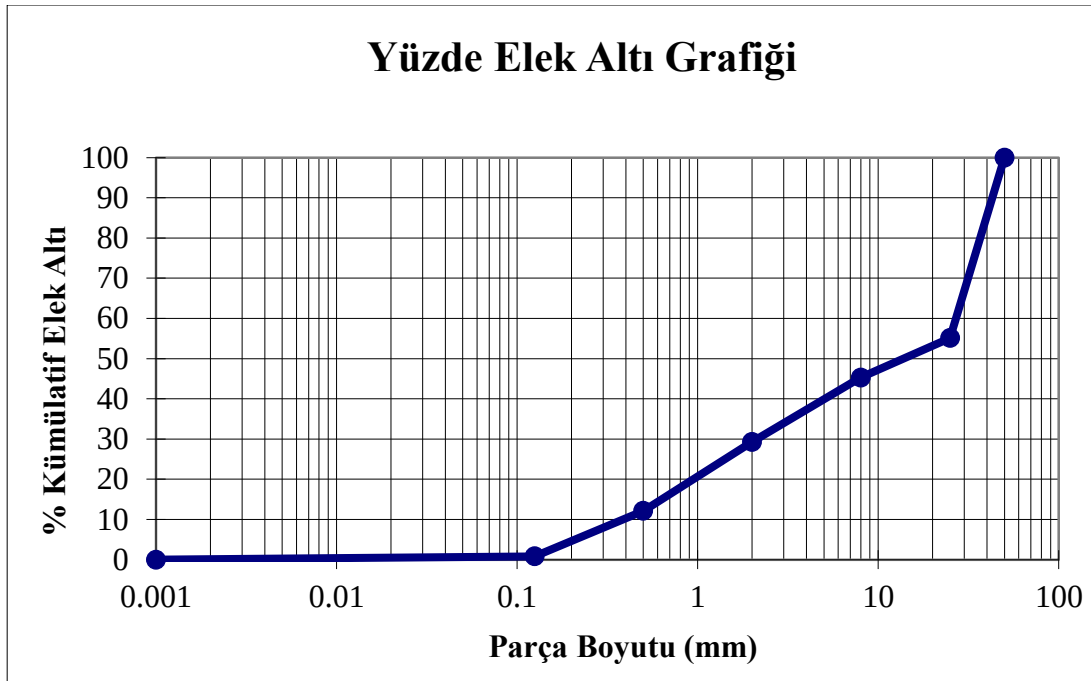
Pasa irilik katsayısı belirlenirken seçilen elekler pasa boyutunu karşılayacak şekilde olmalıdır (Tunçdemir, 2002). Bu doktora tezi kapsamında yapılan LCM ve PLCM kaya kesme deneyleri için pasa boyutları farklılık gösterdiğinden iki farklı elek serisi kullanılmıştır. Yapılan tüm kaya kesme deneyleri sonucunda çıkan pasalar toplanmış ve belirlenen iki farklı elek serisi kullanılarak elek analizleri yapılmıştır.

LCM ve PLCM kaya kesme deneyleri için yapılan elek analizlerinde her bir kaya kesme deneyi için elde edilen pasa miktarı elek serisi üzerine dökülmüş ve standart titreşimli elek üzerinde 10 dakika süre ile elenmiştir. Eleme işlemi tamamlandıktan sonra her bir elek üzerinde kalan pasa miktarı hassas terazi ile tartılmış ve ağırlıkları ölçülmüştür. Bu işlemlerden sonra kümülatif elek üstü yüzdeleri toplanarak pasa irilik katsayısı hesaplanmıştır.

LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden elde edilen pasalar kullanılarak yapılan elek analizleri sonucunda elde edilen grafiklere birer örnek Çizelge 4.54 – 4.55’ de verilmiş olup diğer kaya kesme deney sonuçlarına ait elek analizi grafikleri EK – C’ de verilmiştir. Ek olarak verilen elek analizi sonuçları bu tez kapsamında detaylı olarak incelenmemiş olup ilerki çalışmalarda bu analiz sonuçları detaylı şekilde incelenecektir.

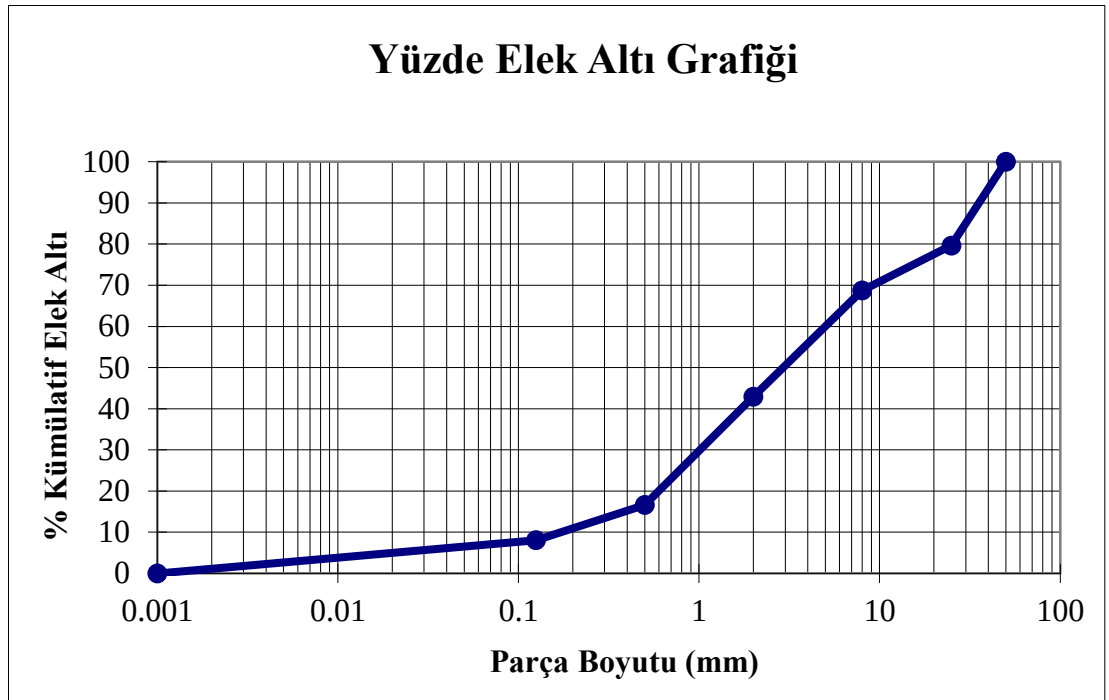
Çizelge 4.54 : Küfeki kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	1366.14	44.88	1366.14	44.9	457
2	-25 + 8	299.14	9.83	1665.28	54.7	
3	-8 + 2	486.43	15.98	2151.71	70.7	
4	-2 + 0.5	522.8	17.18	2674.51	87.9	
5	-0.5 + 0.125	343.52	11.29	3018.03	99.2	
6	-0.125	25.86	0.85	3043.89	100.0	



Çizelge 4.55 : Konglomera için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	25.74	20.32	25.74	20.3	482
2	-5.6 + 4	13.85	10.94	39.59	31.3	
3	-4 + 2	32.67	25.80	72.26	57.1	
4	-2 + 1	33.32	26.31	105.58	83.4	
5	-1 + 0.5	10.86	8.57	116.44	91.9	
6	-0.5 + 0.125	18.23	14.39	123.81	97.8	
7	-0.125	10.21	8.06	126.65	100.0	



5. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 LCM – PLCM Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

5.1.1 Bej mermer numunesi için yapılan LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması

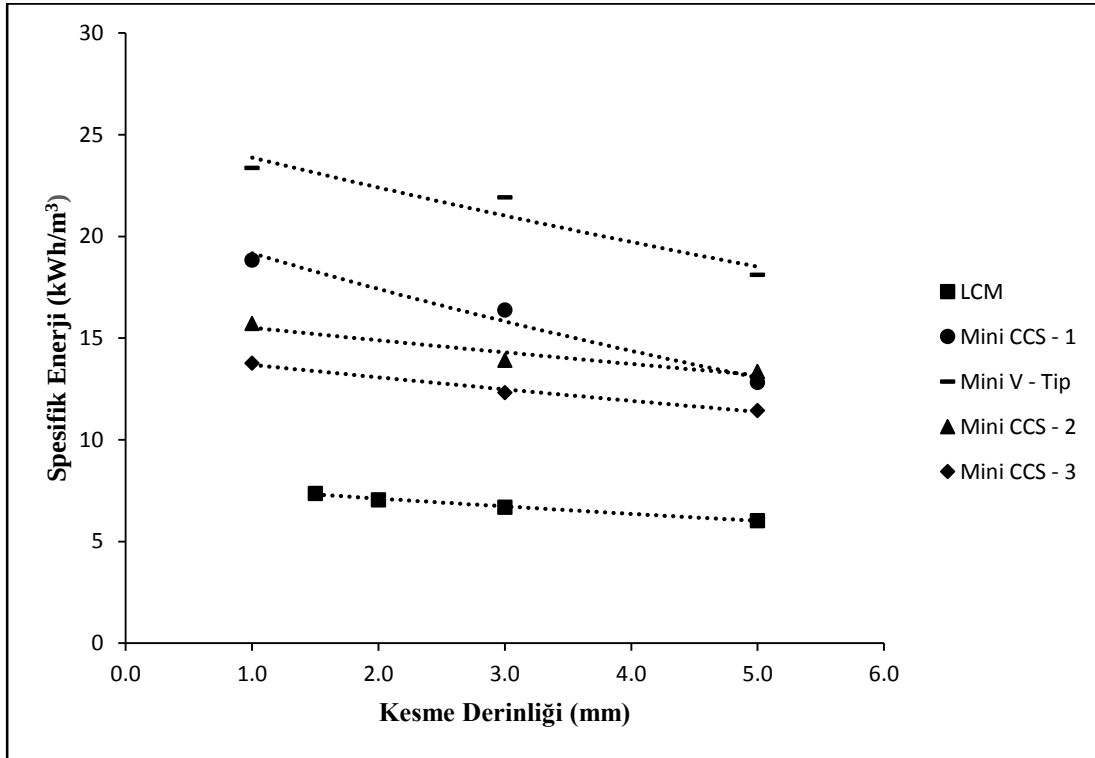
Bej mermerin bu deneysel çalışmalar sırasında kullanılmasının amacı; masif bir yapıya sahip olması nedeniyle LCM ve PLCM deneylerinin karşılaştırılması hususunda daha doğru sonuçlar vereceği düşünüldüğündendir. LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinde kullanılan hem büyük blok numunelerin hem de küçük küp numunelerin genel fiziksel ve mekanik özelliklerinin (numune içerisindeki süreksizlikler, kırılgenlik gibi) çok farklılık göstermeyeceği ön görülmüştür.

Sonuç olarak 432 mm çaplı çaplı CCS tip disk keski kullanılarak LCM deneyleri yapılmış, deney sonuçları kendi içinde değerlendirilmiş ve aynı şekilde 4 farklı mini disk keski kullanılarak PLCM deneyleri yapılarak sonuçları kendi içinde değerlendirilmiştir. Bir sonraki aşamada ise LCM deney sonuçları ile PLCM deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Yardımlı ve yardımsız yapılan deneyler sonunda kesme derinliğine ve keski arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji değerlerinin ve keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 5.1 – 5.5’ te verilmiştir.

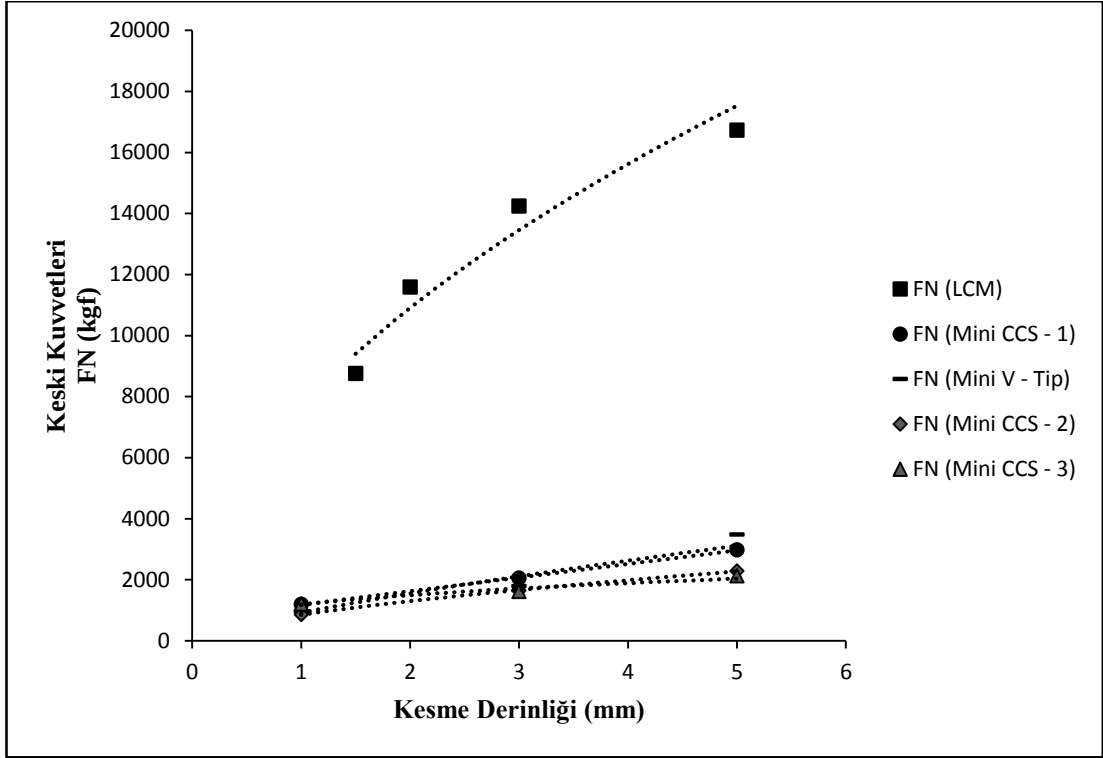
Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi hem LCM deney sonuçlarında hem de mini disk keskiyle yapılan PLCM deneyleri sonuçlarında kesme derinliği arttıkça spesifik enerji değerlerinin azaldığı görülmektedir. LCM deneyleri sonucunda çıkan spesifik enerji değerlerinin daha düşük olduğu ve CCS tip mini disk keski sonuçlarının V tip disk keski sonuçlarına nazaran LCM sonuçlarına daha yakın olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin LCM deney setinde kullanılan 432 mm çaplı disk keskinin de CCS tip disk keski olması düşünülebilir.

LCM ve PLCM kazı deney setlerinde yapılan yardımsız kaya kesme deney sonuçlarında disk keski üzerine gelen normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin kesme derinliğine bağlı olarak değişimi Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’ te verilmiştir. Şekil 5.2’ de görüldüğü gibi LCM deneyleri sırasında 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine gelen normal kuvvetlerin ortalama değeri PLCM deney setinde mini disk keski üzerine gelen kuvvetlerin ortalama değerinden fazladır. Bu durum disk keski çaplarının çok farklı olmasıyla açıklanabilir.

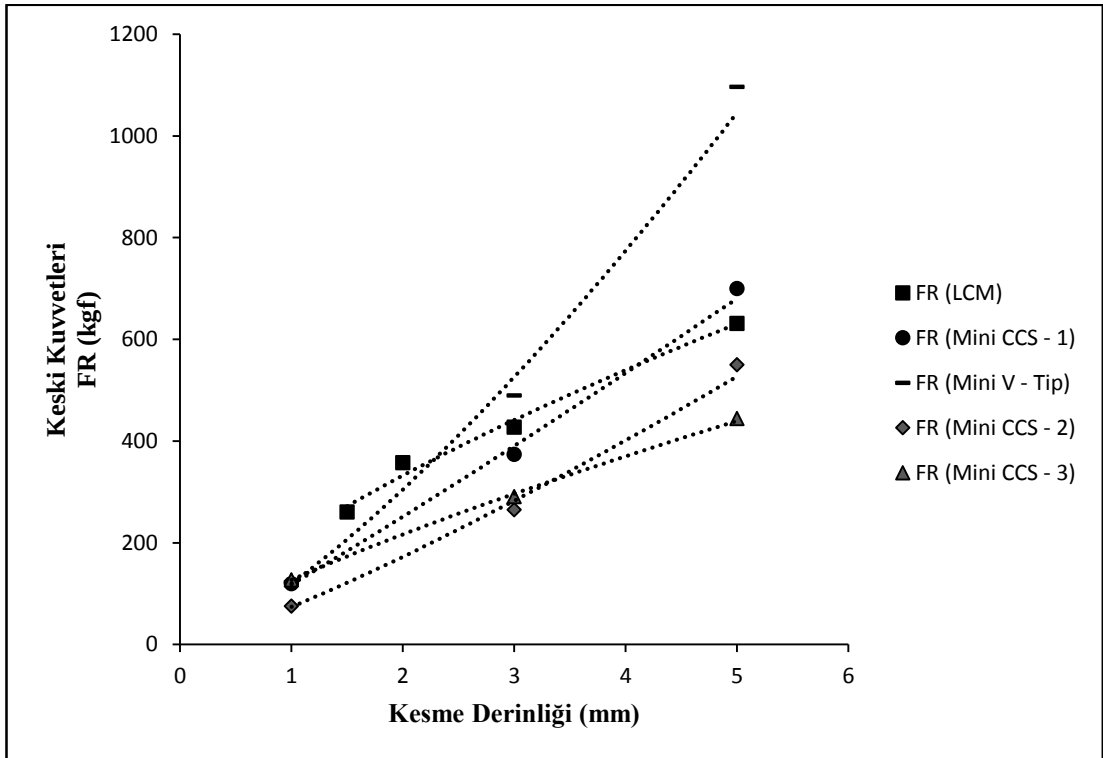
Kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetlerinin değişimini gösterir grafik ise Şekil 5.3’ te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi mini CCS tip disk keski üzerine etki eden ortalama yuvarlanma kuvvetleri değerleri ile 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine etki eden ortalama yuvarlanma değerleri yakınlık göstermektedir. Buna karşın mini V tip disk keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri değeri özellikle kesme derinliği değeri arttıkça farklılık göstermektedir.



Şekil 5.1 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 5.2 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

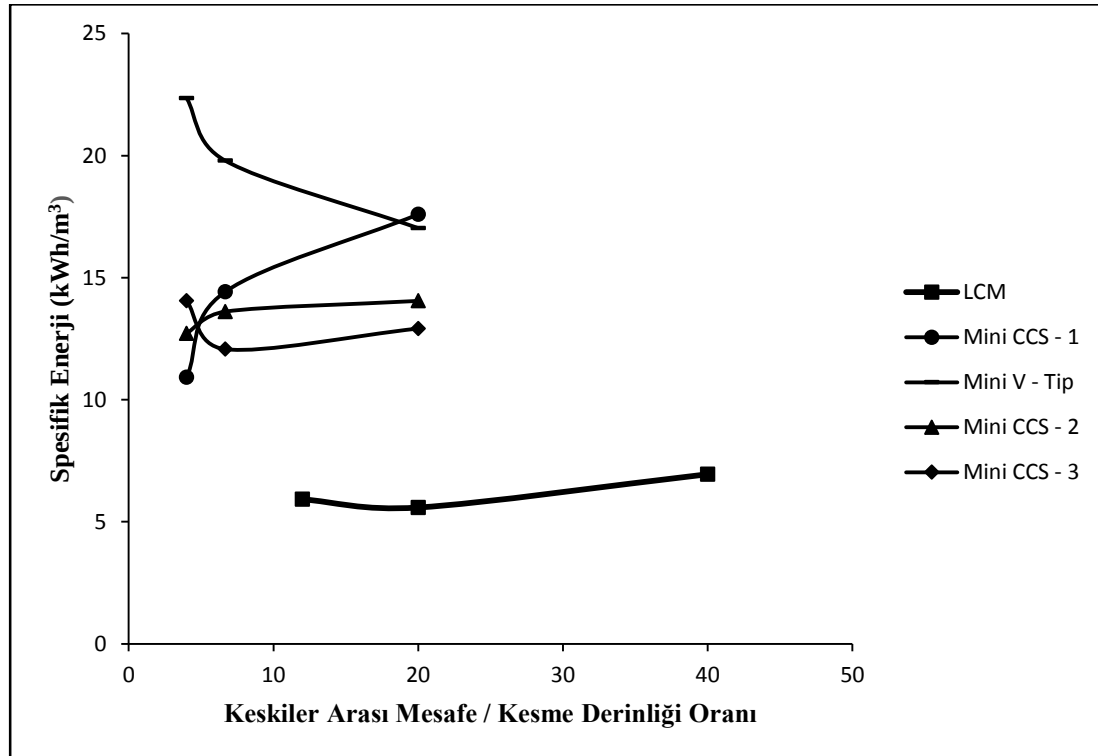


Şekil 5.3 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

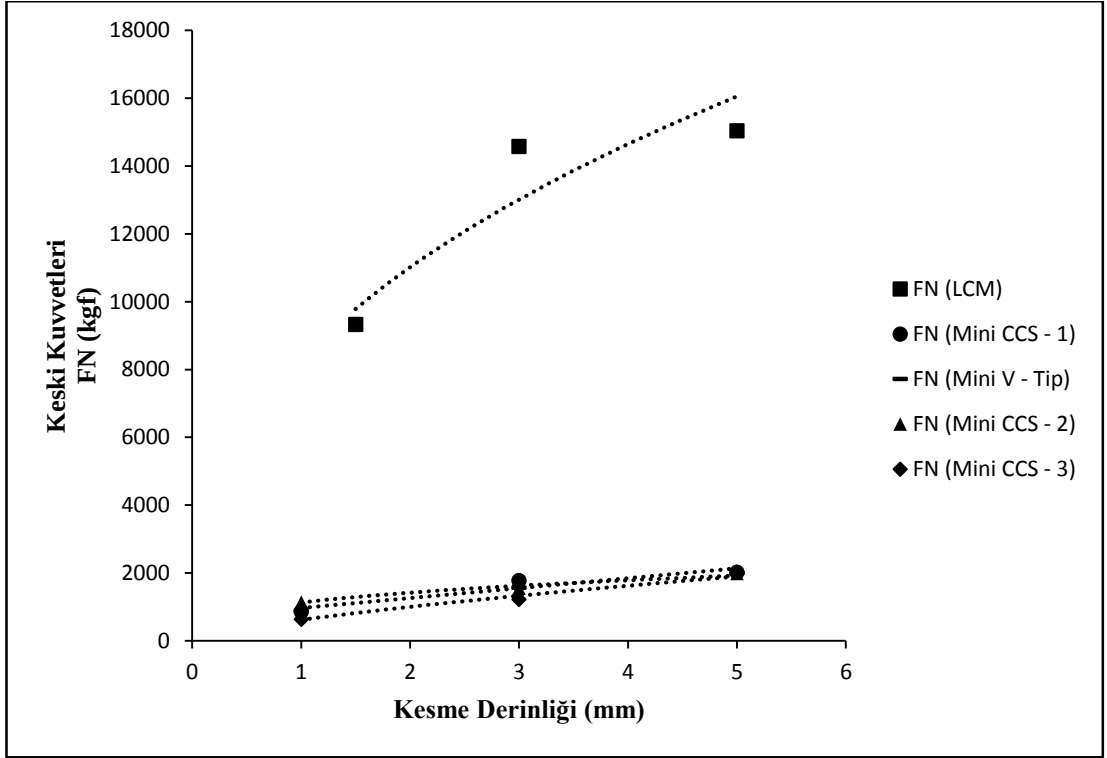
LCM ve PLCM kazı deney setlerinde yapılan yardımcı kaya kesme deneylerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen grafikler ise Şekil 5.4 – 5.9’ da verilmiştir.

Şekil 5.4’ te keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji değişimini gösterir grafik verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi mini disk keskilerle yapılan deneylerde elde edilen optimum spesifik enerji değerleri 432 mm çaplı CCS tip disk keskiyle yapılan deneylerden elde edilen optimum spesifik enerji değerlerinden farklıdır.

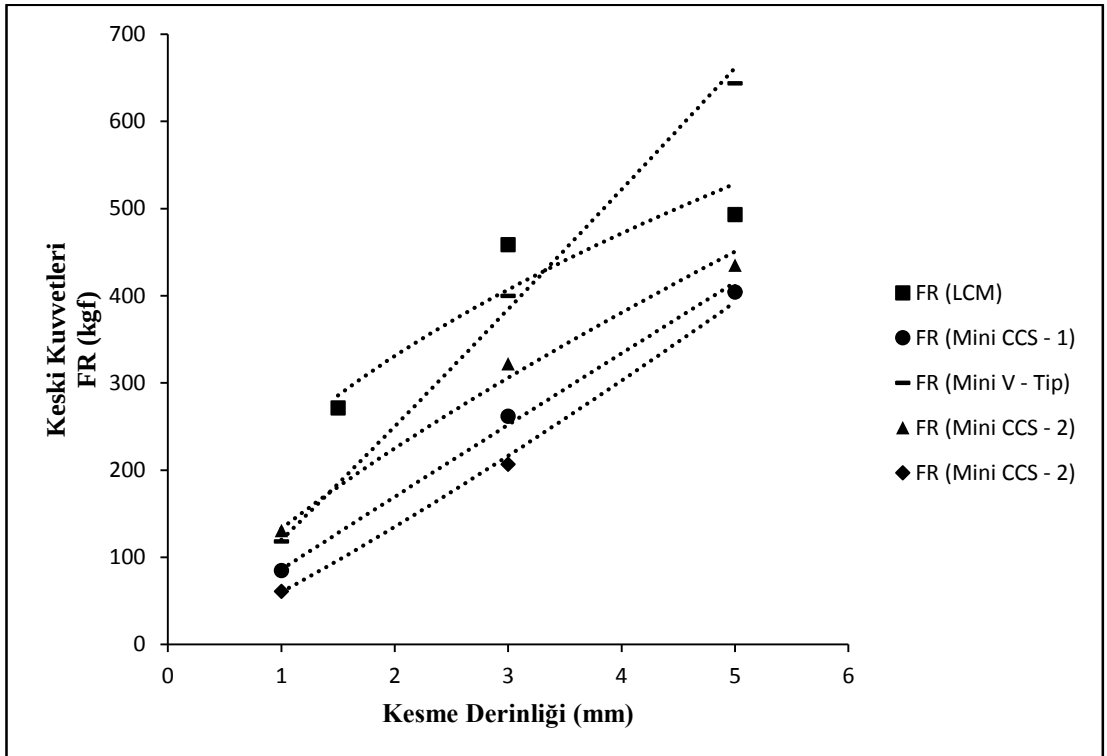
Şekil 5.5 – 5.6’ da verilen kesme derinliğine bağlı olarak keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafiklerde ise deney sonuçlarının yardımsız kesme deneylerinden elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği görülmektedir. Tek fark olarak keski üzerine etki eden ortalama normal kuvvetler bakımından V tip mini disk keskinde mini CCS tip disk keskilerle yakın değerler verdiği görülmektedir.



Şekil 5.4 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 5.5 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

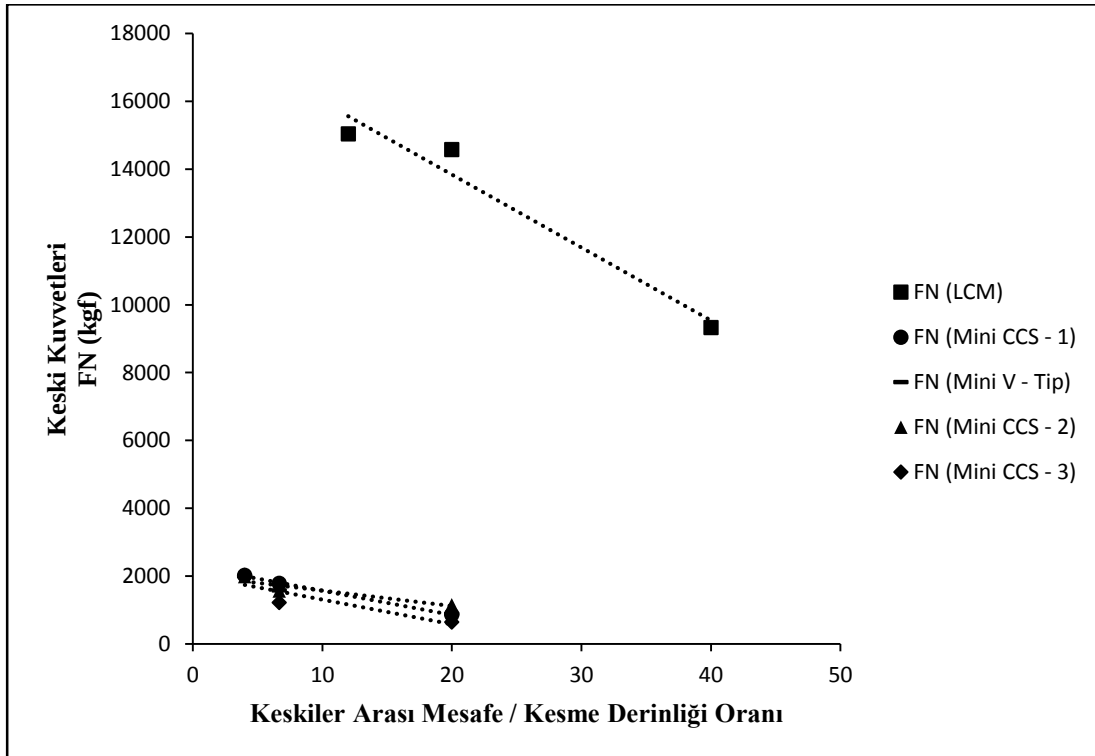


Şekil 5.6 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

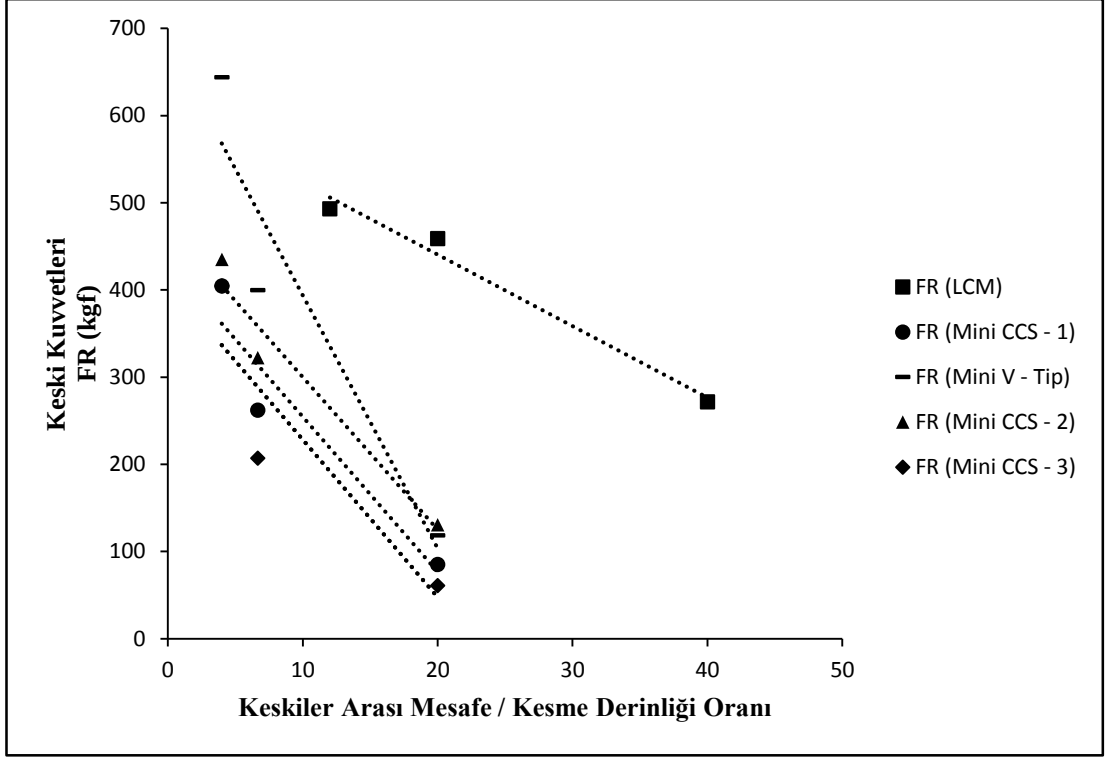
Şekil 5.7 – 5.8’ de ise keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin değişimini gösterir grafikler verilmiştir.

İlgili grafiklerde tüm deney sonuçları için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranı arttıkça keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Disk üzerine etki eden normal kuvvetlerin dağılımında mini V tip disk keskinin mini CCS tip disk keskilerle yakın sonuçlar verdiği ve LCM deney sonuçlarının PLCM deney sonuçlarının yaklaşık 8 katı olduğu görülmektedir.

Mini disk keskiler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetlerine bakıldığında ise özellikle kesme derinliği arttığında mini V tip disk keskinin mini CCS tip disk keskilere nazaran farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. 432 mm çaplı CCS tip disk keski ile mini CCS tip disk keski arasındaki ilişkiye bakıldığında ise aynı keskiler arası mesafe kesme derinliği oranında ($s / d = 20$) mini CCS tip disk keskiler üzerine yaklaşık 5 kat daha az kuvvetin etki edildiği görülmektedir.



Şekil 5.7 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keskiler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 5.8 : Bej mermer numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keskiler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

5.1.2 Traverten numunesi için yapılan LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması

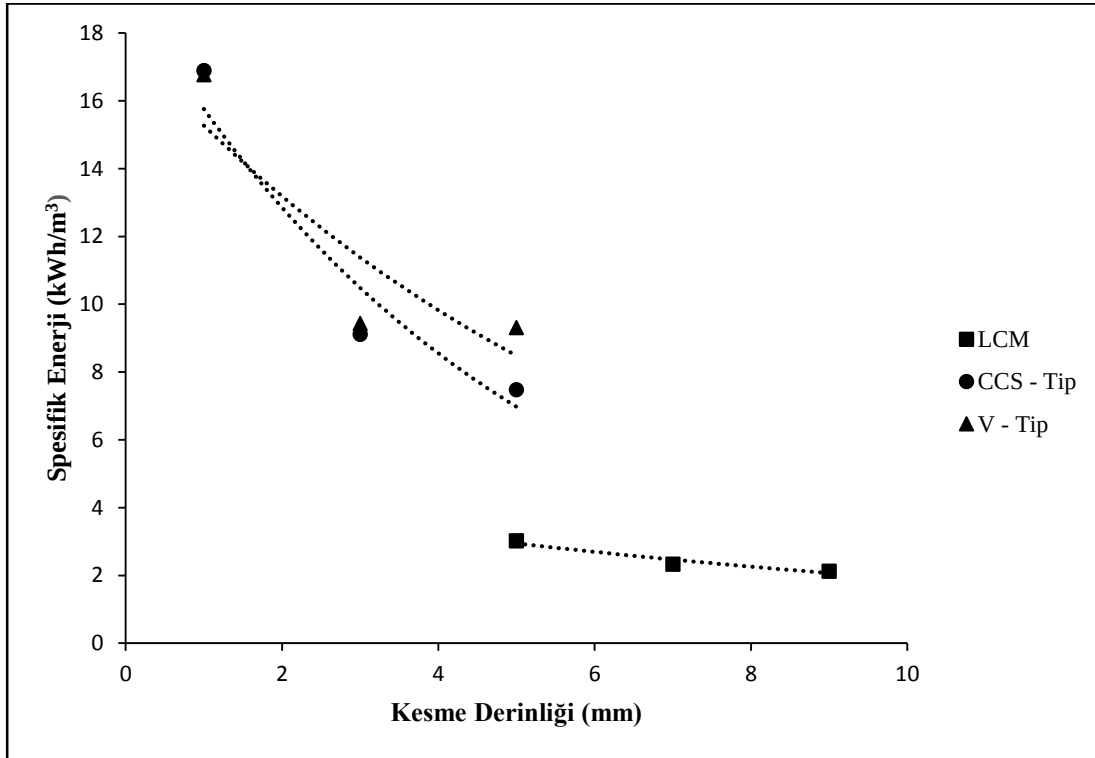
Traverten numunesi üzerinde LCM deneyleri yapılırken 5, 7 ve 9 mm kesme derinliği değerlerinde yardımcı ve yardımcı olmayan deneyler yapılmıştır. Yardımlı yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde keski arası mesafe değeri önce 60 mm daha sonra 80 mm olarak ayarlanarak iki farklı durumda deneyler yapılmıştır.

Traverten numunesi üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde iki farklı mini disk keski kullanılmış ve elde edilen deney sonuçları LCM deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yardımsız yapılan deneyler sonunda kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 5.9 – 5.11’ de verilmiştir.

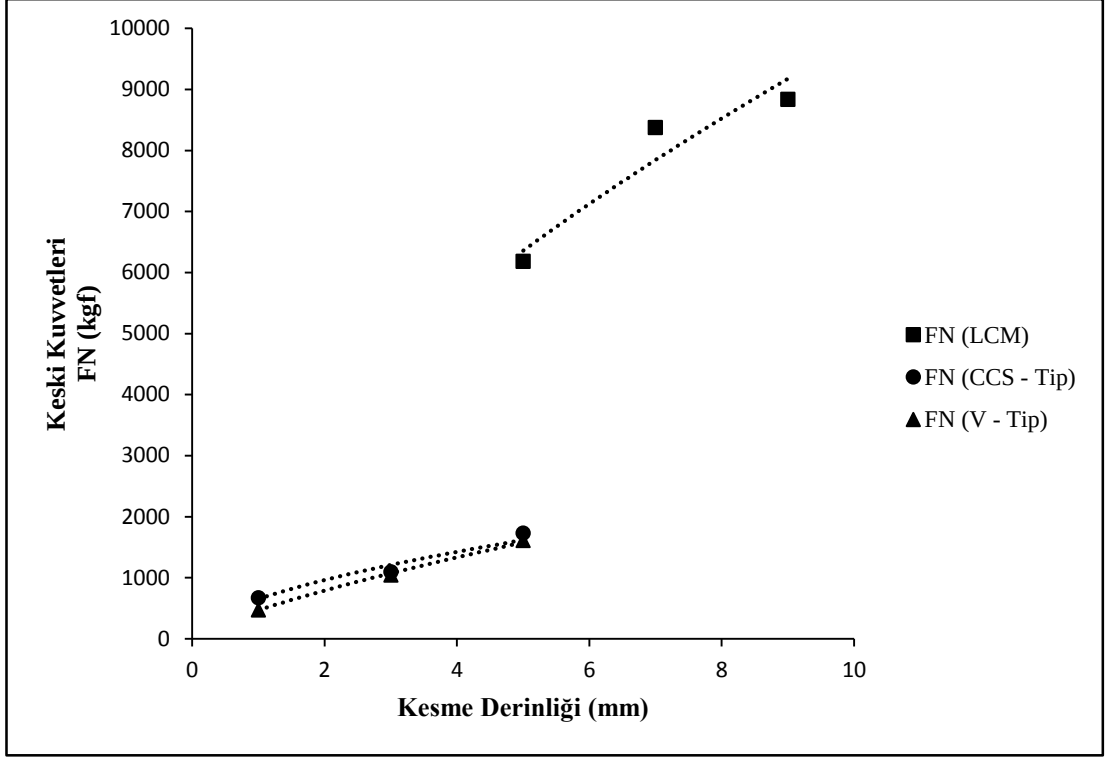
Şekil 5.9’ da görüldüğü gibi LCM deneyleri sonucunda çıkan spesifik enerji değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. aynı kesme derinliği değerinde (5 mm) PLCM deneyleri sonucunda elde edilen spesifik enerji değerinin LCM deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin yaklaşık 5 katı olduğu görülmektedir. Bunun

sebebinin LCM deney setinde kullanılan 432 mm çaplı disk keskinin de CCS tip disk keski olması düşünülebilir.

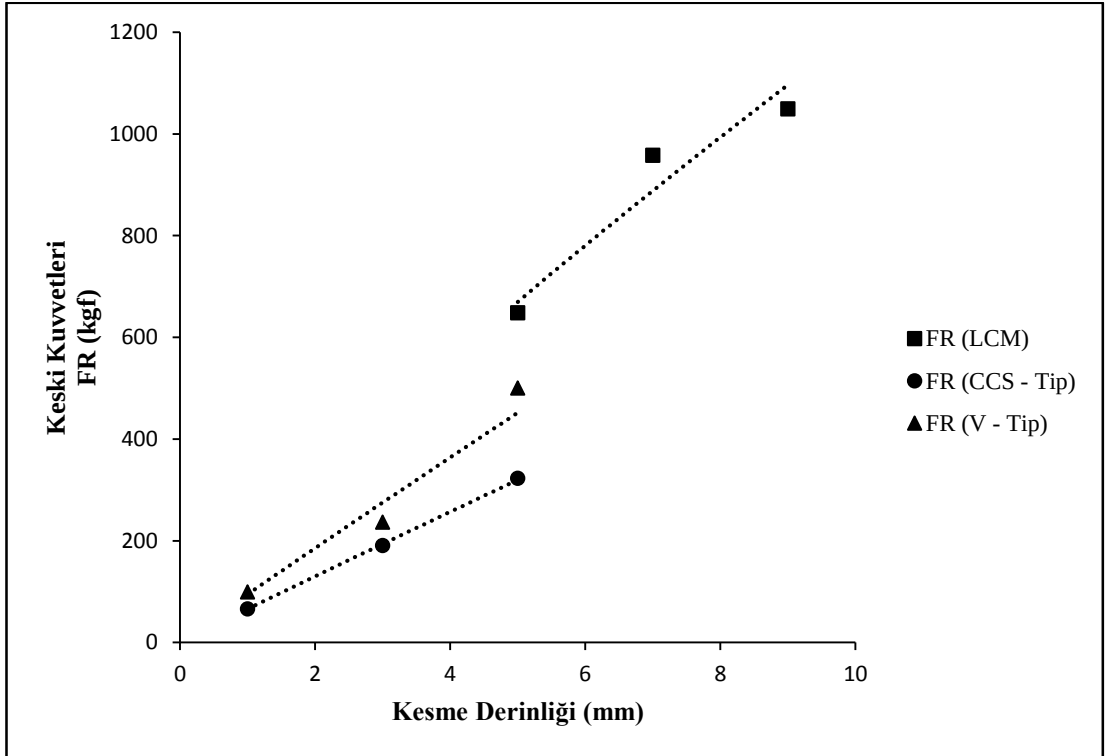
LCM ve PLCM kazı deney setlerinde yapılan yardımsız kaya kesme deney sonuçlarında disk keski üzerine gelen normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin kesme derinliğine bağlı olarak değişimi Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’ de verilmiştir. Şekil 5.10’ de görüldüğü gibi teoriler uygun olarak LCM deneyleri sırasında 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine gelen normal kuvvetlerin ortalama değeri, PLCM deney setinde mini disk keski üzerine gelen kuvvetlerin ortalama değerinden fazladır. Bu durum disk keski çaplarının çok farklı olmasıyla açıklanabilir. İlgili şekillere bakıldığında aynı kesme derinliği değerinde 432 mm çaplı disk keski üzerine gelen normal kuvvet değerinin mini disk keski üzerine gelen kuvvet değerlerinden yaklaşık üç kat fazla olduğu fakat yuvarlanma kuvvet değerleri için bu değerler arasındaki farkın daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 5.9 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 5.10 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

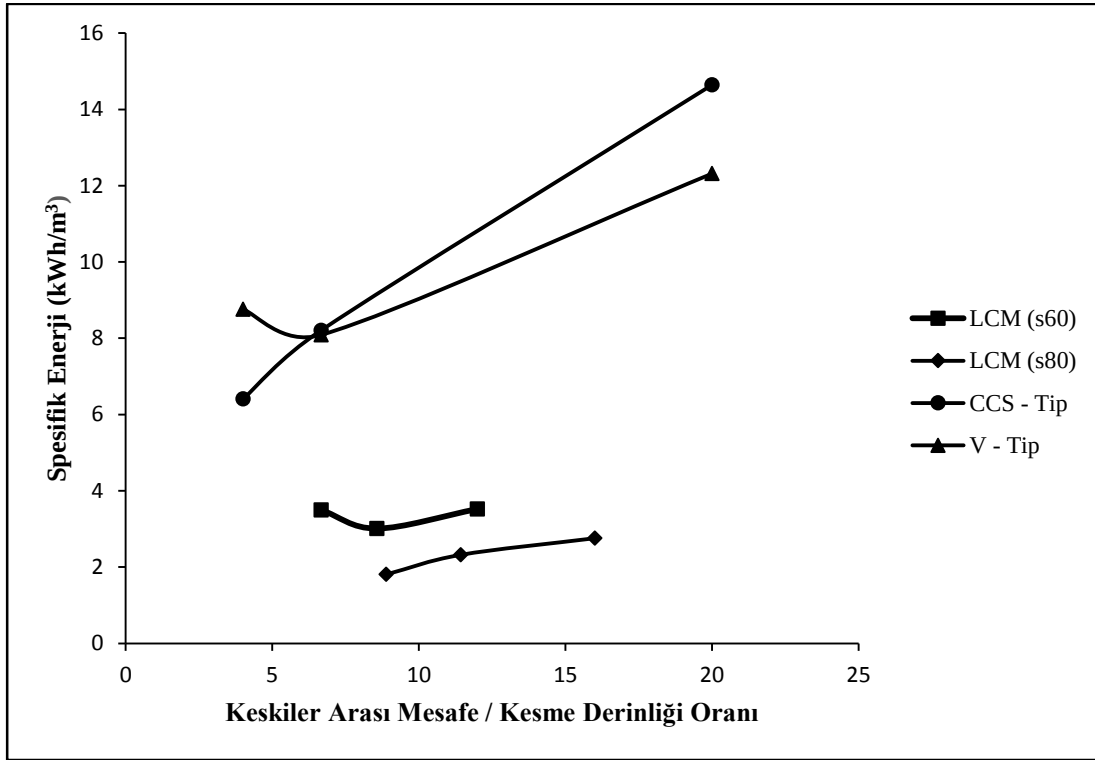


Şekil 5.11 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

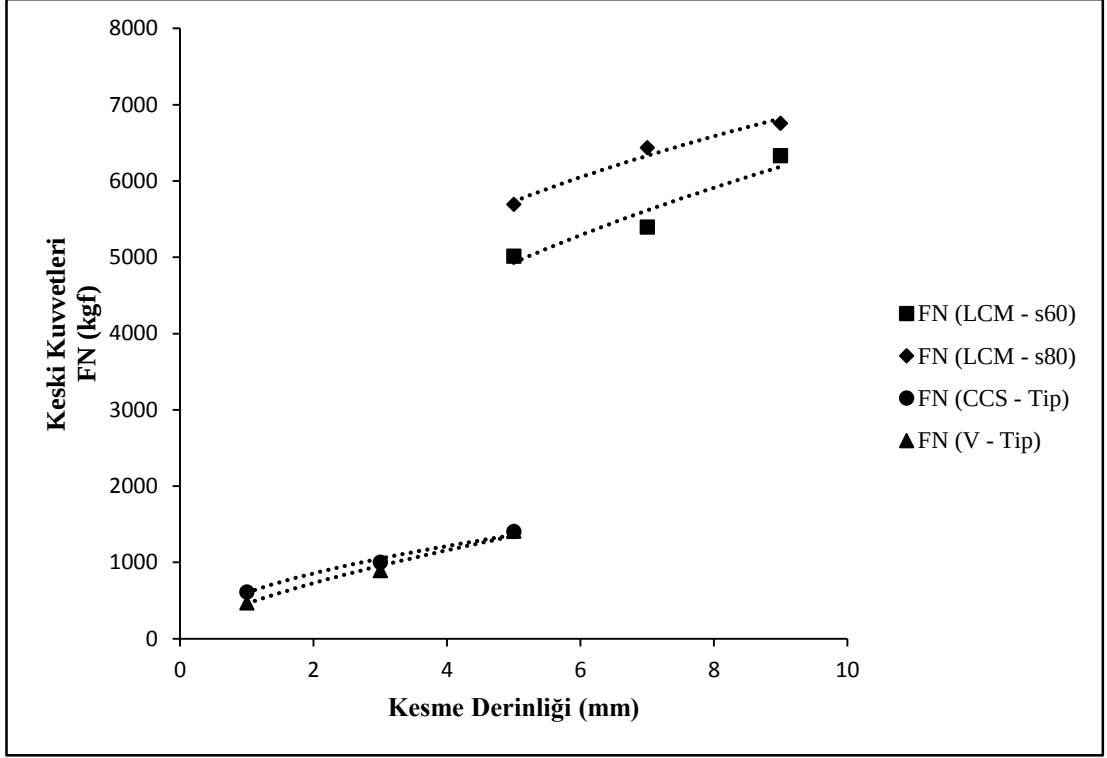
LCM ve PLCM kazı deney setlerinde yapılan yardımcı kaya kesme deneylerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen grafikler ise Şekil 5.12 – 5.16’ da verilmiştir.

Şekil 5.12’ de keskiyer arası mesafe / kesme derinliği oranına bağı olarak spesifik enerji değişimini gösterir grafik verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 432 mm çaplı CCS tip disk keskiyerle yapılan deneylerden elde edilen optimum spesifik enerji değerleri her iki keskiyer arası mesafe değeri (s60, s80) için aynı iken, mini disk keskiyerle yapılan deneylerde elde edilen optimum spesifik enerji değerlerinden farklıdır.

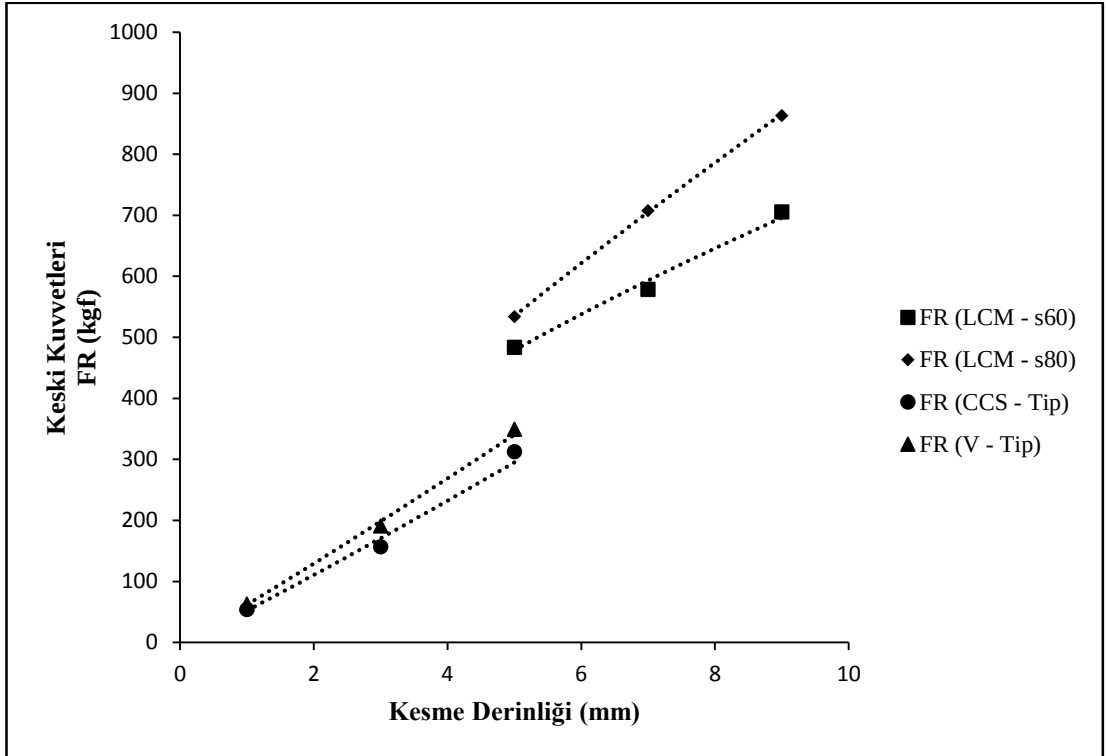
Şekil 5.13 – 5.14’ da verilen kesme derinliğine bağı olarak keskiyer üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafiklerde ise deney sonuçlarının yardımcısız kesme deneylerinden elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.12 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keskiyer arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.

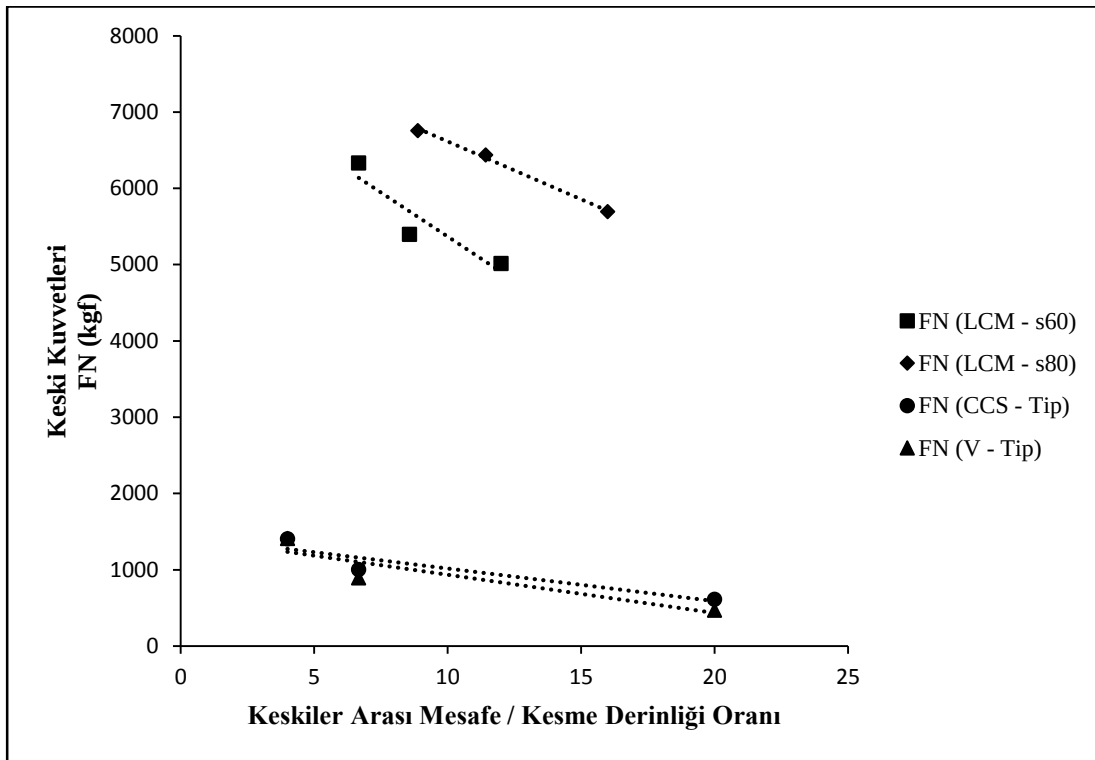


Şekil 5.13 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

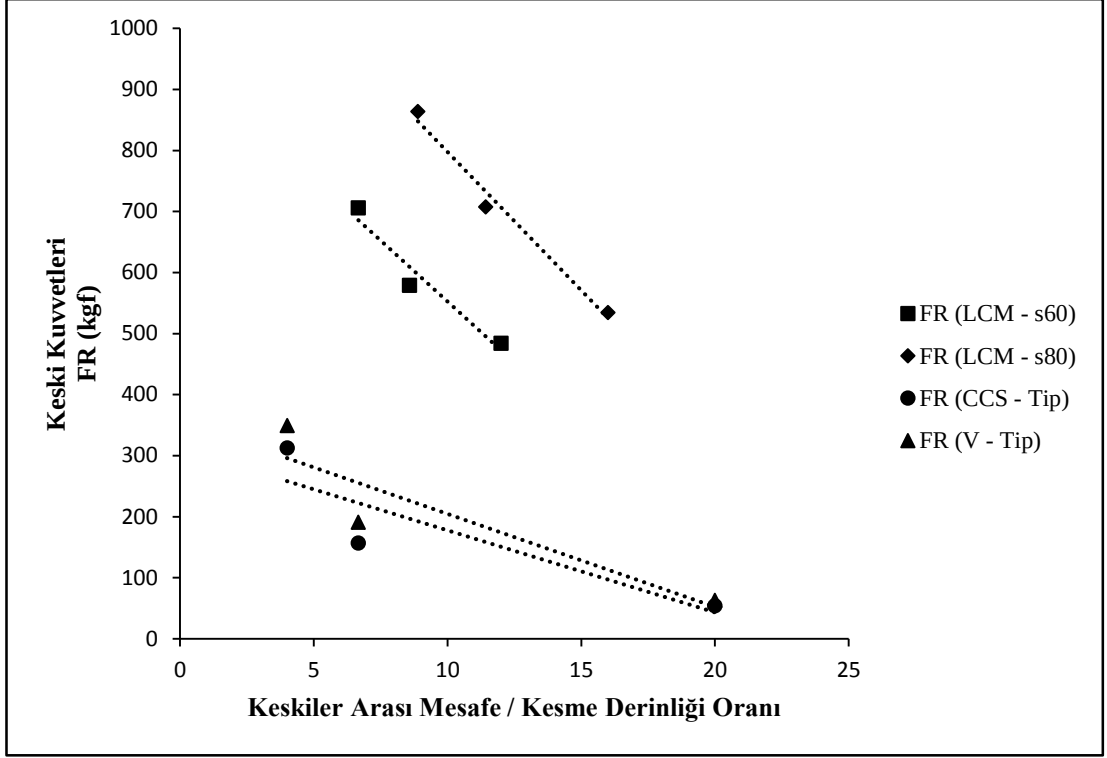


Şekil 5.14 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

Şekil 5.15 – 5.16’ da ise keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin değişimini gösterir grafikler verilmiştir. İlgili grafiklerde tüm deney sonuçları için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranı arttıkça keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin beklenildiği gibi azaldığı görülmektedir. Disk üzerine etki eden normal kuvvetlerin dağılımında mini V tip disk keskinin mini CCS tip disk keskilerle yakın sonuçlar verdiği, LCM deney sonuçlarının PLCLM deney sonuçlarından yuvarlanma kuvvetleri için yaklaşık 3 kat, normal kuvvet değerleri için ise yaklaşık 5 kat fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5.15 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCLM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keskiler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 5.16 : Traverten numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

5.1.3 Küfeki kireçtaşı numunesi için yapılan LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması

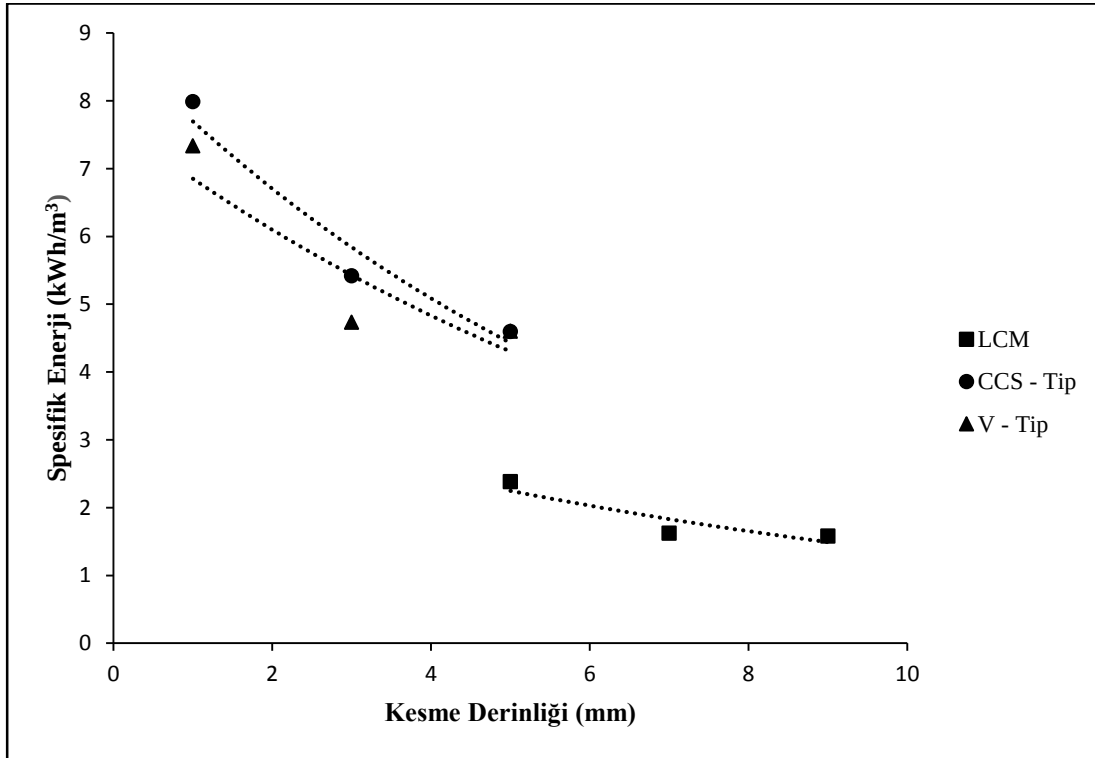
Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde LCM deneyleri yapılırken 5, 7 ve 9 mm kesme derinliği değerlerinde yardımcı ve yardımcı olmayan deneyler yapılmıştır. Yardımlı yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde keski arası mesafe değeri 80 mm olarak ayarlanarak deneyler yapılmıştır.

Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde iki farklı mini disk keski kullanılmış ve elde edilen deney sonuçları LCM deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yardımsız yapılan deneyler sonunda kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 5.17 – 5.19’ da verilmiştir.

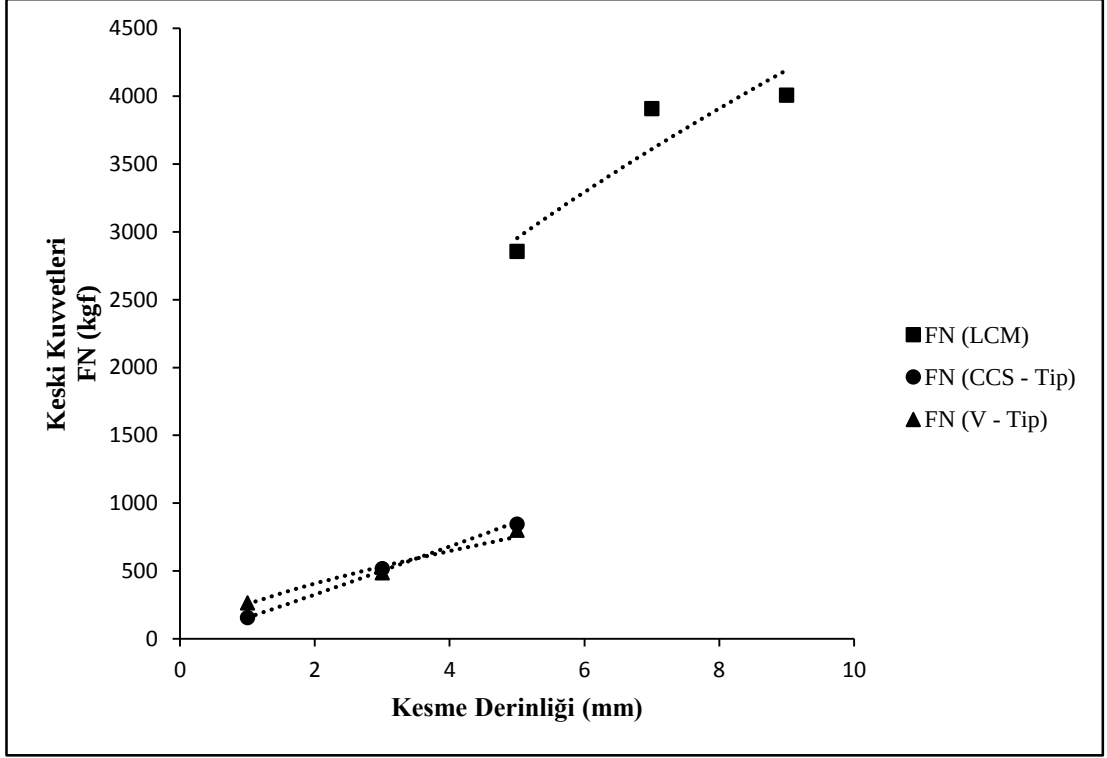
LCM ve PLCM deney sonuçlarının birlikte verildiği Şekil 5.17’ de görüldüğü gibi LCM deneyleri sonucunda çıkan spesifik enerji değerlerinin keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin daha fazla olmasından kaynaklı olarak daha düşük olduğu görülmektedir. 5 mm kesme derinliği değerinde PLCM deneyleri sonucunda elde

edilen spesifik enerji değerinin LCM deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin yaklaşık 2 katı olduğu görülmektedir.

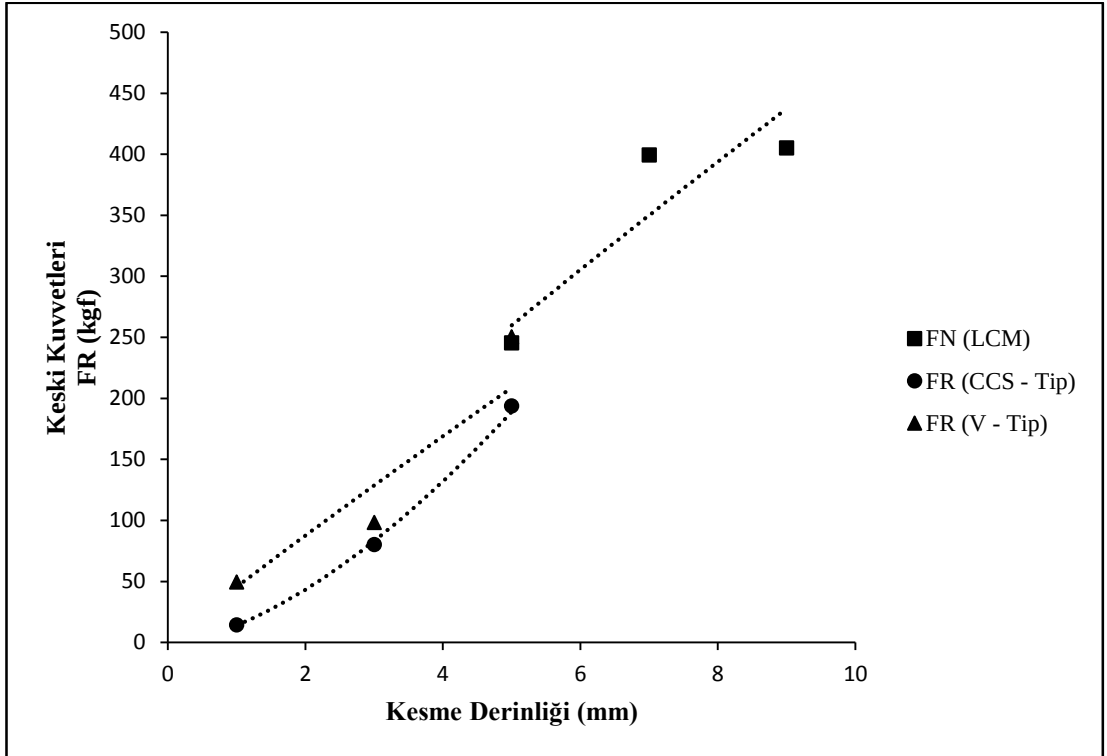
LCM ve PLCM kazı deney setlerinde yapılan yardımsız kaya kesme deney sonuçlarında disk keski üzerine gelen normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin kesme derinliğine bağlı olarak değişimi Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’ da verilmiştir. Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’ da görüldüğü gibi teoriler uygun olarak LCM deneyleri sırasında 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine gelen normal kuvvetlerin ortalama değeri, PLCM deney setinde mini disk keski üzerine gelen kuvvetlerin ortalama değerinden fazladır. 5 mm kesme derinliğinde 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine etki eden ortalama normal kuvvet değerleri mini disk keski üzerine etki eden normal kuvvet değerlerinin yaklaşık 4 katı olduğu halde, aynı kesme derinliği değerinde farklı disk keski üzerine etki eden ortalama yuvarlanma kuvvetlerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.17 : Kütüğü kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 5.18 : Küşeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcısız LCM - PLCM kesme deneyleri kesme derinliği ile keskiler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.

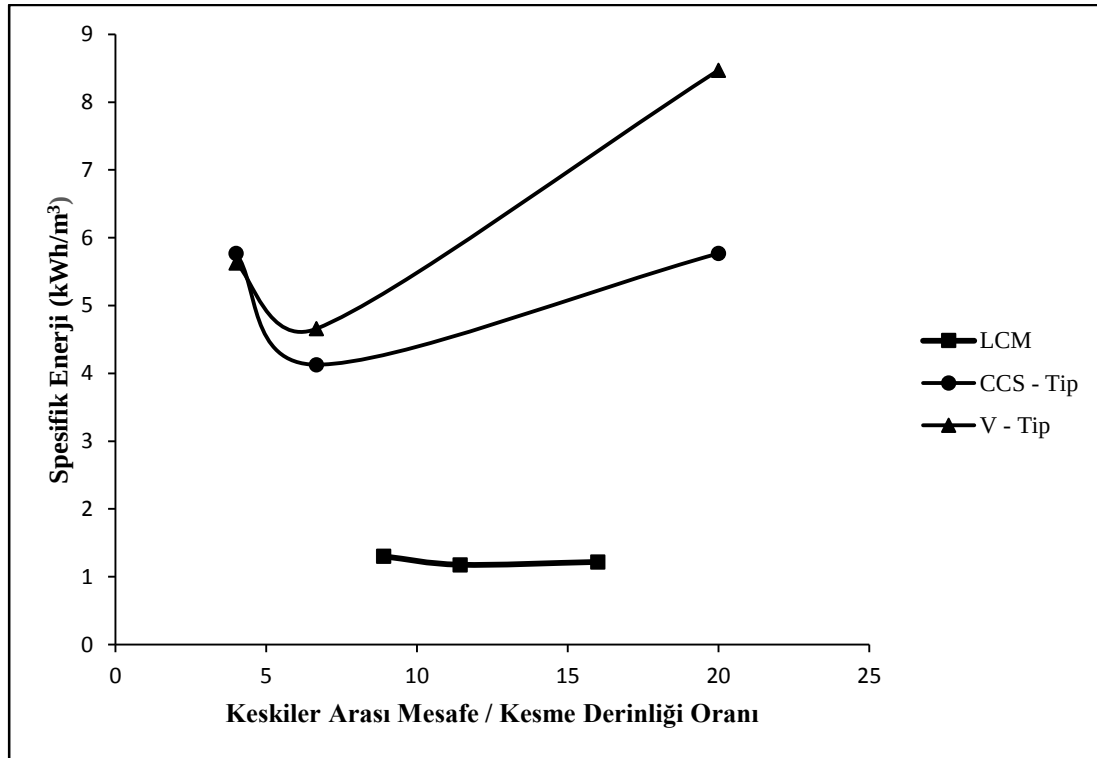


Şekil 5.19 : Küşeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcısız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keskiler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

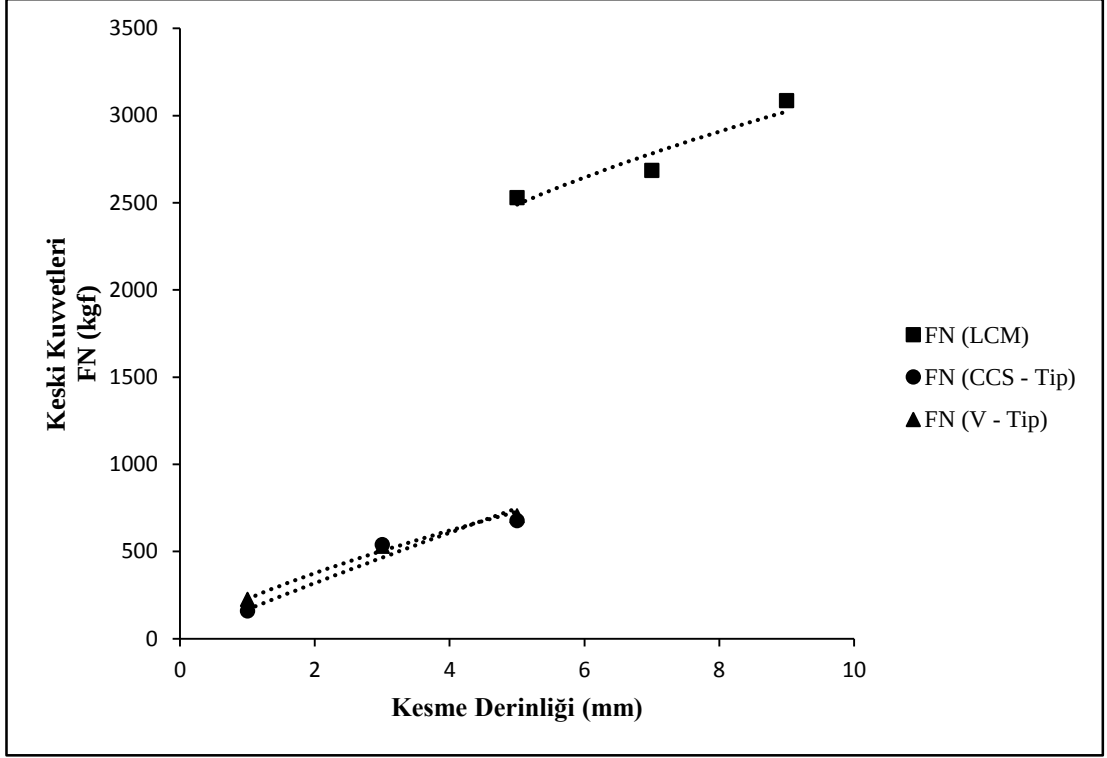
LCM ve PLCM kazı deney setlerinde yapılan yardımcı kaya kesme deneylerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen grafikler ise Şekil 5.20 – 5.25’ te verilmiştir.

Şekil 5.20’ de keski arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji değişimini gösterir grafik verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 432 mm çaplı CCS tip disk keskiyle yapılan deneylerden elde edilen optimum spesifik enerji değeri, mini disk keskiyle yapılan deneylerde elde edilen optimum spesifik enerji değerlerinden farklıdır. 432 mm çaplı CCS tip disk keski için optimum s / d oranı 12 iken bu değer CCS tip ve V tip mini disk keski için yaklaşık 7’ dir.

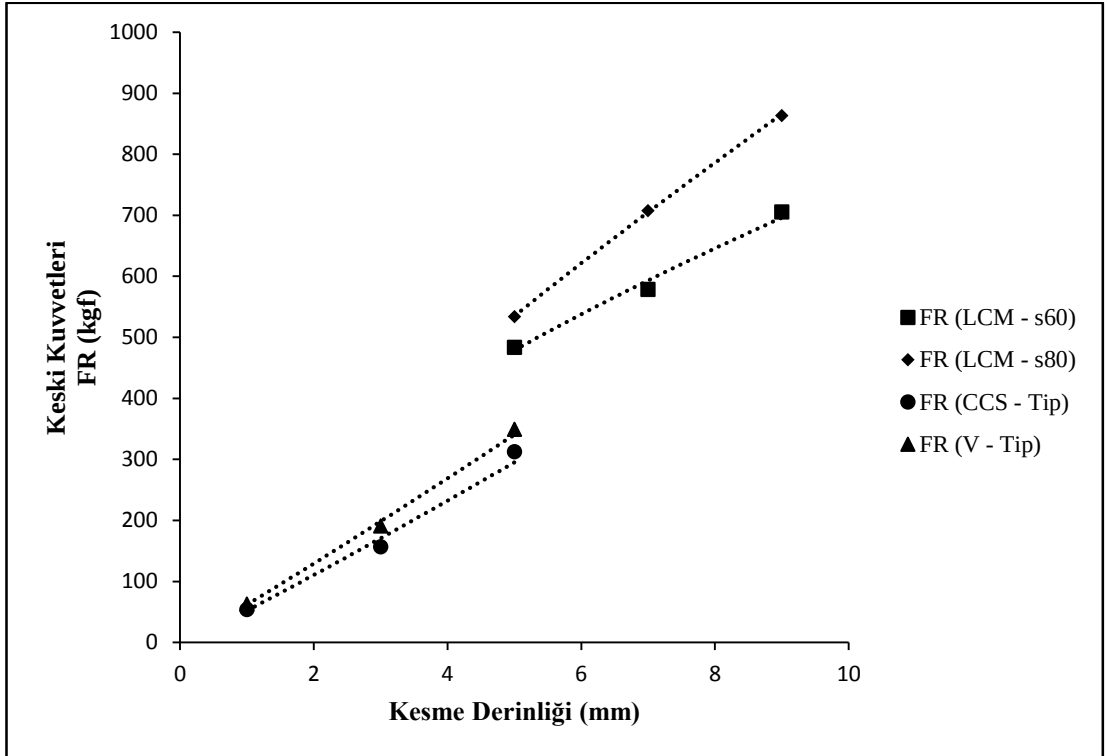
Şekil 5.21 – 5.22’ de verilen kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafiklerde ise deney sonuçlarının yardımcısız kesme deneylerinden elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.20 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.

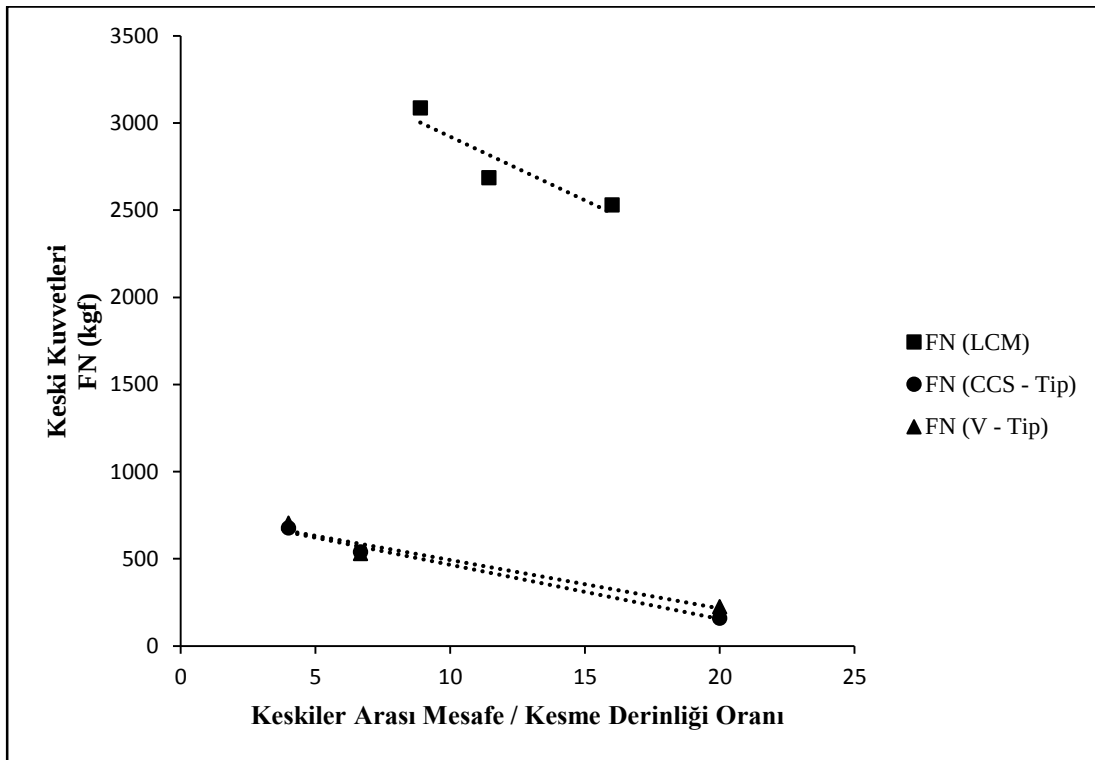


Şekil 5.21 : Küşeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

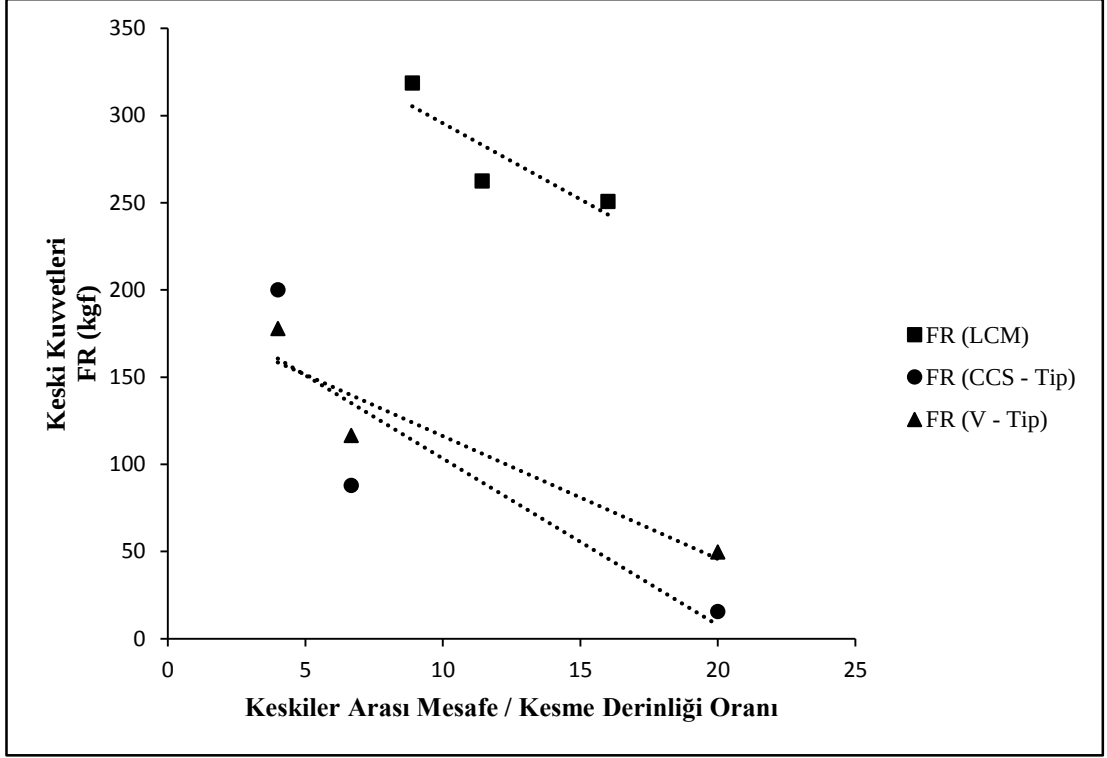


Şekil 5.22 : Küşeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

Şekil 5.23 – 5.24’ te ise keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin değişimini gösterir grafikler verilmiştir. İlgili grafiklerde tüm deney sonuçları için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranı arttıkça keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin beklenildiği gibi azaldığı görülmektedir. Disk üzerine etki eden normal kuvvetlerin dağılımında 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin mini disk keskiler üzerine etki eden normal kuvvet değerlerinin yaklaşık 5 katı olduğu, keskiler üzerine etki eden ortalama yuvarlanma kuvveti değerlerinde ise bu oranın yaklaşık 3 kat olduğu görülmektedir.



Şekil 5.23 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keskiler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 5.24 : Küküfki kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keskiiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keskiiler üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

5.1.4 Kireçtaşı numunesi için yapılan LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması

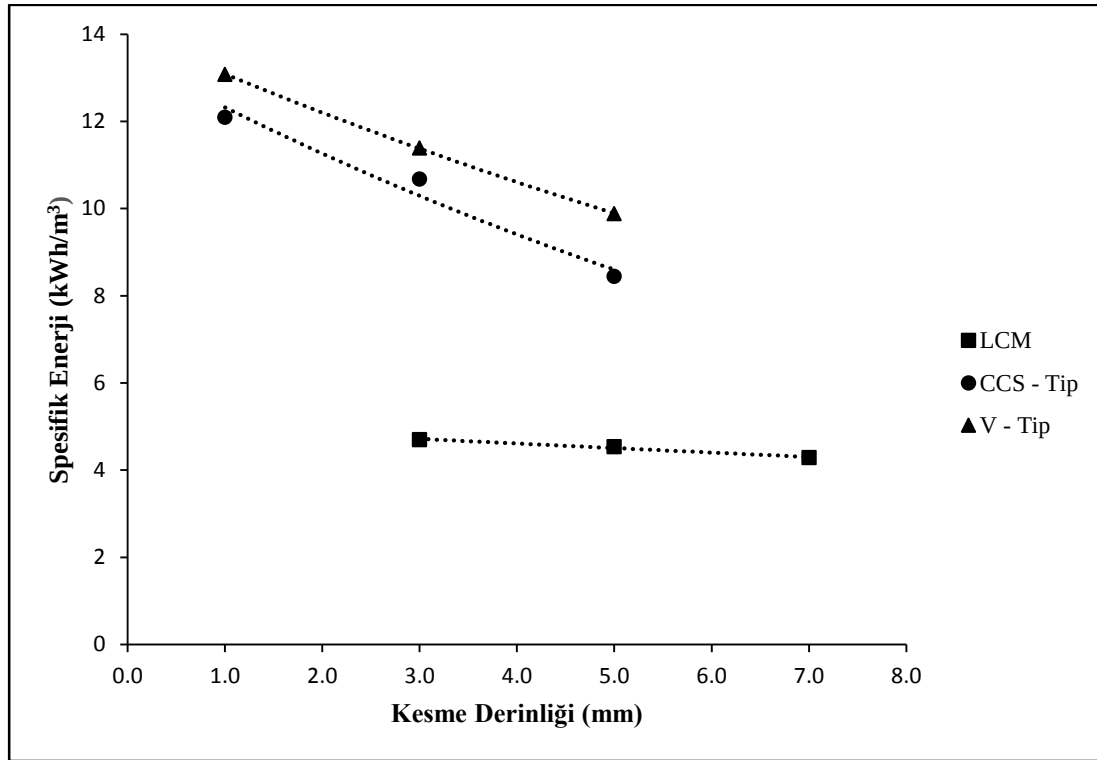
Kireçtaşı numunesi üzerinde LCM deneyleri yapılırken 3, 5 ve 7 mm kesme derinliği değerlerinde yardımcı ve yardımcı olmayan deneyler yapılmıştır. Yardımcı yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde keskiiler arası mesafe değeri 60 mm olarak ayarlanarak deneyler yapılmıştır.

Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde ise iki farklı mini disk keski kullanılmış ve 1,3 ve 5 mm kesme derinliği değerlerinde yardımcı ve yardımcı olmayan deneyler yapılmıştır. PLCM kaya kesme deneyleri sonunda elde edilen deney sonuçları LCM deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yardımcı yapılan deneyler sonunda kesme derinliğine bağlı olarak keskiiler üzerine etki eden kuvvet değerlerinin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 5.25 – 5.27’ de verilmiştir.

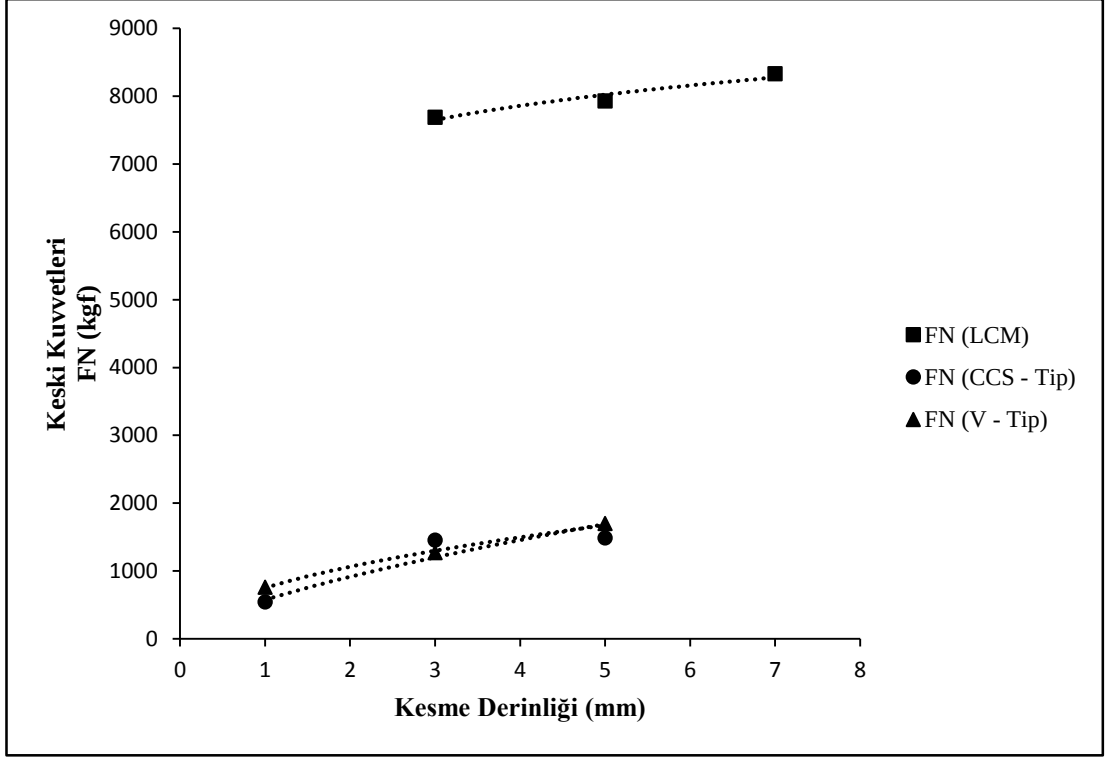
LCM ve PLCM deney sonuçlarının birlikte verildiği Şekil 5.25’ te görüldüğü gibi LCM deneyleri sonucunda çıkan spesifik enerji değerlerinin keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin daha fazla olmasından kaynaklı olarak daha düşük olduğu ancak

elde edilen değerlerin CCS tip mini disk keski deneylerinden elde edilen sonuçlara daha yakın değerler olduğu ayrıca 5 mm kesme derinliği değerinde PLCLM deneyleri sonucunda elde edilen spesifik enerji değerinin LCM deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin yaklaşık 2 katı olduğu görülmektedir.

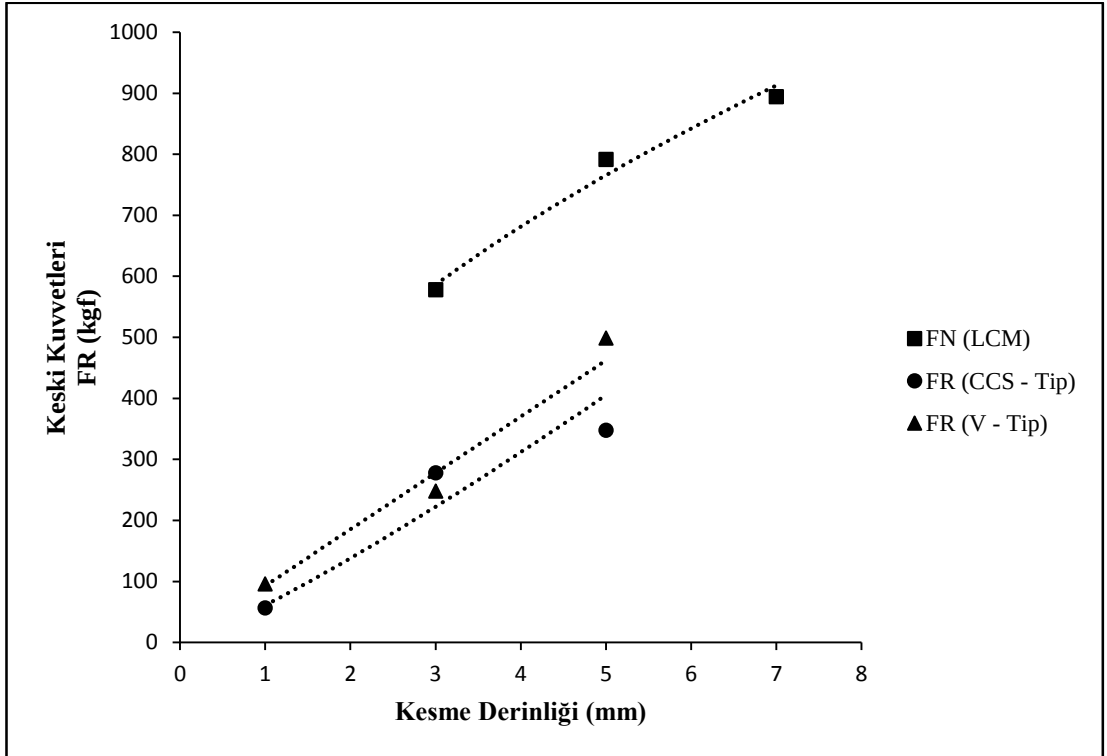
LCM ve PLCLM kazı deney setlerinde yapılan yardımsız kaya kesme deney sonuçlarında disk keski üzerine gelen normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin kesme derinliğine bağlı olarak değişimi Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’ de verilmiştir. İlgili şekillerde görüldüğü gibi LCM deneyleri sırasında 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine gelen ortalama normal kuvvet değerlerinin beklenildiği gibi PLCLM deney setinde mini disk keski üzerine gelen kuvvetlerin ortalama değerinden fazla olduğu görülmektedir. 5 mm kesme derinliğinde 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine etki eden ortalama normal kuvvet değerleri mini disk keski üzerine etki eden normal kuvvet değerlerinin yaklaşık 6 katı, disk keski üzerine etki eden ortalama yuvarlanma kuvvet değerlerinin ise birbirlerine daha yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.25 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCLM kesme deneyleri için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 5.26 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

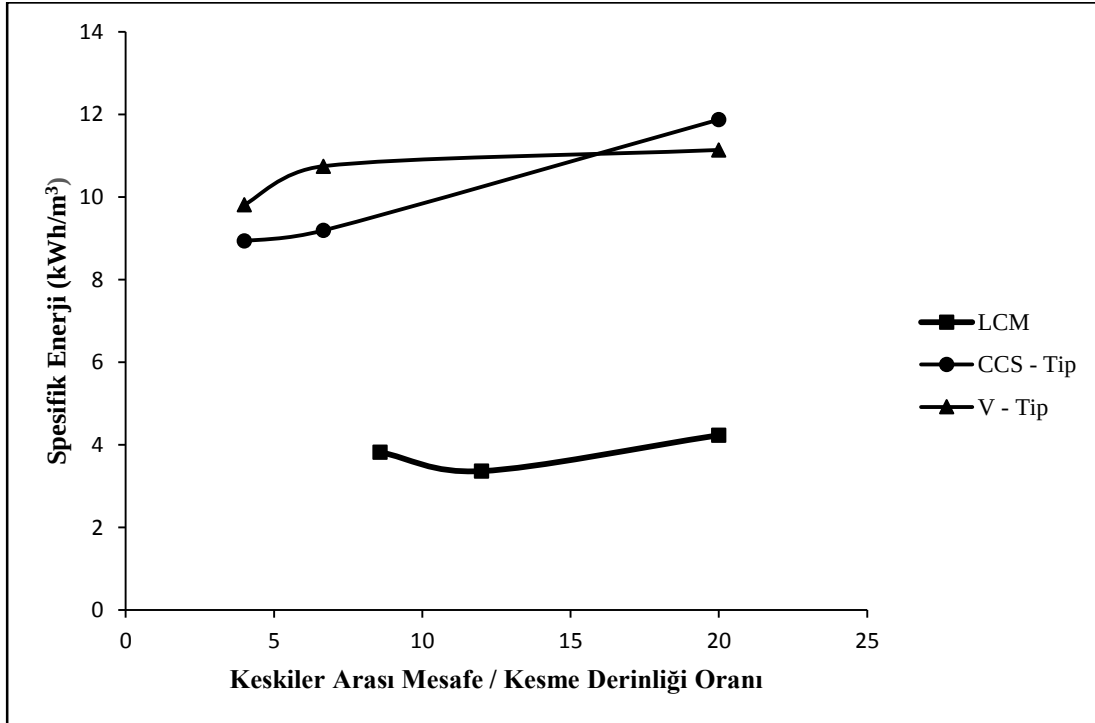


Şekil 5.27 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

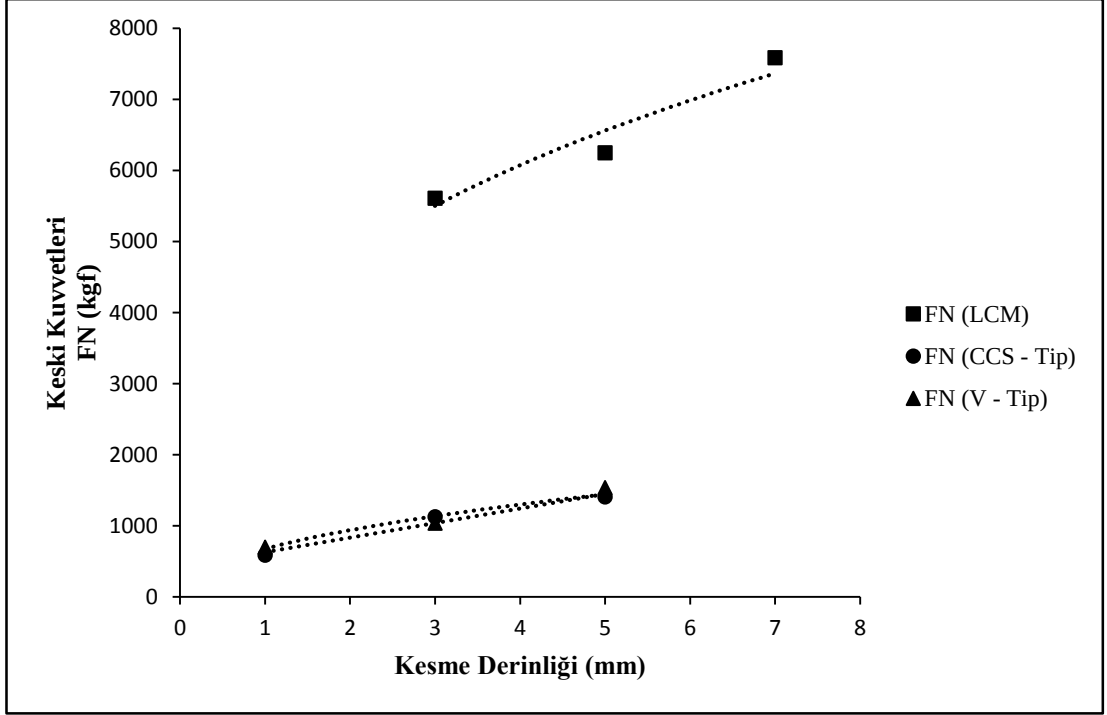
LCM ve PLCM kazı deney setlerinde yapılan yardımcı kaya kesme deney sonuçlarının değerlendirilmesiyle elde edilen grafikler ise Şekil 5.28 – 5.32’ de verilmiştir.

Şekil 5.28’ de keskinler arası mesafe / kesme derinliği oranına bağılı olarak spesifik enerji değışimini gösterir grafik verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 432 mm çaplı CCS tip disk keskiyle yapılan LCM deneylerinden elde edilen optimum keskinler arası mesafe (s) / kesme derinliği (d) oranı değeri, mini disk keskinlerle yapılan deneylerde elde edilen optimum s / d oranı değelerinden farklıdır. Şöyle ki; LCM deneylerinden elde edilen optimum s / d oranı 12 iken PLCM deneylerinden elde edilen optimum değeri 4’ tür. Bu da iki farklı deney seti arasındaki optimum değeler arasında 3 katlık bir fark olduğunu göstermektedir.

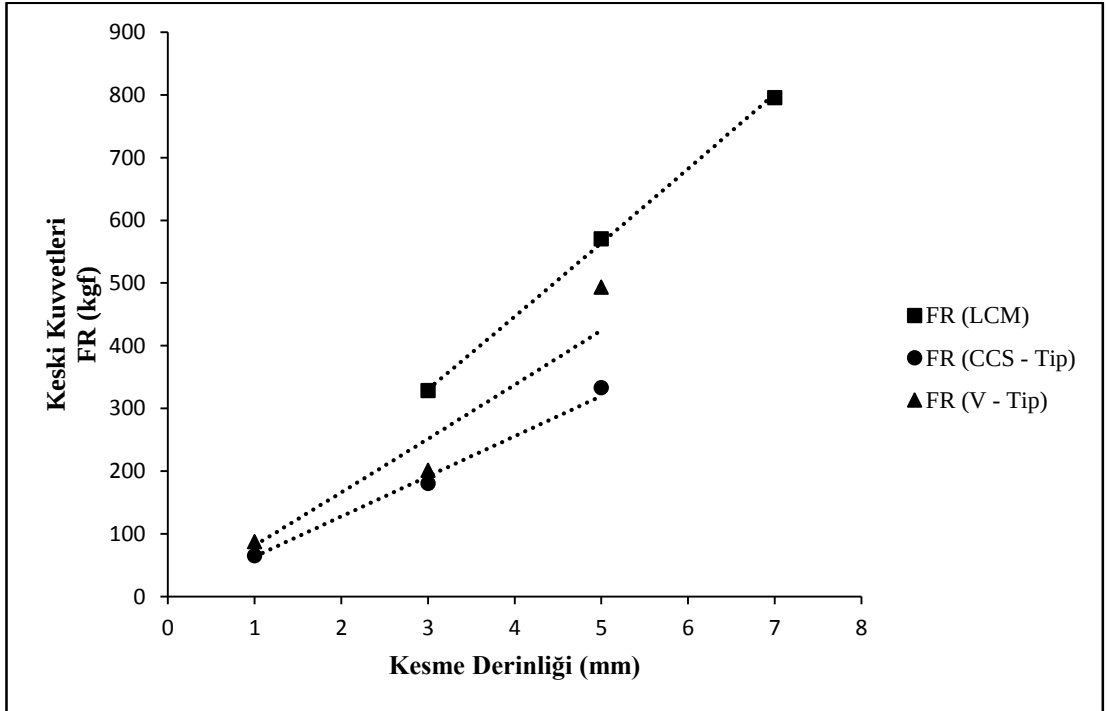
Şekil 5.29 – 5.30’ da verilen kesme derinliğine bağılı olarak keskinler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafiklere bakıldığında kesme derinliğine bağılı olarak keskinler üzerine etki eden normal kuvvet değeleri arasında çok fazla fark görülürken, yuvarlanma kuvvet değelerinin birbirine daha yakın değelerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.28 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keskinler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.

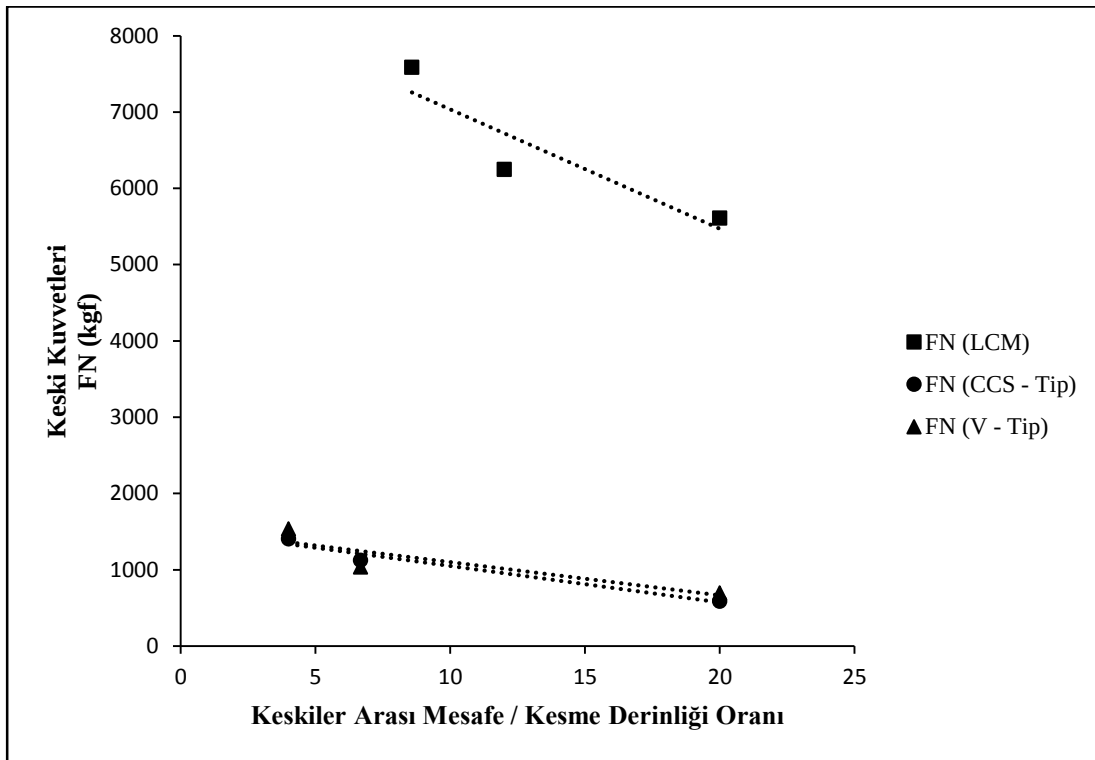


Şekil 5.29 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

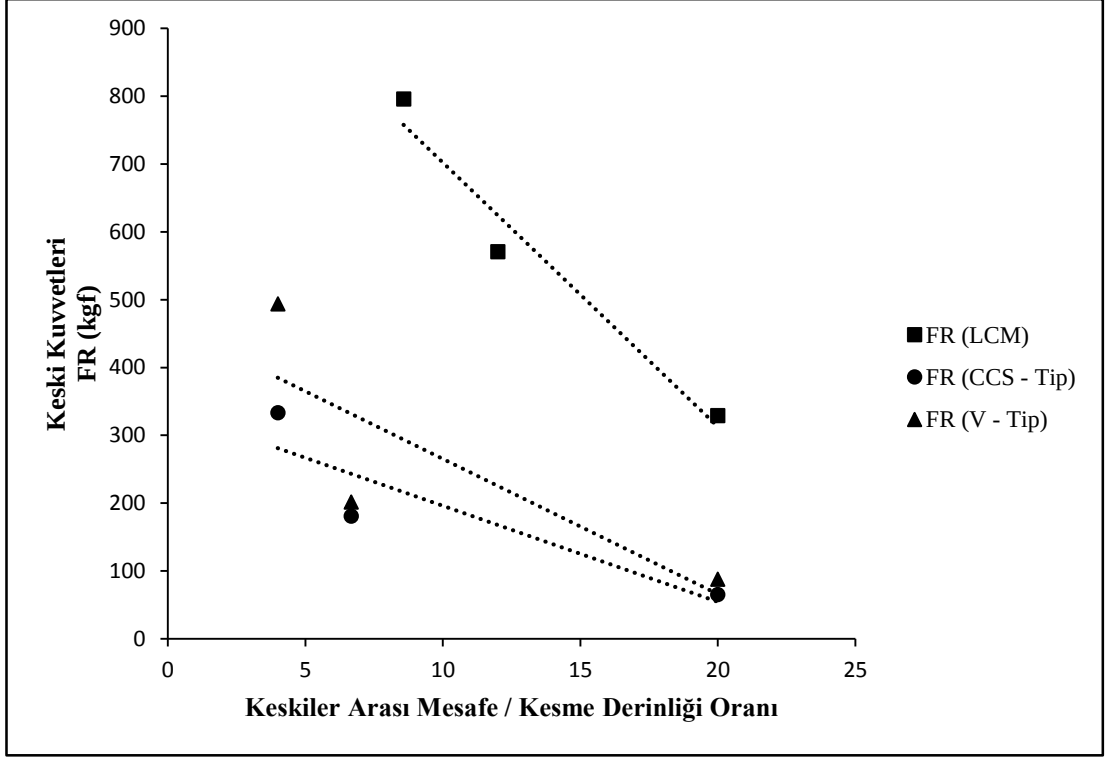


Şekil 5.30 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski kuvvetleri arasındaki ilişki.

Şekil 5.31 – 5.32’ de ise keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin değişimini gösterir grafikler verilmiştir. İlgili grafiklerde tüm deney sonuçları için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranı arttıkça keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin beklenildiği gibi azaldığı görülmektedir. Aynı keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranında (20) 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin mini disk keskiler üzerine etki eden normal kuvvet değerlerinden yaklaşık 6 kat fazla olduğu, keskiler üzerine etki eden ortalama yuvarlanma kuvveti değerlerinde ise bu oranın yaklaşık 3 kat olduğu görülmektedir.



Şekil 5.31 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keskiler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 5.32 : Kireçtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keski arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

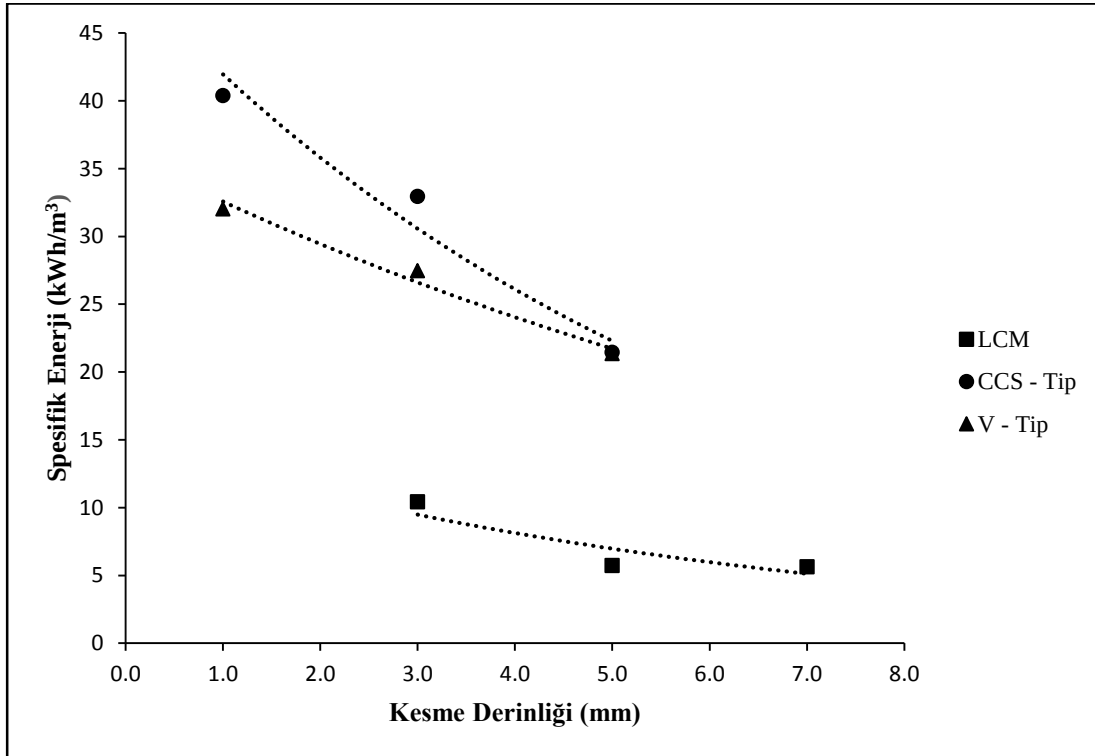
5.1.5 Kumtaşı numunesi için yapılan LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması

Kumtaşı numunesi üzerinde LCM deneyleri yapılırken 3, 5 ve 7 mm kesme derinliği değerlerinde yardımcı ve yardımcı olmayan deneyler yapılmıştır. Yardımlı yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde keski arası mesafe değeri 60 mm olarak ayarlanarak deneyler yapılmıştır. PLCM kaya kesme deneylerinde ise iki farklı mini disk keski kullanılmış ve 1,3 ve 5 mm kesme derinliği değerlerinde yardımcı ve yardımcı olmayan deneyler yapılmıştır. PLCM kaya kesme deneyleri sonunda elde edilen deney sonuçları LCM deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yardımsız yapılan deneyler sonunda kesme derinliğine bağlı olarak keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin ve spesifik enerji değerlerinin değişimini gösterir grafikler Şekil 5.33 – 5.35’ te verilmiştir.

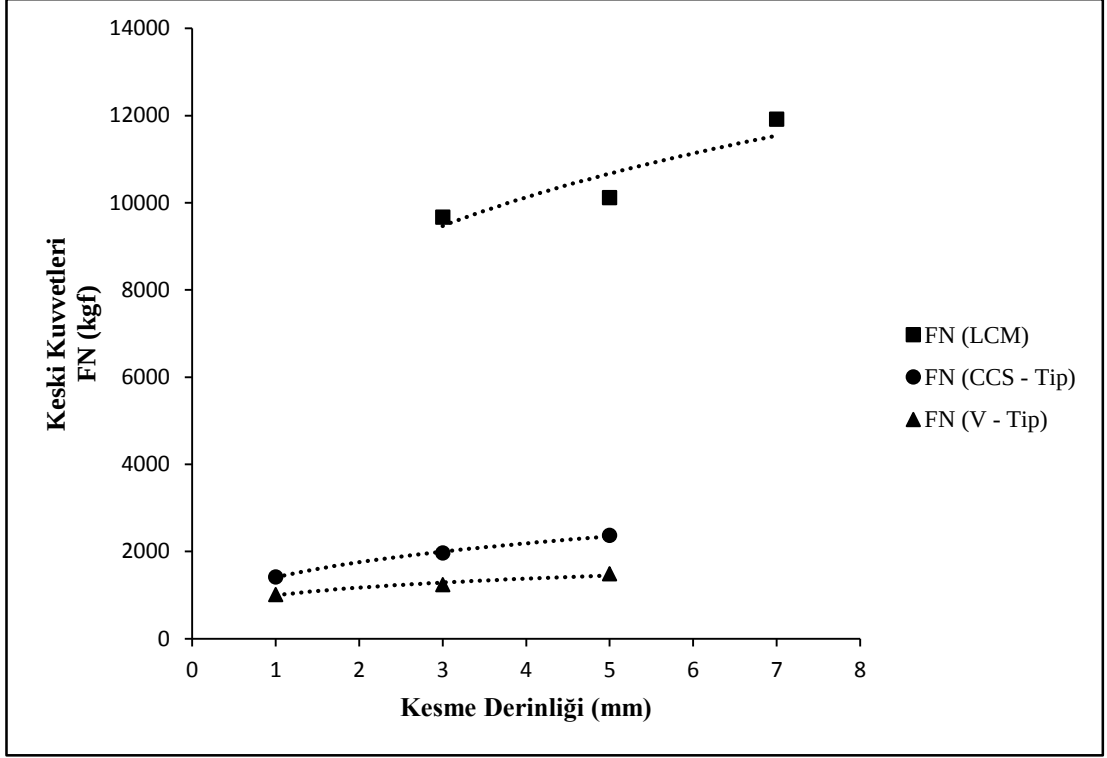
LCM ve PLCM deney sonuçlarına göre kesme derinliğine bağlı olarak spesifik enerji değişimlerinin verildiği Şekil 5.33’ te görüldüğü gibi LCM deneyleri sonucunda çıkan spesifik enerji değerleri, bu deney sonucunda keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin daha fazla olmasından kaynaklı olarak daha düşük olduğu görülmektedir. Aynı kesme derinliği değerlerinde (3 ve 5 mm) 432 mm çaplı disk keski ve mini disk keski için elde edilen spesifik enerji değerlerinin farklılık gösterdiği, bu farklılığın

yaklaşık 3 – 4 kat olduğu görülmektedir. Mini disk keskiler için bakıldığında ise mini V tip disk keski için elde edilen değerlerin mini CCS tip disk keski değerlerinden düşük olduğu görülmektedir.

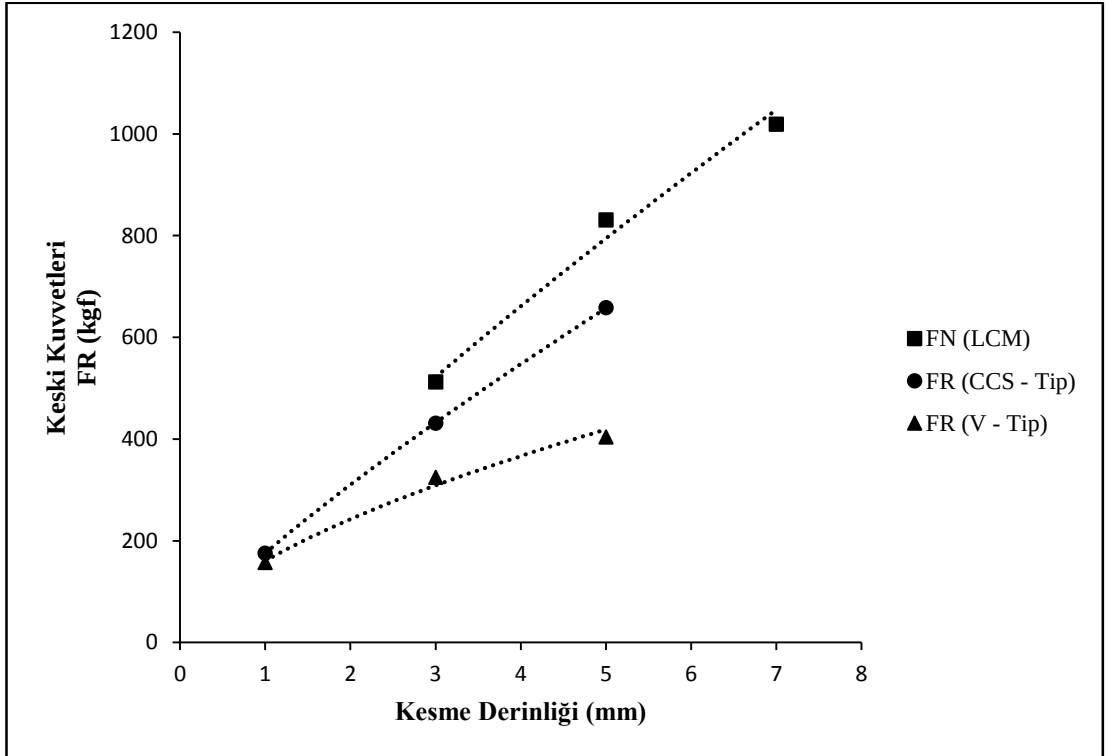
LCM ve PLCM kazı deney setlerinde yapılan yardımsız kaya kesme deney sonuçlarında disk keskiler üzerine gelen normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin kesme derinliğine bağlı olarak değişimi Şekil 5.34 ve Şekil 5.35’ te verilmiştir. İlgili şekillerde görüldüğü gibi LCM deneyleri sırasında 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine gelen ortalama normal kuvvet değerlerinin beklenildiği gibi PLCM deney setinde mini disk keskiler üzerine gelen kuvvetlerin ortalama değerinden fazla olduğu görülmektedir. 5 mm kesme derinliğinde 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine etki eden ortalama normal kuvvet değerleri mini disk keski üzerine etki eden normal kuvvet değerlerinin yaklaşık 6 katı, disk keskiler üzerine etki eden ortalama yuvarlanma kuvvet değerlerinin ise birbirlerine daha yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.33 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



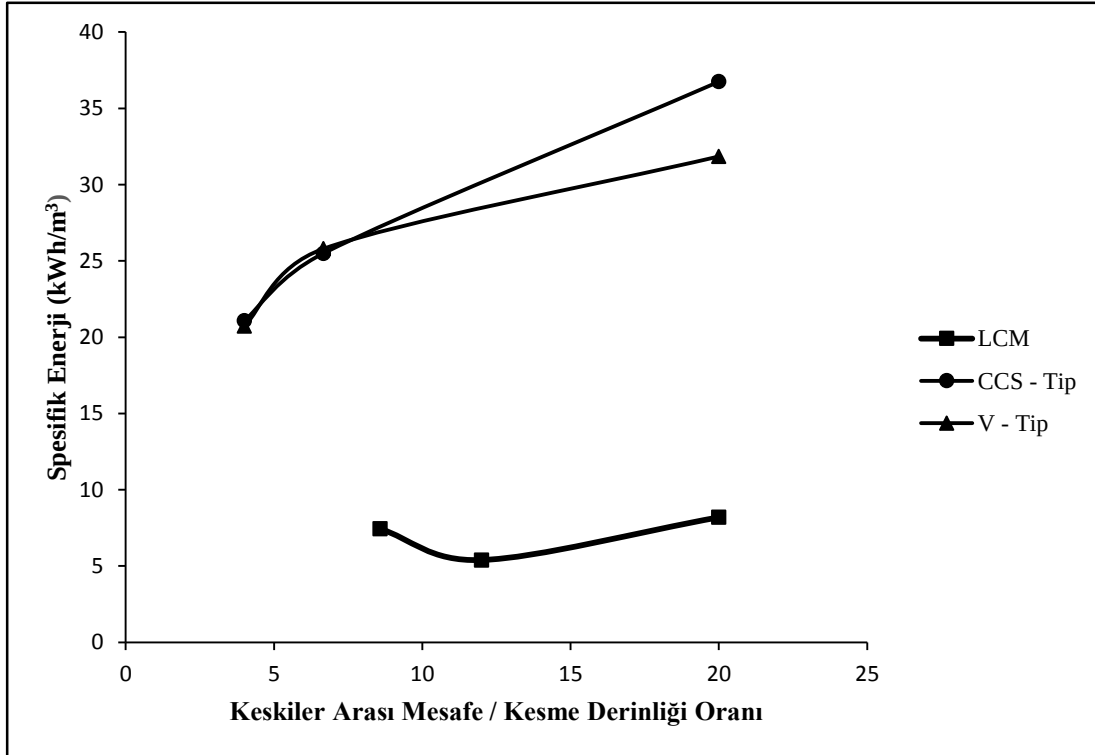
Şekil 5.34 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



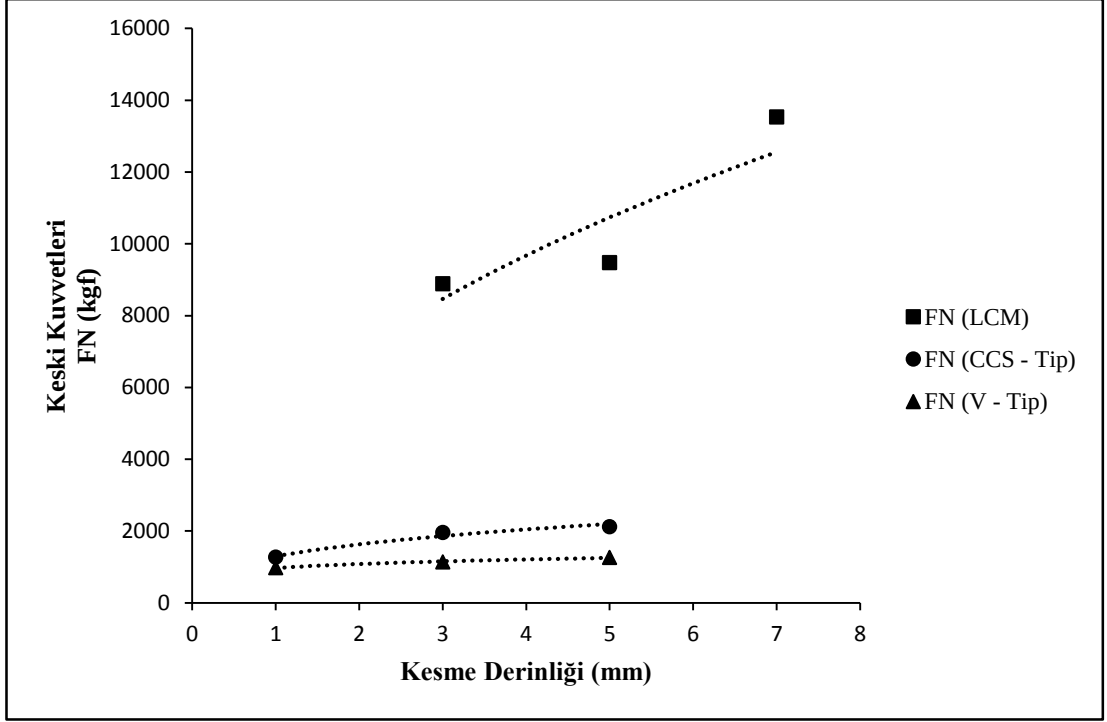
Şekil 5.35 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımsız LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

LCM ve PLCM kazı deney setlerinde yapılan yardımcı kaya kesme deney sonuçlarının değerlendirilmesiyle elde edilen grafikler ise Şekil 5.36 – 5.40’ ta verilmiştir. Şekil 5.36’ da keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak spesifik enerji değişimini gösterir grafik verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 432 mm çaplı CCS tip disk keskiyle yapılan LCM deneylerinden elde edilen optimum keskiler arası mesafe (s) / kesme derinliği (d) oranı değeri, mini disk keskilerle yapılan deneylerde elde edilen optimum s / d oranı değerlerinden farklıdır. Şöyle ki; LCM deneylerinden elde edilen optimum s / d oranı 12 iken PLCM deneylerinden elde edilen optimum değer 4’ tür. Bu da iki farklı deney seti arasındaki optimum değerler arasında 3 katlık bir fark olduğunu bize göstermektedir.

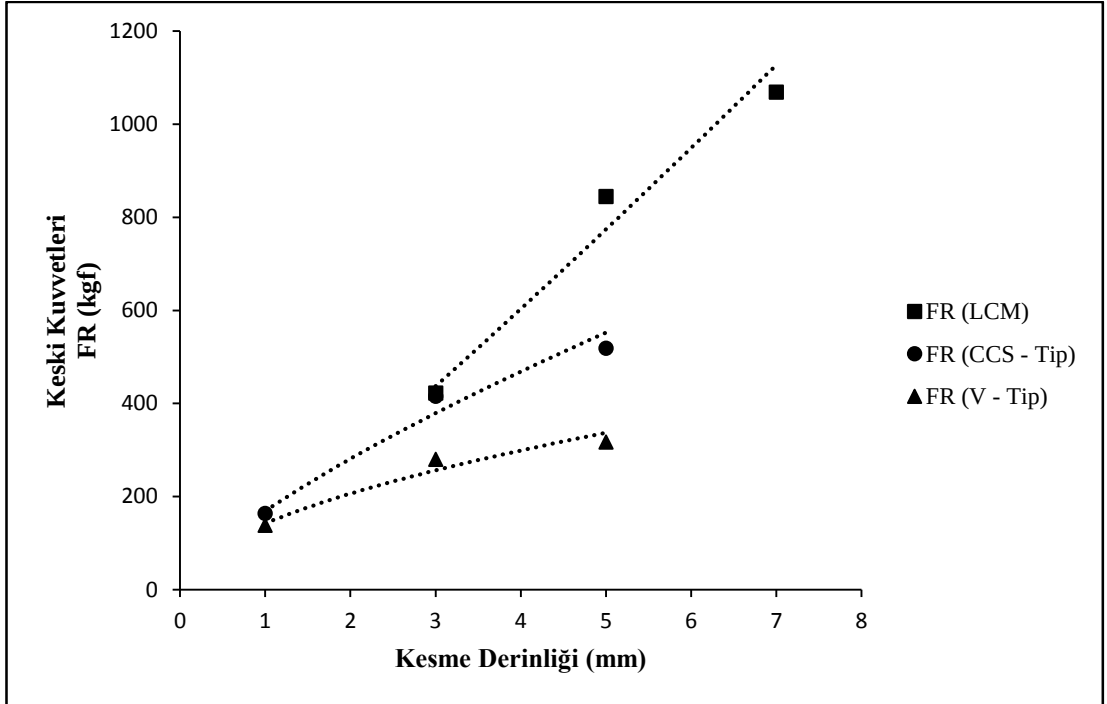
Şekil 5.37 – 5.38’ de verilen kesme derinliğine bağlı olarak keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafiklere bakıldığında kesme derinliğine bağlı olarak keskiler üzerine etki eden normal kuvvet değerleri arasında çok fazla fark görülürken, yuvarlanma kuvvet değerlerinin birbirine daha yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.36 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.

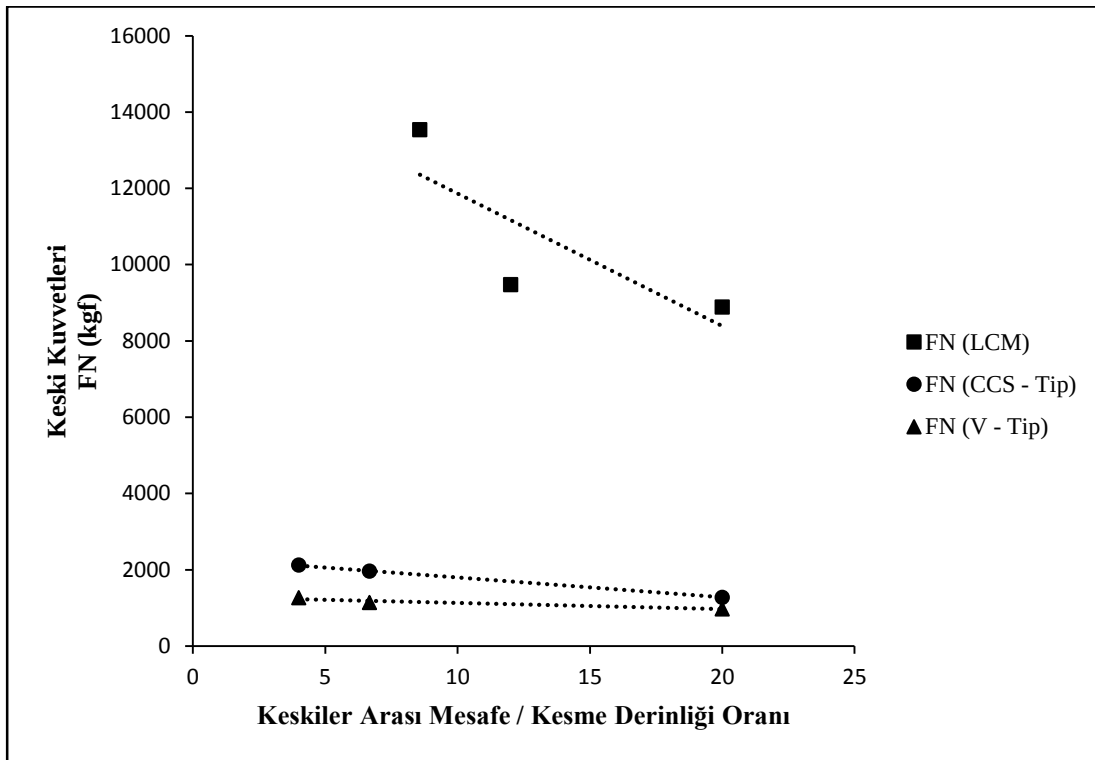


Şekil 5.37 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keskiner üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.

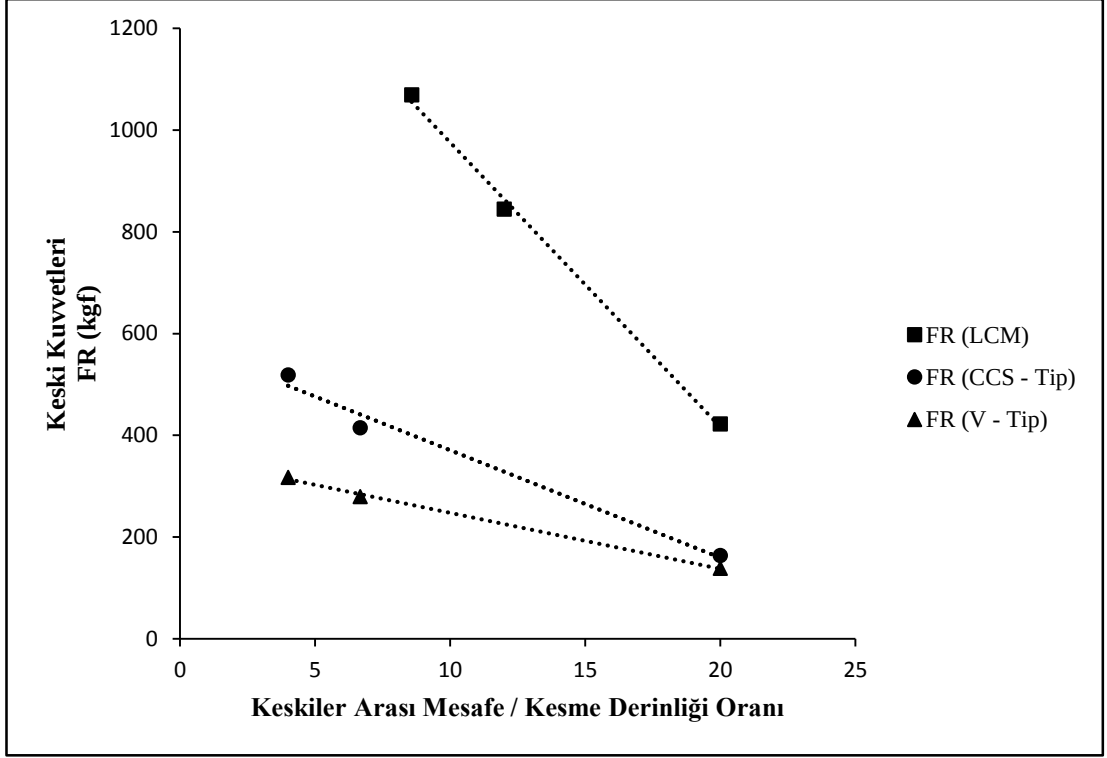


Şekil 5.38 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesme derinliği ile keskiner üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

Şekil 5.39 – 5.40’ ta ise keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranına bağlı olarak keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin değişimini gösterir grafikler verilmiştir. İlgili grafiklerde tüm deney sonuçları için keskiler arası mesafe kesme derinliği oranı arttıkça keskiler üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin beklenildiği gibi azaldığı görülmektedir. Aynı keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranında (20) 432 mm çaplı CCS tip disk keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin mini disk keskiler üzerine etki eden normal kuvvet değerlerinden yaklaşık 6 kat fazla olduğu, keskiler üzerine etki eden ortalama yuvarlanma kuvveti değerlerinde ise bu oranın yaklaşık 3 kat olduğu görülmektedir.



Şekil 5.39 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keskiler üzerine etki eden normal kuvvetler arasındaki ilişki.



Şekil 5.40 : Kumtaşı numunesi üzerinde yapılan yardımcı LCM - PLCM kesme deneyleri için kesiler arası mesafe / kesme derinliği oranı ile keski kuvvetleri üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

5.1.6 LCM ve PLCM deney sonuçlarının tüm numuneler için genel değerlendirilmesi

Her bir kayaç numunesi için LCM ve PLCM deney sonuçları kendi içinde değerlendirilmiş ve tüm numuneler için her iki deney sonuçları arasında anlamlı bir ilişki elde edilmiştir. Elde edilen bu ilişkiler her bir kayaç numunesi grubu için PLCM deney sonuçları kullanılarak LCM sonuçlarının tahmininde kullanılabilecektir.

Bununla birlikte bu bölümde bu doktora tezi kapsamında üzerinde LCM ve PLCM deneyleri yapılan 5 farklı kayaç numunesinden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilmiş ve ortak bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan bu değerlendirme esnasında yardımcı kaya kesme deneyleri için 5 mm kesme derinliğinde ve yardımcı kaya kesme deneyleri için optimum s/d şartlarında elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu değerlendirme yapılırken yardımcı ve yardımcı kaya kesme deneyleri için ortalama değerler ele alınmış olup bazı durumlarda spesifik enerji değerini çok değiştirmeyen en yüksek veya en düşük kuvvet değerleri ele alınmıştır. Bu değerlendirmede kullanılan verilerin toplu gösterimi Çizelge 5.1 – 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Yardımsız (d = 5 mm) ve yardımcı (optimum s/d koşulunda) LCM kaya kesme deney sonuçlarının toplu gösterimi.

Kayaç Adı	LCM					
	Yardımsız			Yardımlı		
	FN (kgf)	FR (kgf)	SE (kWh/m ³)	FN (kgf)	FR (kgf)	SE (kWh/m ³)
Bej Mermer	19028.71	866.43	6.32	14575.88	458.82	5.58
Kumtaşı	10119.96	831.29	5.75	11097.14	996.21	5.09
Kireçtaşı	7932.85	791.56	4.54	6249.06	570.65	3.37
Traverten	6184.09	648.38	3.02	6756.27	863.67	1.81
Küfeki Kireçtaşı	2855.56	245.48	2.39	2685.85	262.53	1.18

Çizelge 5.2 : Yardımsız (d = 5 mm) ve yardımcı (optimum s/d koşulunda) PLCM kaya kesme deney sonuçlarının toplu gösterimi.

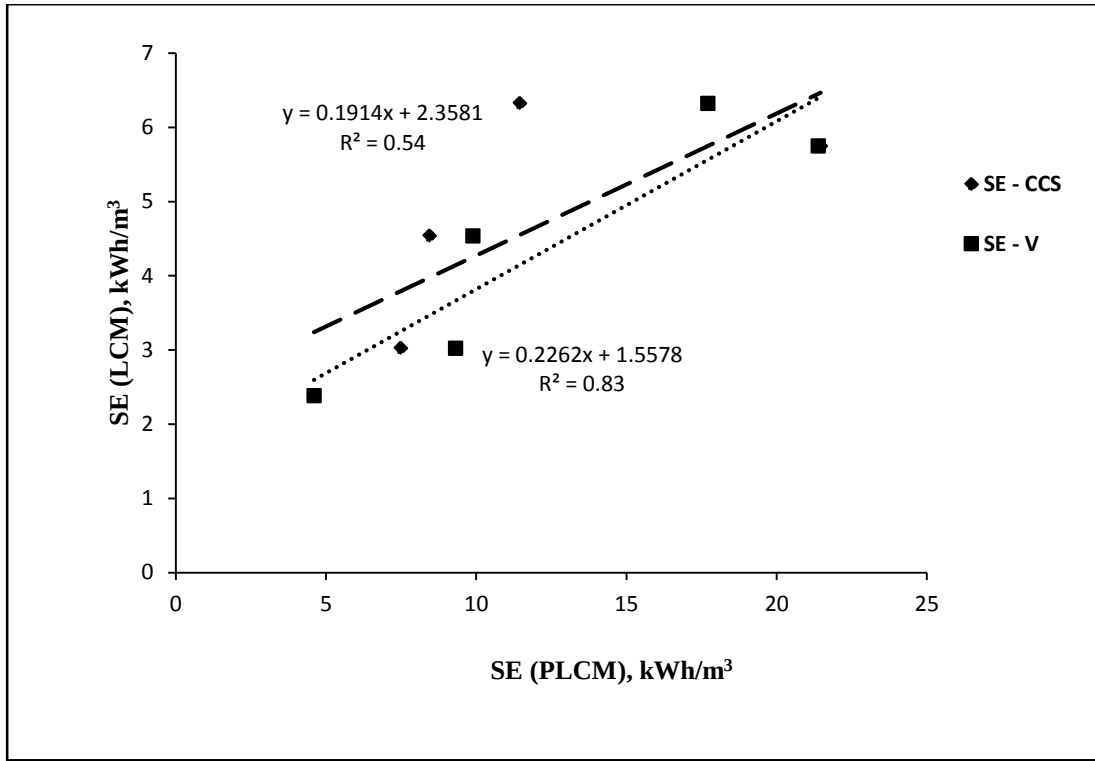
Kayaç Adı	PLCM											
	CCS						V					
	Yardımsız			Yardımlı			Yardımsız			Yardımlı		
	FN (kgf)	FR (kgf)	SE (kWh/m ³)	FN (kgf)	FR (kgf)	SE (kWh/m ³)	FN (kgf)	FR (kgf)	SE (kWh/m ³)	FN (kgf)	FR (kgf)	SE (kWh/m ³)
Bej Mermer	2286.70	550.21	11.44	1213.98	206.96	12.07	3379.24	1032.89	17.71	886.77	118.43	17.03
Kumtaşı	2373.67	658.32	21.46	1223.25	317.15	10.62	1491.55	404.25	21.38	1263.76	317.19	20.72
Kireçtaşı	1483.78	347.92	8.44	1403.52	333.15	8.94	1697.31	499.12	9.88	1174.94	322.80	9.43
Traverten	1727.69	323.10	7.48	1403.80	312.55	6.41	1609.21	500.46	9.32	893.27	191.07	8.09
Küfeki Kireçtaşı	844.60	193.77	4.60	539.55	87.95	4.13	799.79	250.65	4.61	529.48	116.53	4.66

LCM ve PLCM deney sonuçları karşılaştırılırken elde edilen spesifik enerji ve keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvet değerleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Yardımsız kaya kesme deneyleri için yapılan karşılaştırmalarda 5 mm kesme derinliğinde elde edilen veriler kullanılmış ve elde edilen grafikler Şekil 5.41 – 43’ te verilmiştir.

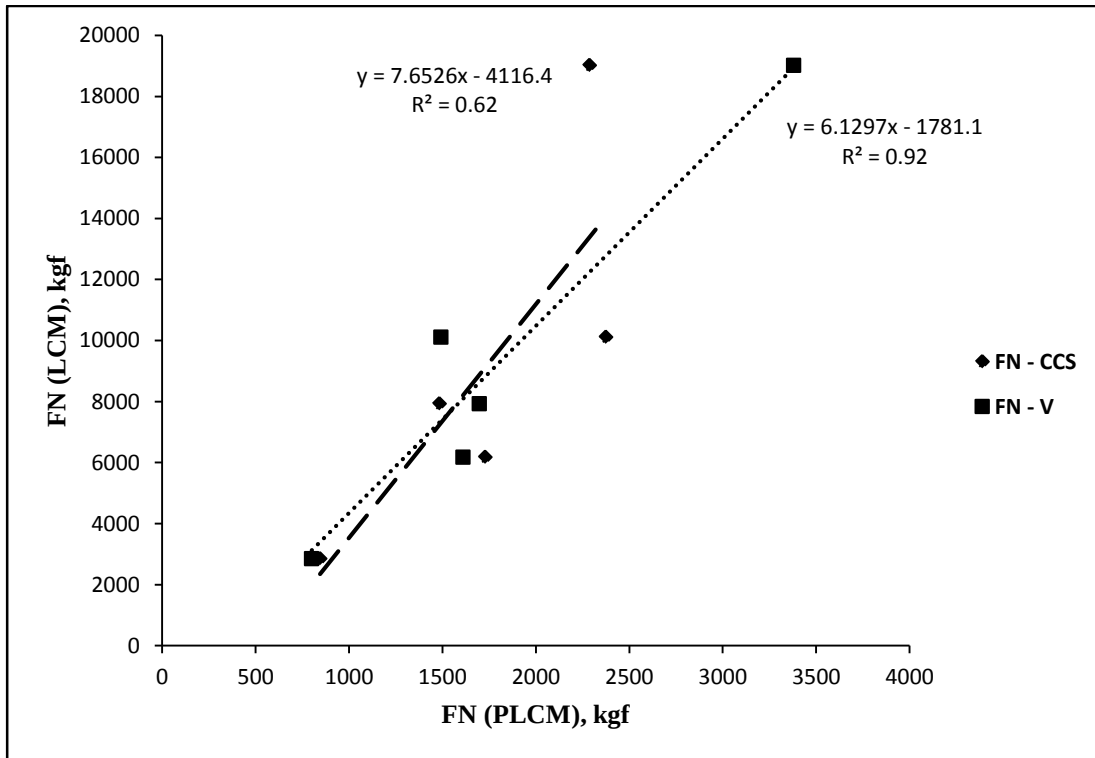
Şekil 5.41’ de verilen ve spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafiğe bakıldığında ve daha önce yapılan karşılaştırmalara (Bilgin, 2010) kıyasla her iki deney seti arasında güçlü sayılabilecek bir ilişki elde edilmiştir. Özellikle V tipi disk keski kullanılarak yapılan PLCM deney sonuçları ile LCM deney sonuçları arasındaki ilişki daha kuvvetlidir. Bununla birlikte aşırı kırıklı çatlaklı yapıya sahip olan kumtaşı numunesi değerlendirmeğe dâhil edilmez ise hem CCS hem de V tip mini disk keskiler için korelasyon katsayısı değeri (R^2) 0.9’ un üzerine çıkmaktadır. Bu durum kayaçların yapısal özelliklerinin deney sonuçlarında önemli etkilerinin olduğunu ortaya koymaktadır.

Keskiler üzerine etki eden kuvvet değerlerinin (normal ve yuvarlanma kuvvetleri) karşılaştırıldığı ve Şekil 5.42 – 43’ te verilen grafiklere bakıldığında ise her iki mini disk keski için LCM ve PLCM deney sonuçları arasında güçlü bir ilişkinin elde edildiği görülmektedir. Özellikle normal kuvvet değerleri arasındaki ilişkinin daha güçlü olduğu, yuvarlanma kuvveti değerleri arasındaki ilişkiyi ise yüksek kırılabilirliğe sahip bej mermer numunesinin düşürdüğü görülmektedir.

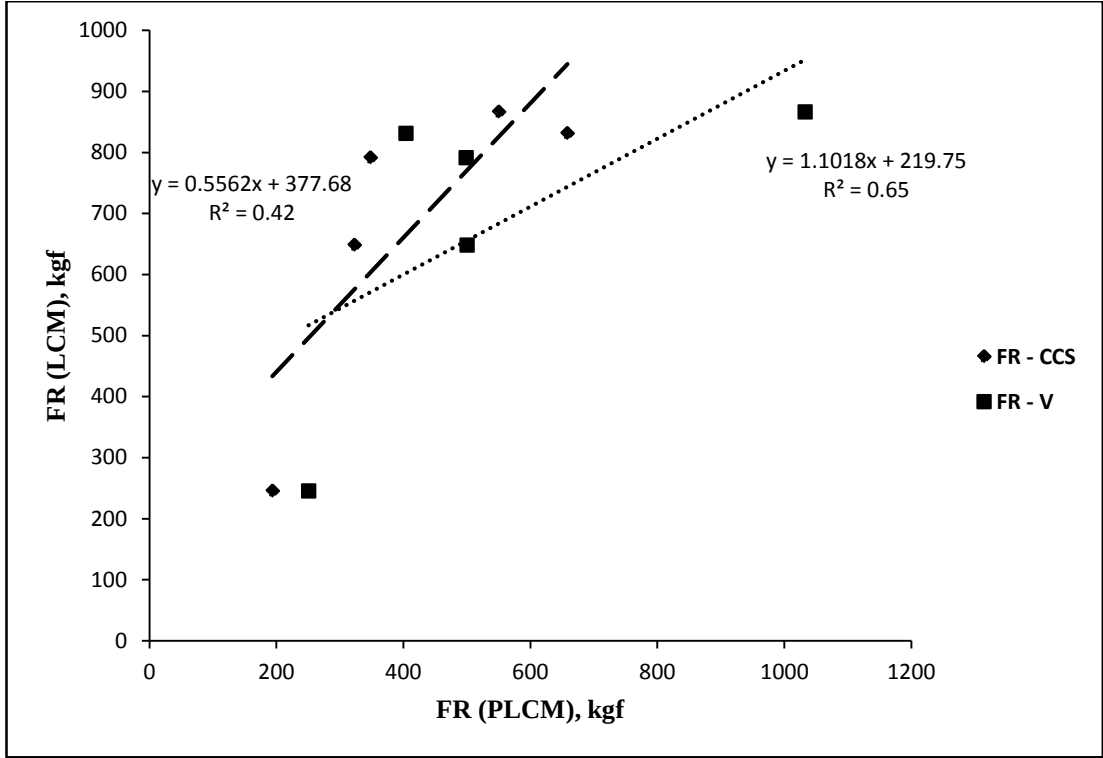
Optimum s/d değerlerinde yardımcı LCM ve PLCM deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak yapılan karşılaştırmalarda ise özellikle spesifik enerji değerleri için elde edilen ilişki çok güçlüdür (Şekil 5.44). Optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranında elde edilen normal ve yuvarlanma kuvvet değerlerine bakıldığında ise daha zayıf ilişkilerin elde edildiği görülmüştür (Şekil 5.45 – 46). Numuneler içinde kırıklı çatlaklı yapıya sahip olan kireçtaşı numunesi değerlendirmeğe dâhil edilmeyince kuvvet değerleri arasındaki ilişkinin arttığı görülmüştür. Bunun yanında kuvvet değerleri arasındaki ilişkinin düşük çıkmasının, her bir kayaç numunesi için optimum s/d oranının LCM ve PLCM deneylerinde farklı kesme derinliklerinde elde edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



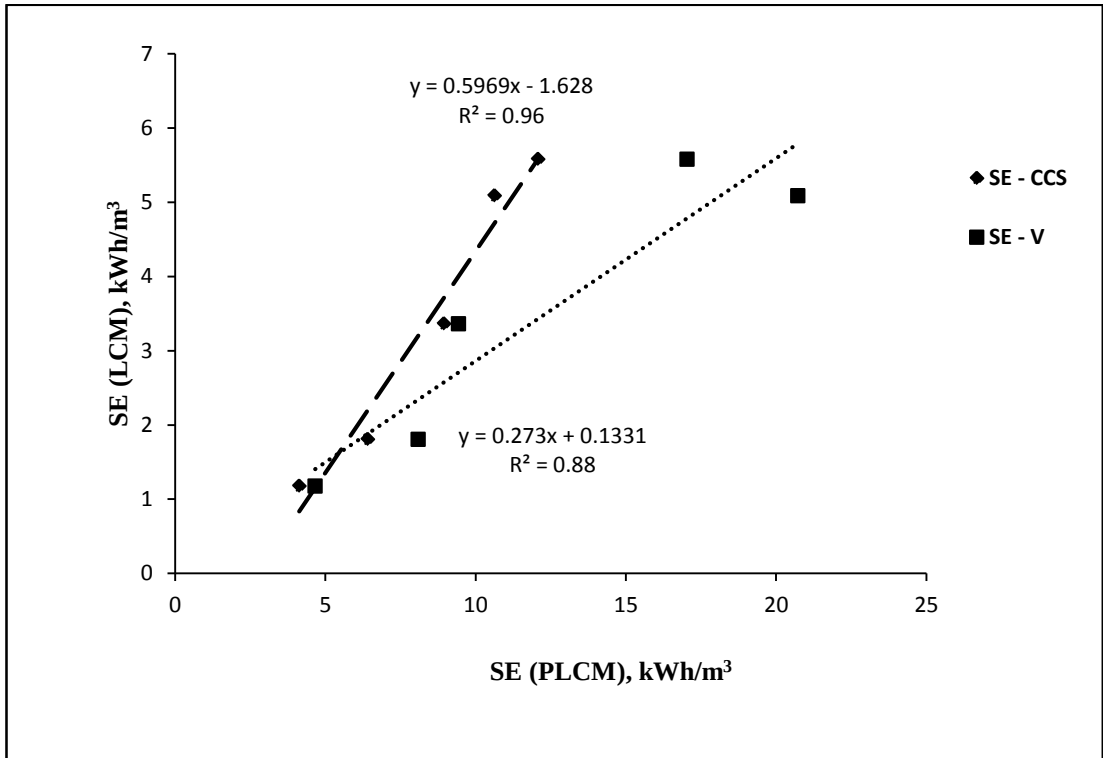
Şekil 5.41 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki.



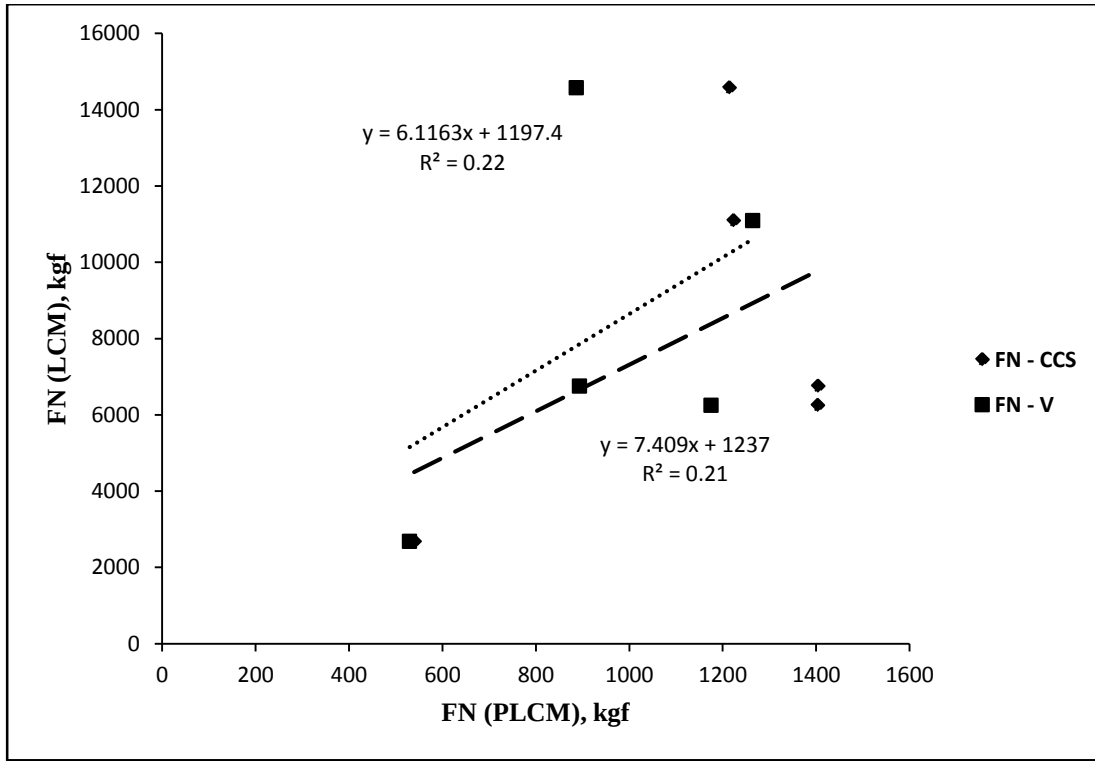
Şekil 5.42 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden elde edilen normal kuvvet değerleri arasındaki ilişki.



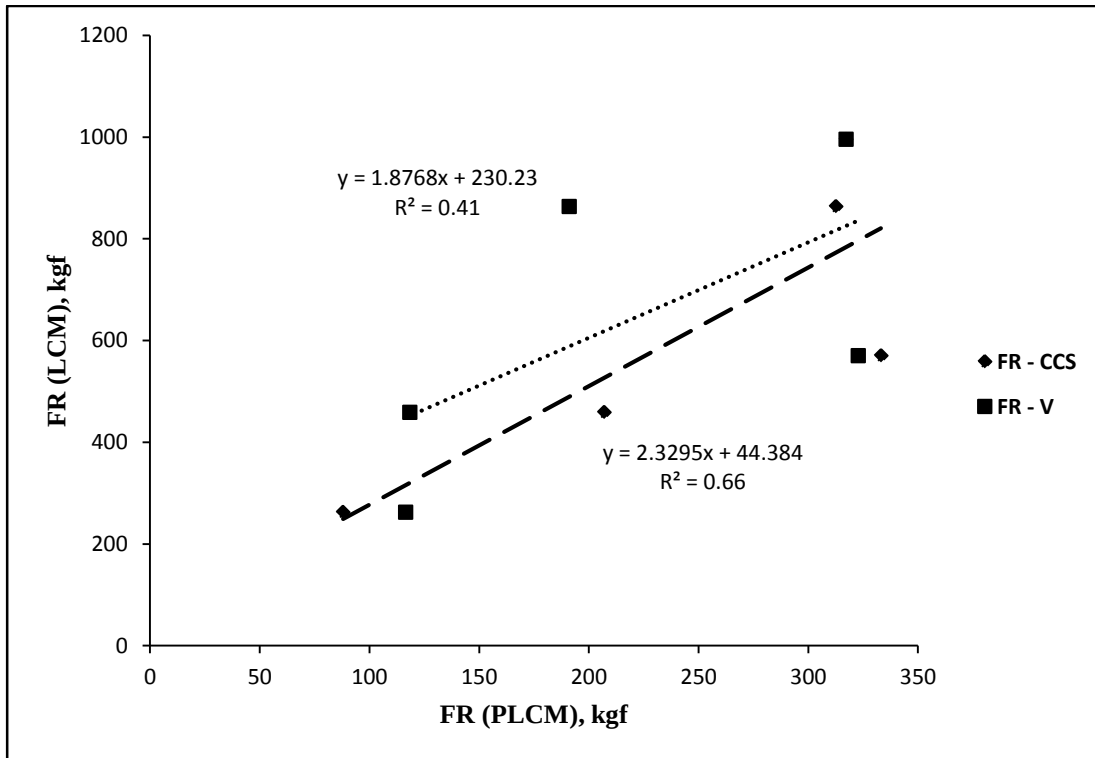
Şekil 5.43 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden elde edilen yuvarlanma kuvveti değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 5.44 : Yardımlı LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden optimum s/d oranında elde edilen spesifik enerji değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 5.45 : Yardımlı LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden optimum s/d oranında elde edilen normal kuvvet değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 5.46 : Yardımlı LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden optimum s/d oranında elde edilen yuvarlanma kuvveti değerleri arasındaki ilişki.

Sonuç olarak üzerinde hem LCM hem de PLCM kaya kesme deneyleri yapılan 5 farklı kayaç numunesi için yapılan değerlendirmeler sonucunda özellikle spesifik enerji değerleri için çok güçlü ilişkiler elde edilmiştir. LCM ve PLCM deneylerinde kullanılan blok numunelerin ve disk keski boyutlarının farklılık göstermesi deney sonuçlarının da etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden güçlü ilişkinin elde edilmesinde en birinci sebep olarak, spesifik enerjinin hesaplanmasında deney esnasında numune üzerine etki eden kuvvet değerleriyle kaya kesme işlemi sonunda çıkan pasanın birlikte değerlendirilmesi gösterilebilir.

Bunun yanında LCM deneylerinde kullanılan büyük blok numunelere nazaran PLCM deneylerinde kullanılan küçük blok numuneler üzerinde kayaçların yapısal özelliklerinin etkisi daha fazla hissedilebilmekte ve bu durum deney sonuçları arasındaki ilişkiyi düşürmektedir. Bu duruma en güzel örnekler yüksek kırılgenliğe sahip bej mermer ve çok fazla kırıklı çatlaklı yapıya sahip olan kumtaşı ve kireçtaşı numuneleri gösterilebilir. Bu durumda PLCM deneylerinden LCM deneylerine geçiş yapılırken kayaçların yapısal özellikleri de göz önüne alınmalıdır.

5.2 Fiziksel Mekanik Testlere Bağlı Olarak LCM - PLCM Sonuçlarının Karşılaştırılması

PLCM kazı deney seti kullanılarak yapılan kaya kesme deney sonuçlarının LCM kaya kesme deney sonuçlarıyla karşılaştırılmasında izlenen diğer bir yöntem, aynı blok numuneler üzerinde yapılan LCM ve PLCM kaya kesme deney sonuçlarının kayaçların fiziksel mekanik özellikleriyle karşılaştırılması olmuştur. Bu kapsamda 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deney sonuçları (Çizelge 5.3) ve yardımcı LCM ve PLCM kaya kesme deneyleri için optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği (s / d) değerlerinde elde edilen sonuçlar (Çizelge 5.4) fiziksel mekanik deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.3 : Yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deney sonuçlarının toplu gösterimi (5 mm kesme derinliği).

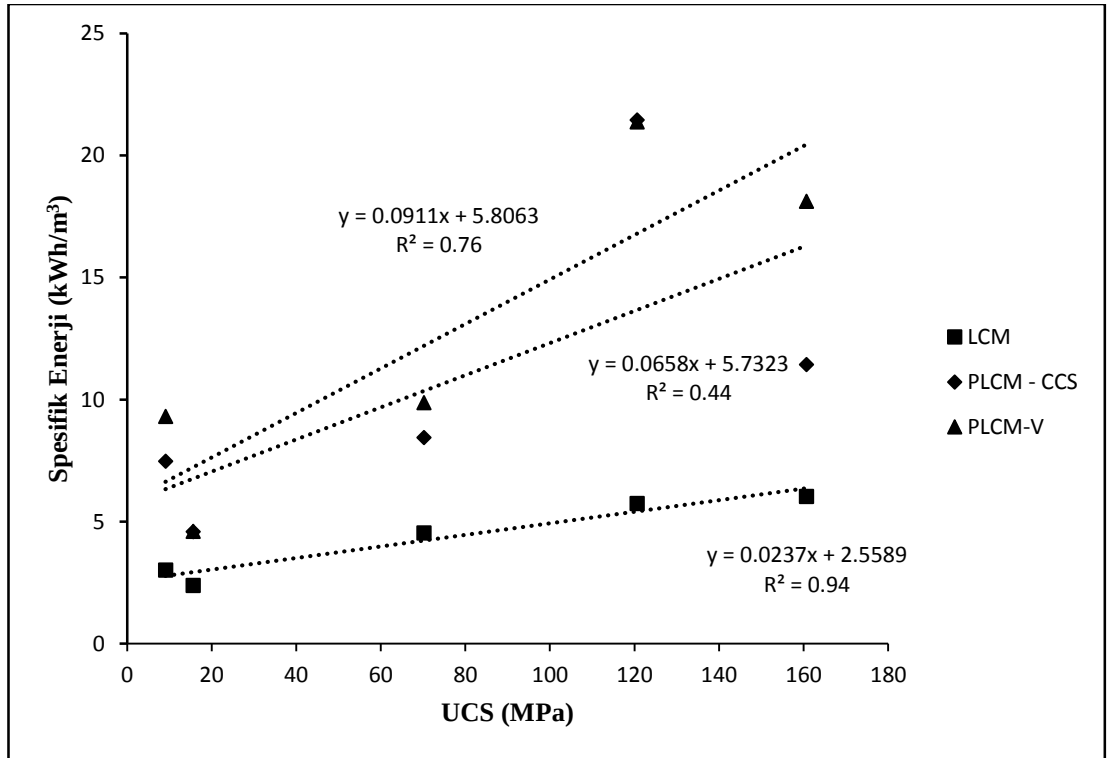
Fiziksel Mekanik Testler				LCM			PLCM (CCS)			PLCM (V)		
Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	SE (kWh/m ³)	FN (kgf)	FR (kgf)	SE (kWh/m ³)	FN (kgf)	FR (kgf)	SE (kWh/m ³)	FN (kgf)	FR (kgf)
Traverten	1.92	9.10	3.17	3.02	6184.09	648.38	7.48	1727.69	323.10	9.32	1609.21	500.46
Kireçtaşı	2.7	70.2	7.73	4.54	7932.85	791.56	8.44	1483.78	347.92	9.88	1697.31	499.12
Bej Mermer	2.7	160.7	7.82	6.03	16728.57	631.38	11.44	2286.70	550.21	18.12	3478.78	1096.91
Kumtaşı	2.8	120.6	11.94	5.75	10119.96	831.29	21.46	2373.67	658.32	21.38	1491.55	404.25
Küfeki Kireçtaşı	2.16	15.6	1.14	2.39	2855.56	245.48	4.60	844.60	193.77	4.61	799.79	250.65

Çizelge 5.4 : Yardımlı LCM ve PLCM kaya kesme deney sonuçlarının toplu gösterimi (optimum s/d oranı için).

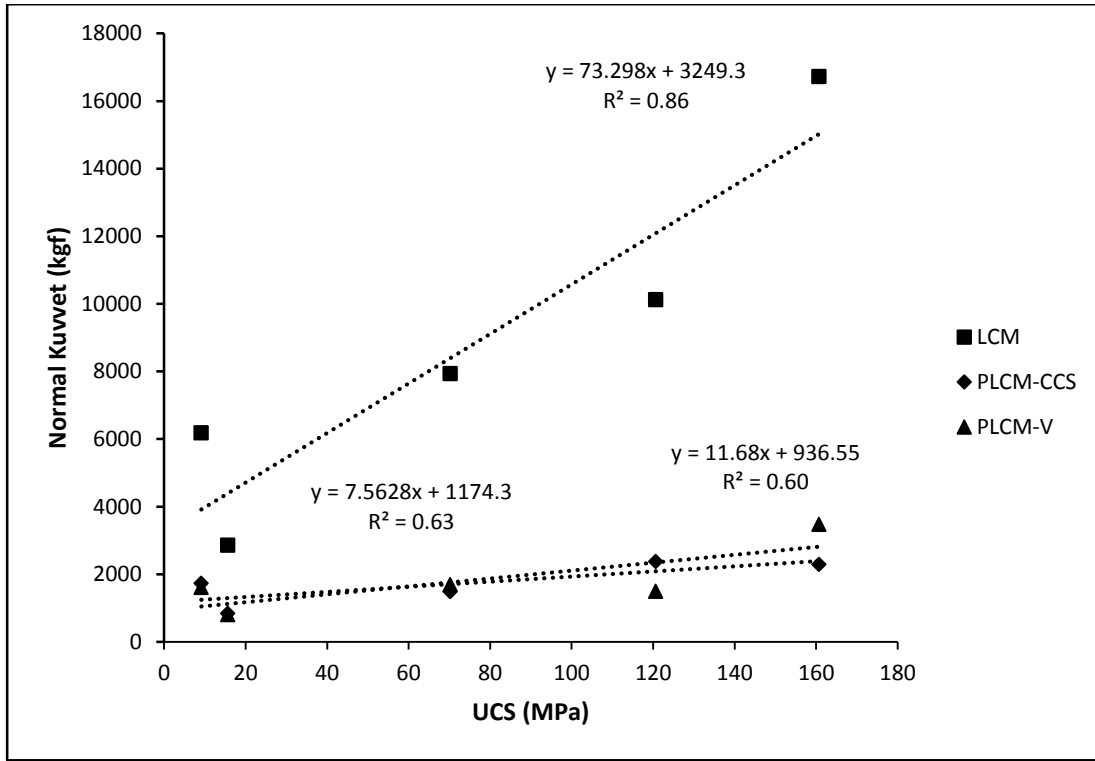
Fiziksel Mekanik Testler				LCM			PLCM (CCS)			PLCM (V)		
Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)	SE (kWh/m ³)	FN (kgf)	FR (kgf)	SE (kWh/m ³)	FN (kgf)	FR (kgf)	SE (kWh/m ³)	FN (kgf)	FR (kgf)
Traverten	1.92	9.10	3.17	1.81	6756.27	863.67	6.41	1403.80	312.55	8.09	893.27	191.07
Kireçtaşı	2.7	70.2	7.73	3.37	6249.06	570.65	8.94	1403.52	333.15	9.81	1534.87	493.68
Bej Mermer	2.7	160.7	7.82	5.58	14575.88	458.82	12.07	1213.98	206.96	17.03	886.77	118.43
Kumtaşı	2.8	120.6	11.94	5.40	9474.55	844.94	21.07	2120.39	518.81	20.72	1263.76	317.19
Küfeki Kireçtaşı	2.16	15.6	1.14	1.18	2685.85	262.53	4.13	539.55	87.95	4.66	529.48	116.53

5.2.1 Tek eksenli basınç dayanımı ile LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması

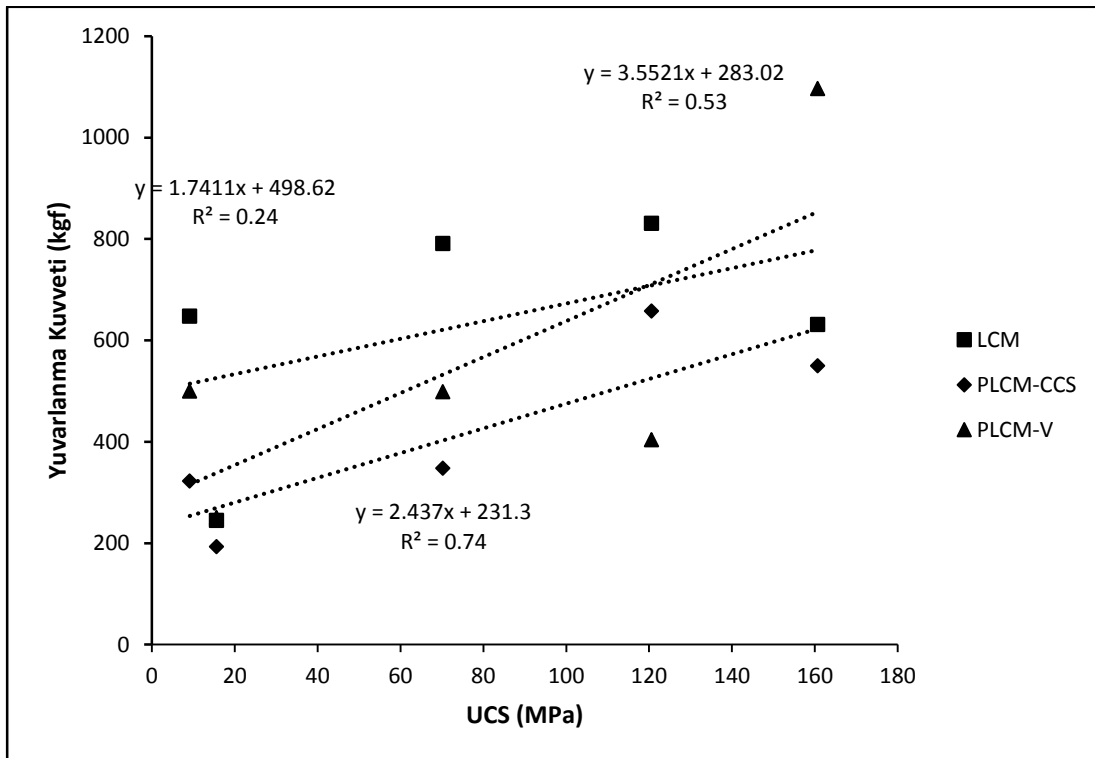
Bu bölümde LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinde kullanılan 5 farklı numunenin (bej mermer, traverten, kumtaşı, kireçtaşı ve küfeki kireçtaşı) tek eksenli basınç dayanımlarına bağlı olarak yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri için keski üzerine etki eden kesme kuvvetleri ve spesifik enerji değerlerinin değişimleri değerlendirilmiştir. Yardımsız kaya kesme deney sonuçları değerlendirilirken LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinde tüm numuneler için ortak kesme derinliği olan 5 mm kesme derinliğinde yapılan deney sonuçları ele alınmıştır. 5 mm kesme derinliğinde yardımcı olmayan yapılan LCM ve PLCM kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti ve spesifik enerji değerlerinin kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerine bağlı olarak değişimini gösterir grafikler Şekil 5.47 – 49’ da verilmiştir.



Şekil 5.47 : 5 mm kesme derinliğinde yardımcı olmayan kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 5.48 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile keski üzerine etki eden normal kuvvet arasındaki ilişki.

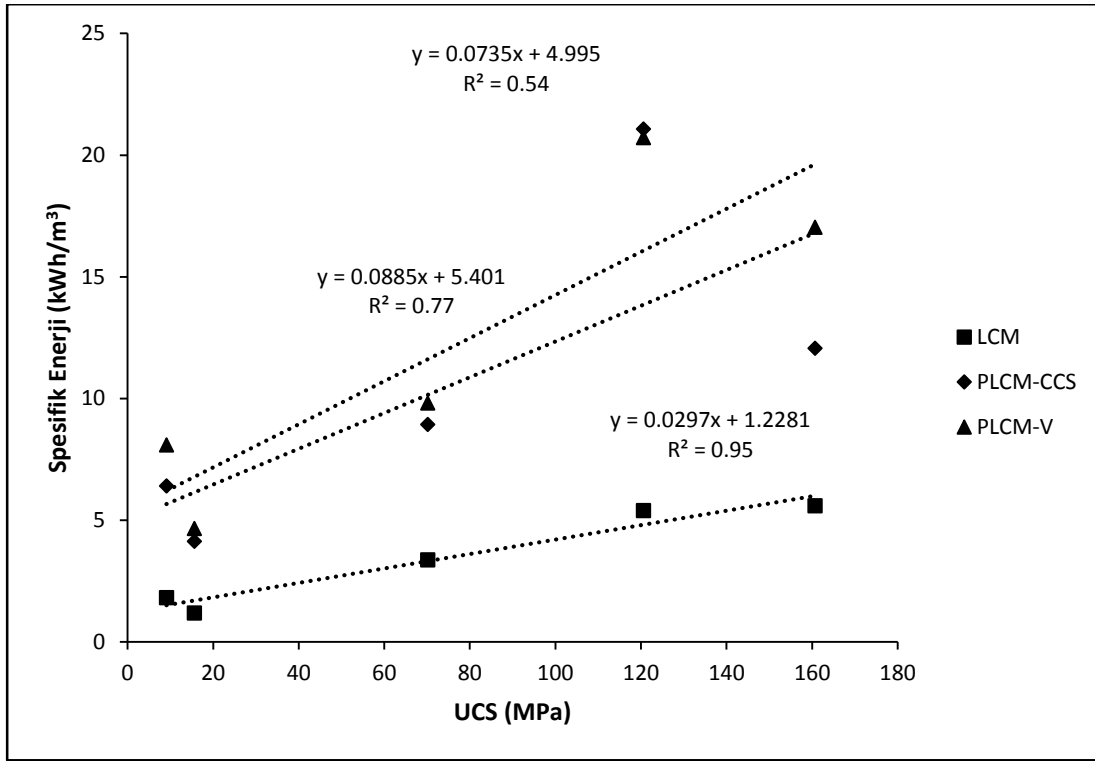


Şekil 5.49 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

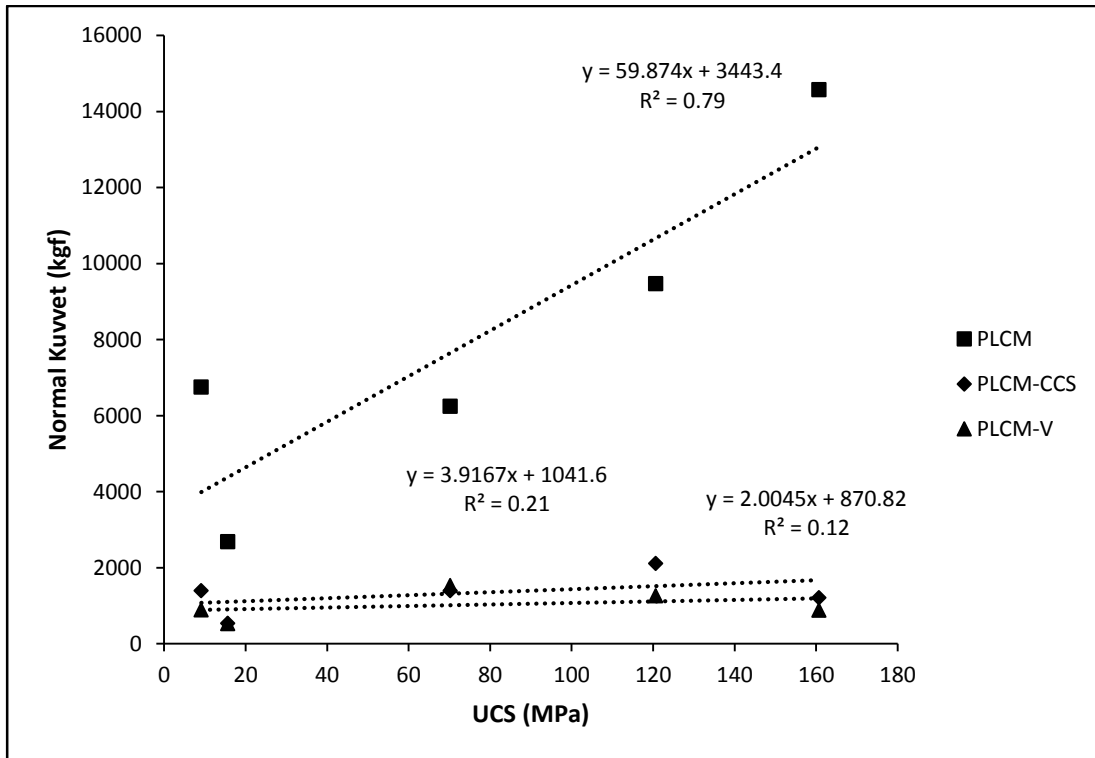
İlgili grafiklere bakıldığında kayaçların tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak 5 mm kesme derinliğinde yardımsız olarak yapılan kaya kesme deney sonuçlarının değişimi beklenilenden daha düşük bir ilişki vermiştir. Spesifik enerji ve keski üzerine etki eden normal kuvvet değerlerinde LCM deney sonuçlarının PLCM deney sonuçlarına göre daha iyi sonuç verdiği fakat yuvarlanma kuvveti değerlerinin değişimi için aynı durumun söylenemeyeceği görülmektedir. Beklenilenden daha düşük ilişkilerin elde edilmiş olması; özellikle seçilen kayaç türlerinin birbirinden farklı yapıda olmalarından kaynaklanmaktadır. Şöyle ki; farklılıkların deney esnasında kayaçların kırıklı çatlaklı yapıda olmalarına bağlı olarak keskiler üzerine etki eden kuvvet değerleri ile elde edilen pasa miktarlarında orantısızlık görülmesi veya farklılığın bej mermer numunesinde görüldüğü gibi kayaçların aşırı kırılğan yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Spesifik enerji ve tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen ve Şekil 5.47’ de verilen korelasyon katsayısı değerlerinin, üzerinde deneysel çalışmalar yapılan numuneler içerisinde en fazla kırıklı çatlaklı yapıya sahip olan kumtaşı numunesinin değerlendirmeye dâhil edilmemesiyle (R^2) 0.8’ den daha yüksek değerlere çıkması buna delil olarak gösterilebilir.

Benzer şekilde kırılğanlık değerleri birbirinden çok farklı olan bej mermer ve küfeki kireçtaşı numuneleri değerlendirmeye dâhil edilmez ise yuvarlanma kuvveti değerleri ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasında elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) değerleri 0.7’ nin üzerine çıkmaktadır.

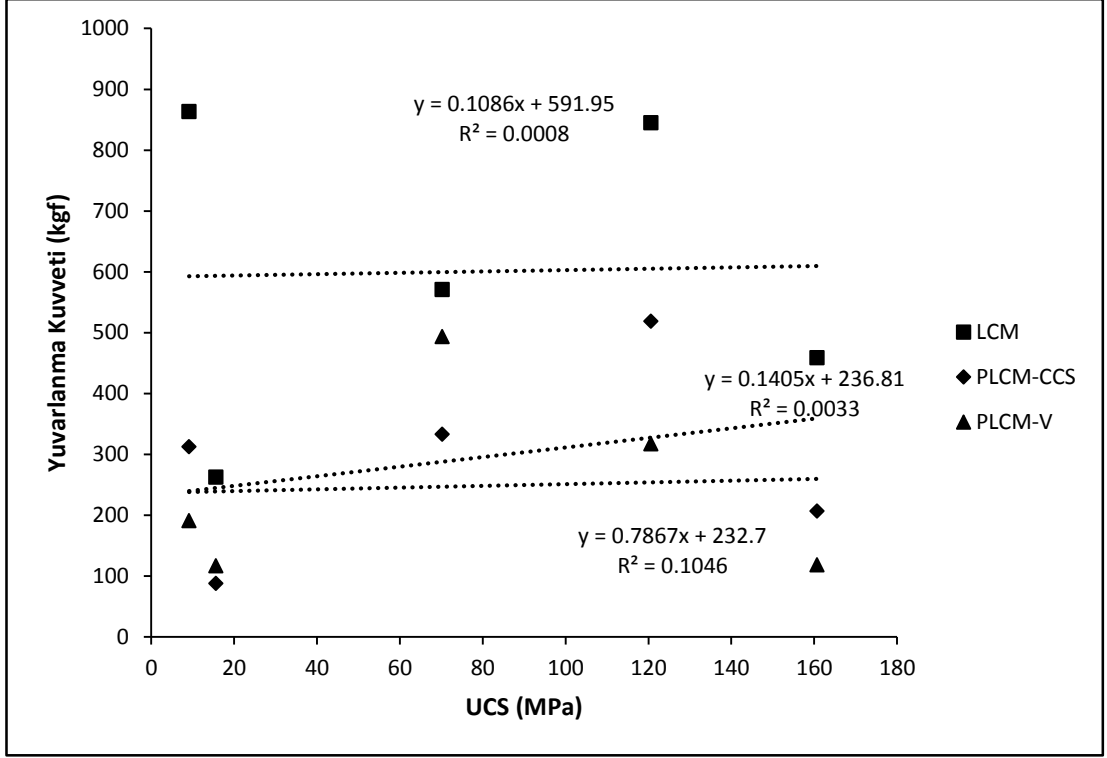
Yardımlı yapılan LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinde kayaçların tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak spesifik enerji ve keski üzerine etki eden kuvvet değerleri karşılaştırılırken yapılan deneylerde optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği değerinin yakalandığı şartlar değerlendirmeye alınmıştır. Buna bağlı olarak elde edilen grafikler Şekil 5.50 – 52’ da verilmiştir.



Şekil 5.50 : Optimum s/d şartlarında yardımcı kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 5.51 : Optimum s/d şartlarında yardımcı kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile keski üzerine etki eden normal kuvvet arasındaki ilişki.

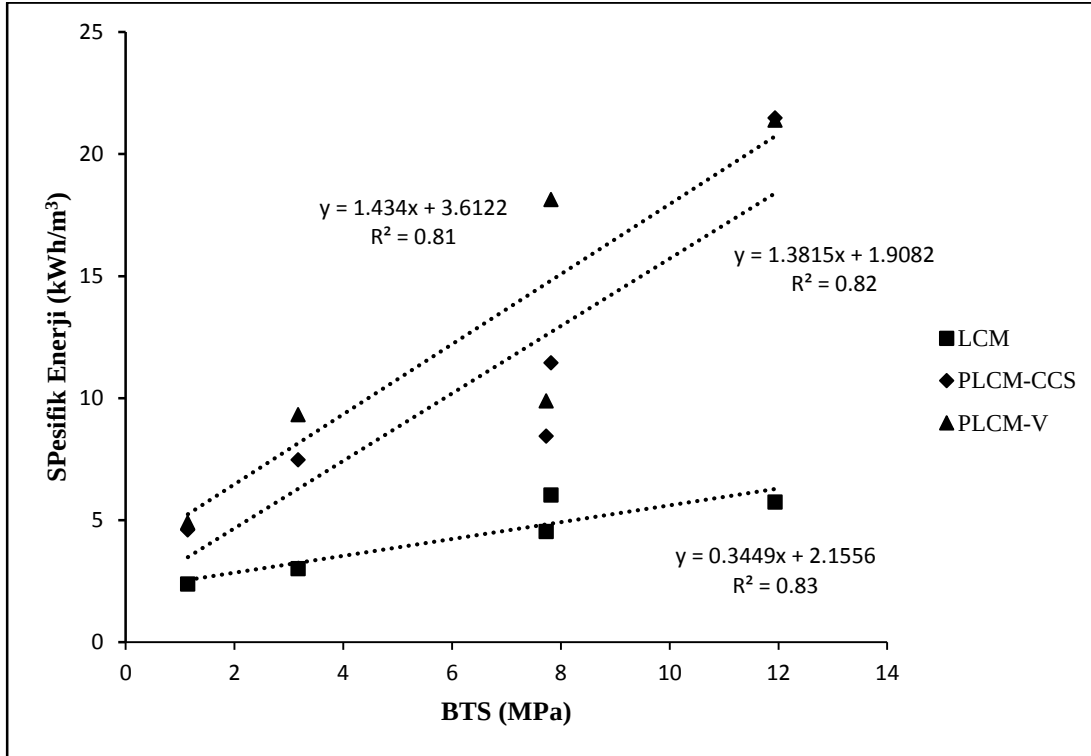


Şekil 5.52 : Optimum s/d şartlarında yardımcı kaya kesme deney sonuçlarına göre tek eksenli basınç dayanımı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvveti arasındaki ilişki.

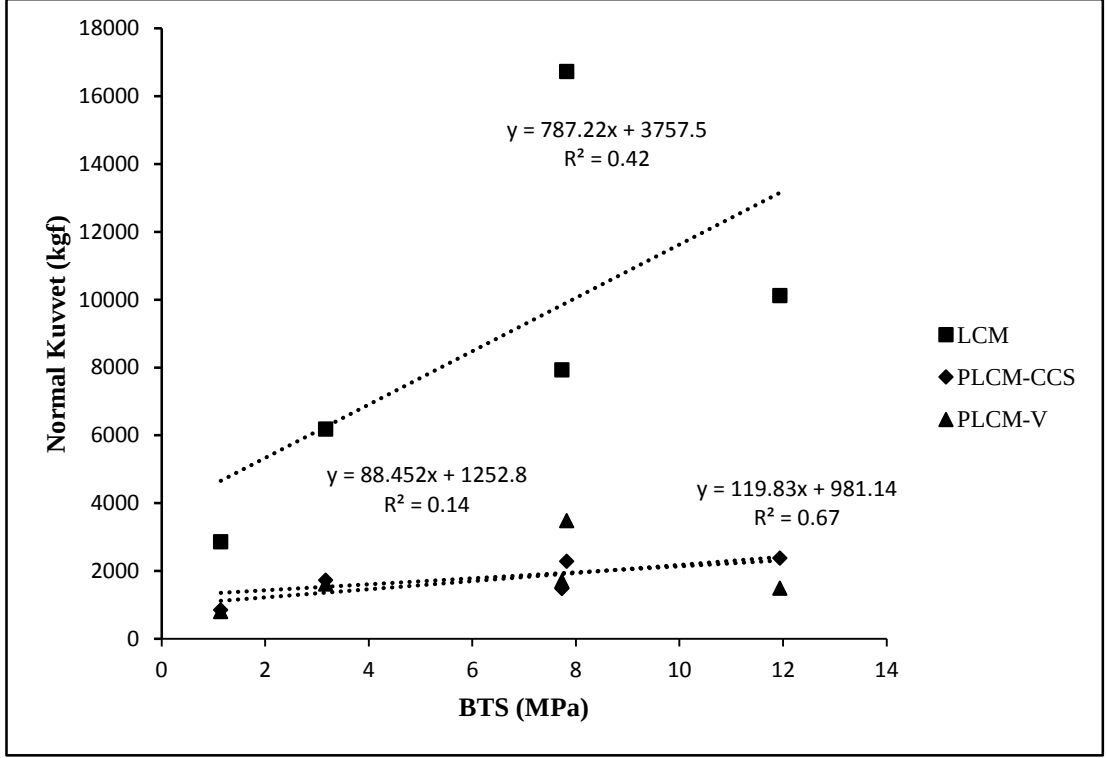
Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak yardımcı kaya kesme deneyleri için spesifik enerji ve keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvet değerlerinin değişimleri de yardımsız deney sonuçlarına benzer şekilde düşük korelasyonlar vermiştir. Şekil 5.50' ye bakıldığında spesifik enerji için ilişki nispeten daha iyi iken kuvvet değerleri için ilişki çok düşüktür. Kuvvet değerleri için ilişkinin düşük kalması, optimum s/d oranının her bir kayaç için farklı kesme derinliğinde elde edilmesinden kaynaklandığı düşünülebilir. Bunun yanında tek eksenli basınç dayanımı değerinin dolaylı çekme dayanımı değerine bölünmesi sonucu elde edilen kayaçların kırılma özelliklerine göre kırılma değeri en yüksek ve en düşük olan bej mermer ve traverten numuneleri hesaplamaya dahil edilmeyince korelasyon katsayısı değerlerinin tüm karşılaştırmalar için $R^2 = 1$ kadar çıktığı görülmüştür.

5.2.2 Dolaylı çekme dayanımı ile LCM – PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması

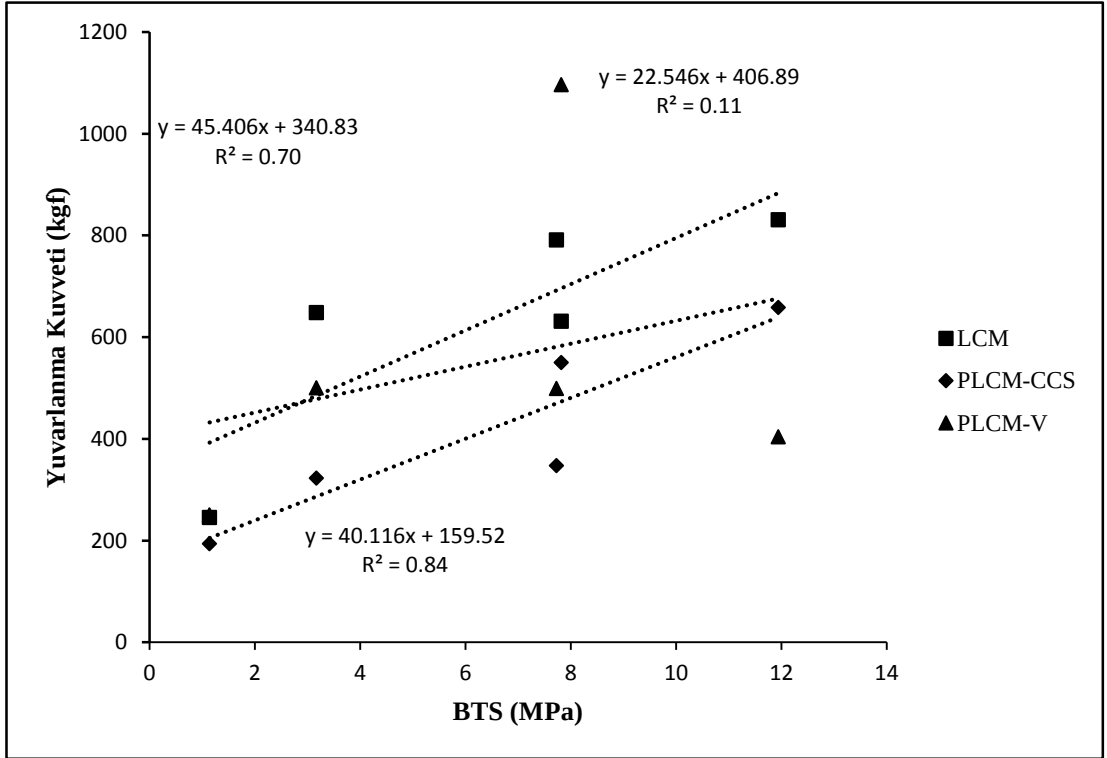
Kayaçların dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak yardımcı ve yardımsız LCM ve PLCM kaya kesme deneyleri için spesifik enerji değerleri ve keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvet değerlerinin değişimleri ele alınmış ve Yardımsız kaya kesme deneyleri için 5 mm kesme derinliğinde yapılan deney sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. 5 mm kesme derinliğinde yardımsız yapılan LCM ve PLCM kaya kesme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti ve spesifik enerji değerlerinin kayaçların dolaylı çekme dayanımı değerine bağlı olarak değişimini gösterir grafikler Şekil 5.53 – 55’ te verilmiştir.



Şekil 5.53 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



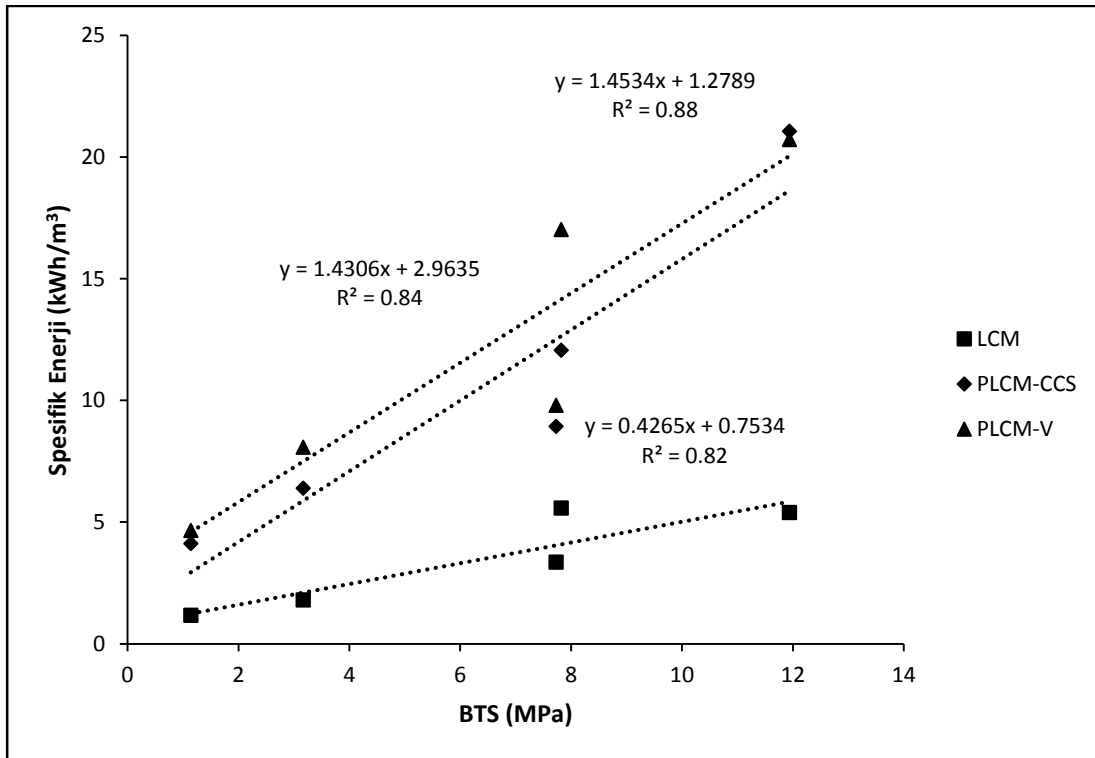
Şekil 5.54 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile keski üzerine etki eden normal kuvvet arasındaki ilişki.



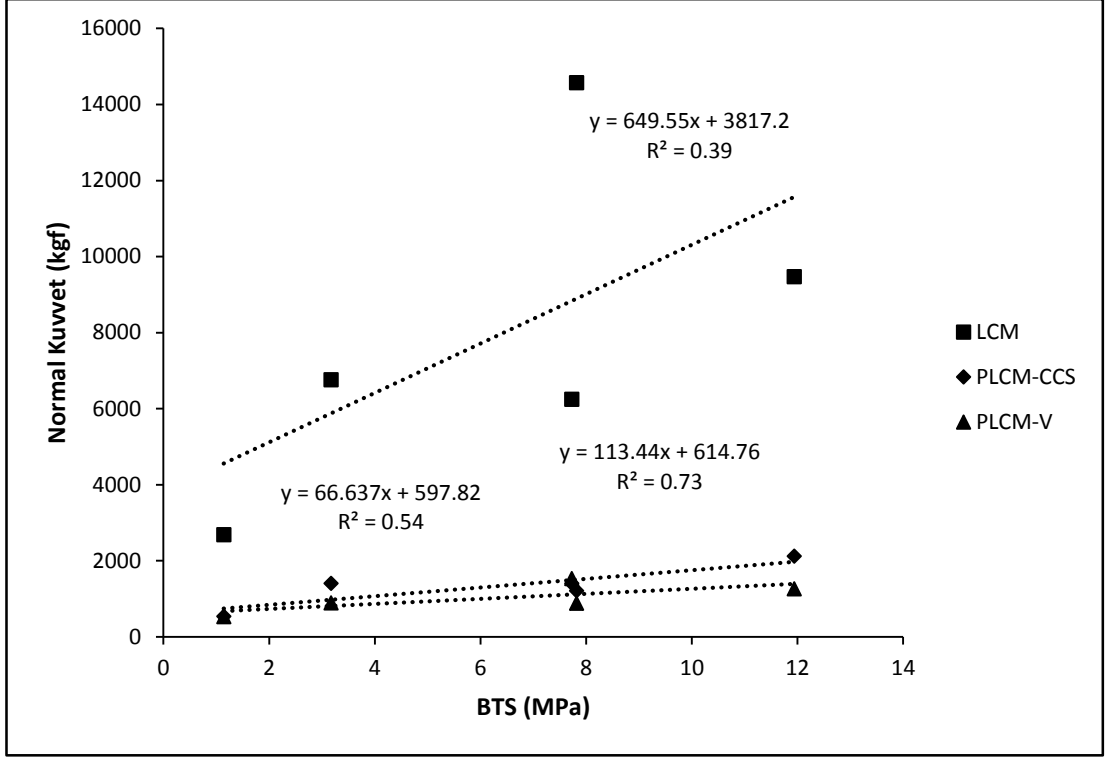
Şekil 5.55 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvvetleri arasındaki ilişki.

Şekil 5.53' e bakıldığında kayaçların çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak 5 mm kesme derinliğinde elde edilen spesifik enerji değerleri arasındaki ilişkinin güçlü olduğu görülmektedir. Keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinde ise aynı güçlü ilişkinin görülmediği bunun da kayaçların yapısal özelliklerinden kaynaklandığı düşünülebilir. Şöyle ki; normal kuvvet değerleri için yapılan karşılaştırmada kırılabilirliği yüksek olan bej mermer numunesinin değerlendirme dışında bırakılması sonucu R^2 değeri 0.9' un ve yuvarlanma kuvvet için yapılan değerlendirme için kırıklı çatlaklı yapıya sahip olan kumtaşının değerlendirmeye dahil edilmemesiyle korelasyon katsayısı değerlerinin 0.7' ye yakın değerlerde elde edildiği görülmüştür.

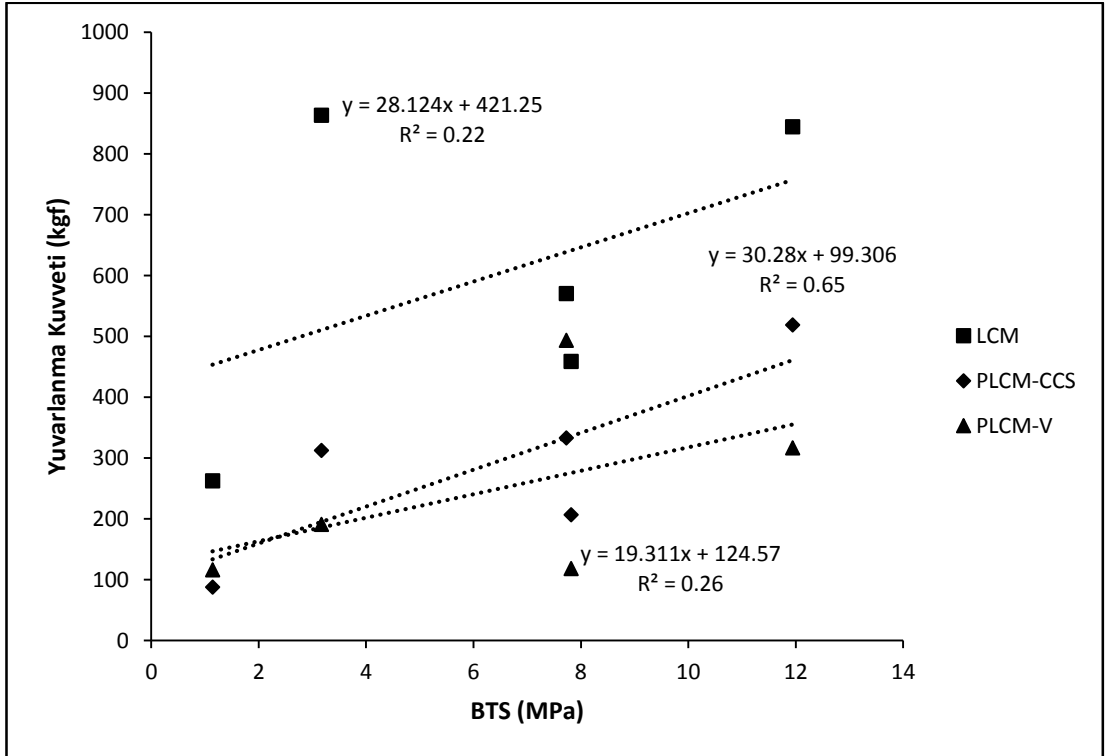
Yardımlı yapılan LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinde kayaçların dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak spesifik enerji ve keski üzerine etki eden kuvvet değerleri karşılaştırılırken yapılan deneylerde optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği değerinin yakalandığı şartlar değerlendirmeye alınmıştır. Buna bağlı olarak elde edilen grafikler Şekil 5.56 – 58' de verilmiştir.



Şekil 4.56 : Optimum s/d şartlarında yardımcı kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 5.57 : Optimum s/d şartlarında yardımcı kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile keski üzerine etki eden normal kuvvet arasındaki ilişki.

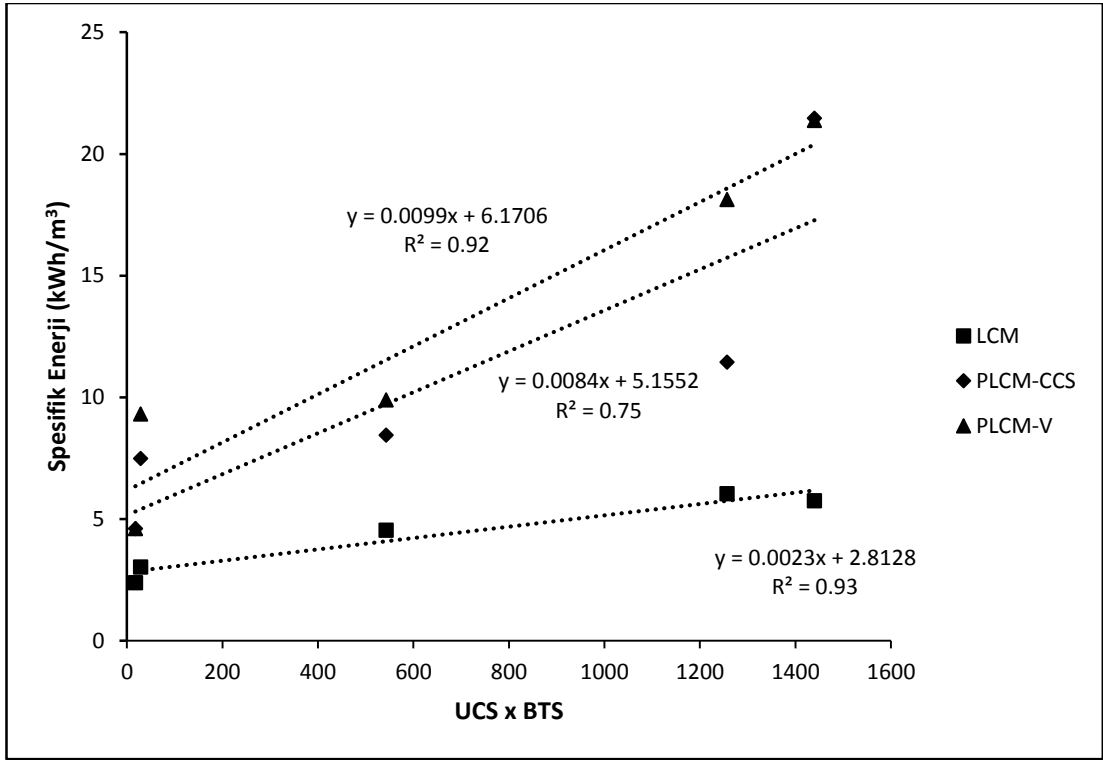


Şekil 5.58 : Optimum s/d şartlarında yardımcı kaya kesme deney sonuçlarına göre dolaylı çekme dayanımı ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvveti arasındaki ilişki.

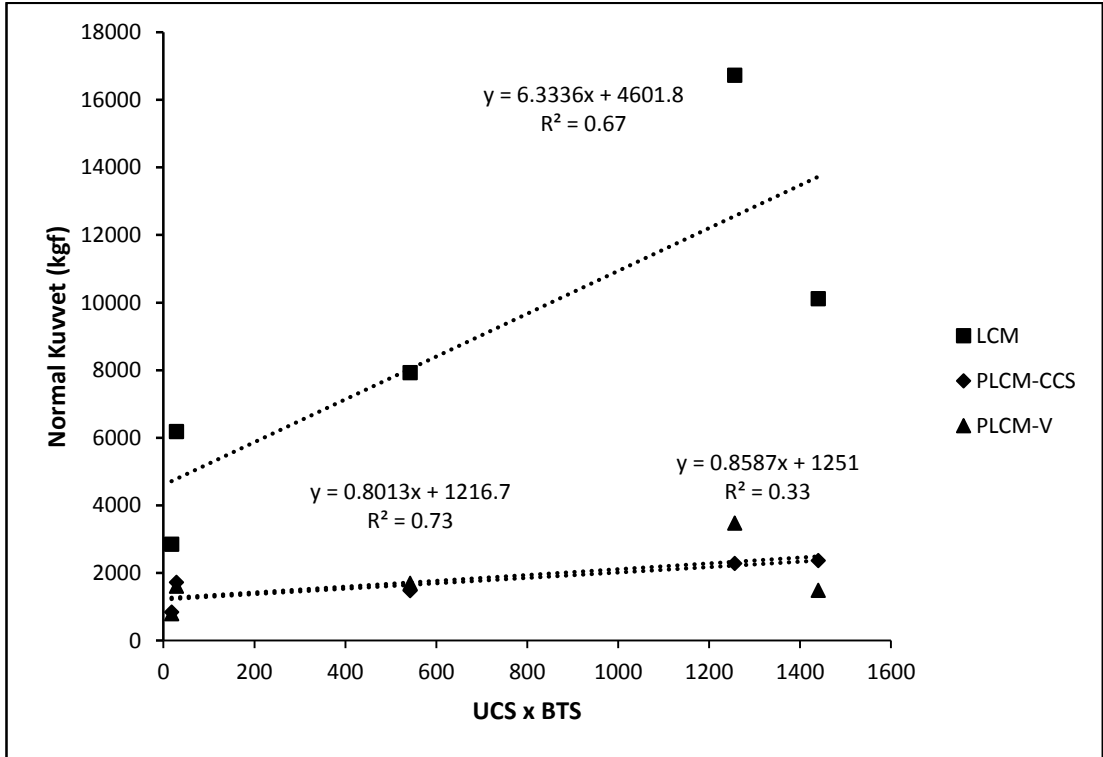
Yardımlı kaya kesme deney sonuçlarının kayaçların dolaylı çekme dayanımı değerlerine bağlı olarak değişimlerini gösteren ilgili grafiklere bakıldığında spesifik enerji değerlerinin beklenildiği gibi yüksek korelasyon değerleri verdiği keski üzerine etki eden kuvvet değerlerindeki değişimin ise daha düşük değerlerde kaldığı görülmüştür. Kuvvet değerleri için ilişkinin düşük kalması, optimum s/d oranının her bir kayaç için farklı kesme derinliğinde elde edilmesinden kaynaklandığı düşünülebilir. Bunun yanında kayaçların yapısal özellikleri de etkilidir. Şöyle ki; düşük korelasyonların elde edildiği normal kuvvet ve yuvarlanma kuvveti değerleri için yapılan karşılaştırmalarda kırılabilirliği yüksek olan bej mermer numunesinin değerlendirmeye dâhil edilmemesiyle daha yüksek korelasyonların elde edildiği görülmüştür.

Çopur ve diğ., (2001) yaptıkları çalışmada kazı mekanizasyonu bakımından kayaçların kırılabilirlikleri incelenirken kayaçların tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımı değerlerinin çarpımıyla spesifik enerji değeri arasında yüksek korelasyonlu bir ilişki elde etmişlerdir. Bu kapsamda kayaçların tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımlarına bağlı olarak spesifik enerji değerlerinin ve keski üzerine etki eden normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin değişimleri ele alındıktan sonra Çopur ve diğ., (2001) tarafından yapılan çalışmaya benzer şekilde değerlendirme yapılmış ve kayaçların tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımı değerlerinin çarpımına bağlı olarak spesifik enerji ve keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin değişimleri incelenmiştir (Şekil 5.59 – 61).

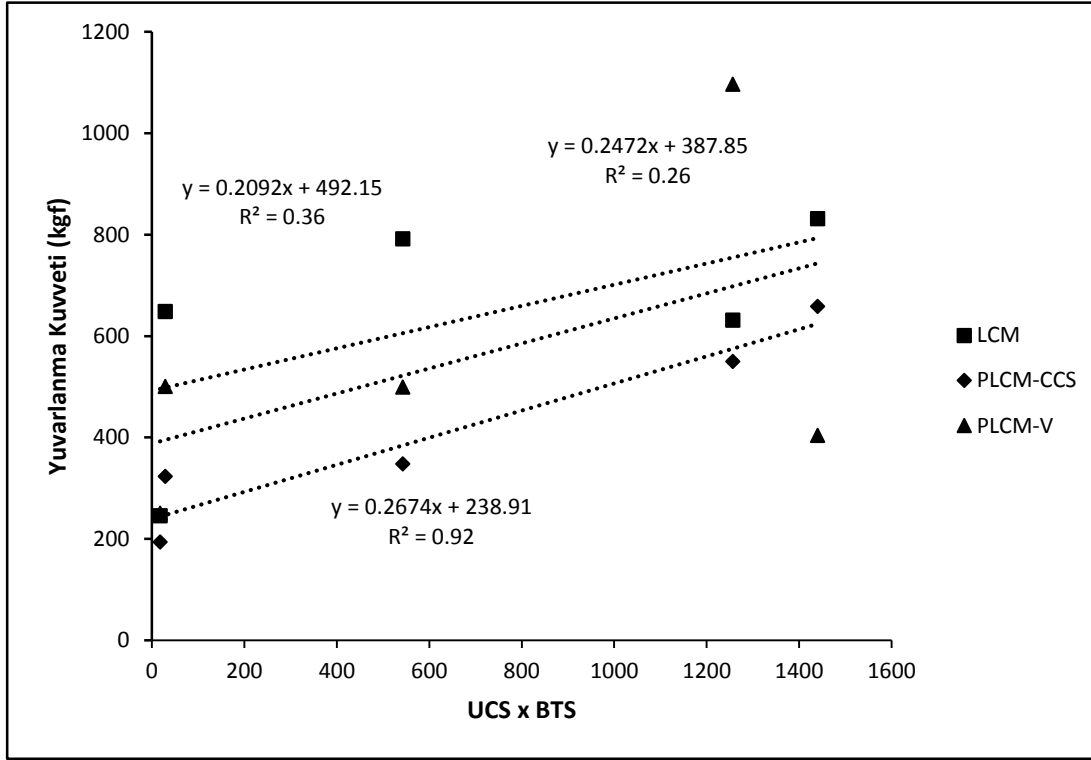
Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda 5 mm kesme derinliğinde yardımsız olarak yapılan LCM ve PLCM deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerleri için elde edilen ilişki daha güçlü iken kesimler üzerine etki eden kuvvet değerleri için bu ilişki azalmıştır. Kuvvet değerlerinde daha zayıf bir ilişkinin elde edilmiş olması özellikle kayaçların yapısal özellikleriyle ilişkilendirilebilir. Özellikle çok kırıklı çatlaklı yapıya sahip olan kumtaşı ve yüksek kırılabilirliğe sahip bej mermer numuneleri korelasyon katsayısını düşürmektedir.



Şekil 5.59 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre UCS x BTS değeri ile spesifik enerji arasındaki ilişki.



Şekil 5.60 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre UCS x BTS değeri ile keski üzerine etki eden normal kuvvet değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 5.61 : 5 mm kesme derinliğinde yardımsız kaya kesme deney sonuçlarına göre UCS x BTS değeri ile keski üzerine etki eden yuvarlanma kuvveti arasındaki ilişki.

5.3 DeneySEL ve Teorik Keski Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde geliştirilen taşınabilir doğrusal kazı deney seti kullanılarak farklı kesme derinliği değerlerinde elde edilen yardımcı ve yardımsız kaya kesme deney sonuçları, CCS ve V tip disk keski için geliştirilen teorik yaklaşımlardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken amaçlanan PLCM deney setinden elde edilen sonuçların teorik sonuçlarla uyumluluğu araştırılarak yeni deney setinden elde edilen sonuçların güvenilirliğinin belirlenmesi olmuştur.

CCS tip disk keski için teorik hesaplamalar Rostami ve Özdemir (1993) tarafından geliştirilen model kullanılarak yapılmıştır. V tip disk keski için yapılan teorik hesaplamalarda ise yardımsız kaya kesme deneyleri için Bilgin (1977) tarafından geliştirilen model ve bu modelin Tumaç ve Balcı (2014) tarafından modifiye edilmesi sonucu elde edilen yeni model yardımcı kaya kesme deneylerinde kullanılmıştır.

CCS ve V tip disk keskiler için bu modeller kullanılarak yapılan örnek birer hesaplama aşağıda verilmiş olup her bir kayaç numunesi için deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırılmasıyla elde grafikler ayrı ayrı bölümlerde verilmiştir.

CCS tip disk keski için normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin hesaplanması;

Disk keski özellikleri;

Disk keski çapı, D : 144 (mm)

Keski uç kalınlığı, T : 5 (mm)

Keski uç yarıçapı, r : 2.5 (mm)

Keski uç açısı, ϕ : 40°

Numune özellikleri;

Kayaç ismi: Bej mermer

Tek eksenli basınç dayanımı, σ_c : 160.7 (MPa)

Kayacın çekme dayanımı, σ_t : 7.82 (Mpa)

Deney şartları;

Keskiler arası mesafe, s : 20 (mm)

Kesme derinliği, d : 5 (mm)

Dönüşüm katsayısı, C : 2.12

ψ : CCS tip keskiler için ψ değeri sıfır olarak kabul edilir.

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{R-d}{R} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{72-5}{72} \right) = 0.375 \text{ (radyan)}$$

$$P = C \cdot \sqrt[3]{\frac{s \cdot \sigma_c \cdot \sigma_t}{\gamma \cdot \sqrt{R \cdot T}}} = 2.12 \cdot \sqrt[3]{\frac{20 \cdot 160.7 \cdot 7.82}{0.375 \cdot \sqrt{72 \cdot 5}}} = 175.56 \text{ MPa}$$

$$F_T = \frac{P \cdot R \cdot T \cdot \gamma}{\psi + 1} = \frac{175.56 \cdot 72 \cdot 5 \cdot 0.375}{0+1} = 23230.6 = 23,3 \text{ kN}$$

$$F_N = F_T \cdot \cos \left(\frac{\gamma}{2} \right) = 23,3 \cdot \cos \left(\frac{0.375}{2} \right) = 22,8 \text{ kN}$$

$$F_R = F_T \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) = 23,3 \cdot \sin\left(\frac{0,375}{2}\right) = 4,33 \text{ kN}$$

V tip disk keski için normal ve yuvarlanma kuvvetlerinin hesaplanması;

Disk keski özellikleri;

Disk keski çapı, D : 144 (mm)

Keski uç kalınlığı, T : 0.7 (mm)

Keski uç yarıçapı, r : 0.35 (mm)

Keski uç açısı, ϕ : 70°

Numune özellikleri;

Kayaç ismi: Bej mermer

Tek eksenli basınç dayanımı, σ_c : 160,7 (MPa)

Kayacın çekme dayanımı, σ_t : 7,82 (Mpa)

Deney şartları;

Keskiler arası mesafe, s : 20 (mm)

Kesme derinliği, d : 5 (mm)

Yardımsız deneyler için;

$$FN_{Rox} = 4 \cdot \sigma_c \cdot d \cdot \tan\frac{\phi}{2} \sqrt{D \cdot d - d^2} = 4 \cdot 160,7 \cdot 5 \cdot \tan\frac{70}{2} \sqrt{72,5 - 5^2} = 58,18 \text{ kN}$$

$$FR_{Rox} = 4 \cdot \sigma_c \cdot d^2 \cdot \tan\frac{\phi}{2} = 4 \cdot 160,7 \cdot 5^2 \cdot \tan\frac{70}{2} = 11,03 \text{ kN}$$

$$A = 0,0354 + \frac{0,6554}{d} = 0,0354 + \frac{0,6554}{5} = 0,166$$

$$B = 0,060 + \frac{0,383}{d} = 0,060 + \frac{0,383}{5} = 0,136$$

$$FN_{Bil} = FN_{Rox} \cdot e^{Ar} = 58,18 \cdot e^{0,116 \cdot 0,35} = 61,67 \text{ kN}$$

$$FR_{Bil} = FR_{Rox} \cdot e^{Br} = 11,03 \cdot e^{0,136 \cdot 0,35} = 11,58 \text{ kN}$$

Yardımlı deneyler için;

$$FN_{Bil.-M} = FN_{Bil.} \cdot 0.85 = 61,67 \cdot 0,85 = 52,42 \text{ kN}$$

$$FR_{Bil.-M} = FR_{Bil.} \cdot 0.85 = 11,58 \cdot 0,85 = 9,84 \text{ kN}$$

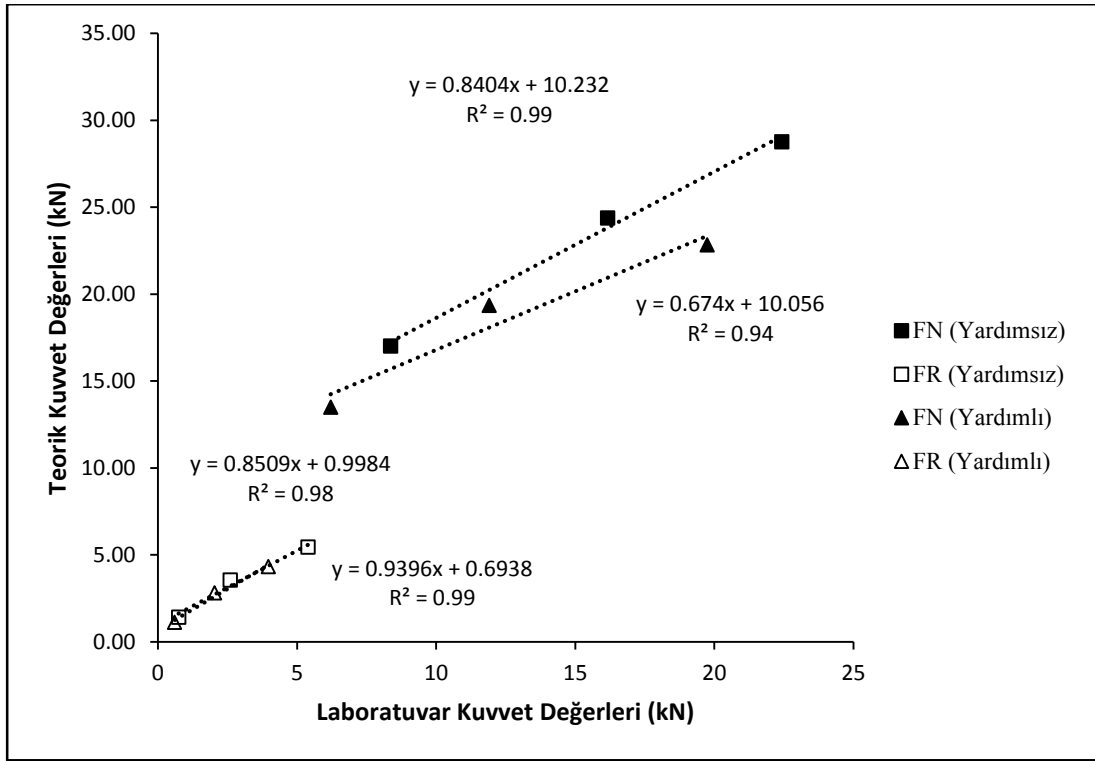
5.3.1 Bej mermer için deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Geliştirilen yeni taşınabilir doğrusal kazı deney setinde CCS ve V tip mini disk keski kullılarak yapılan kaya kesme deney sonuçları ve bu keski için önerilen modeller kullanılarak hesaplanan teorik kuvvet değerleri Çizelge 5.5’ te verilmiştir.

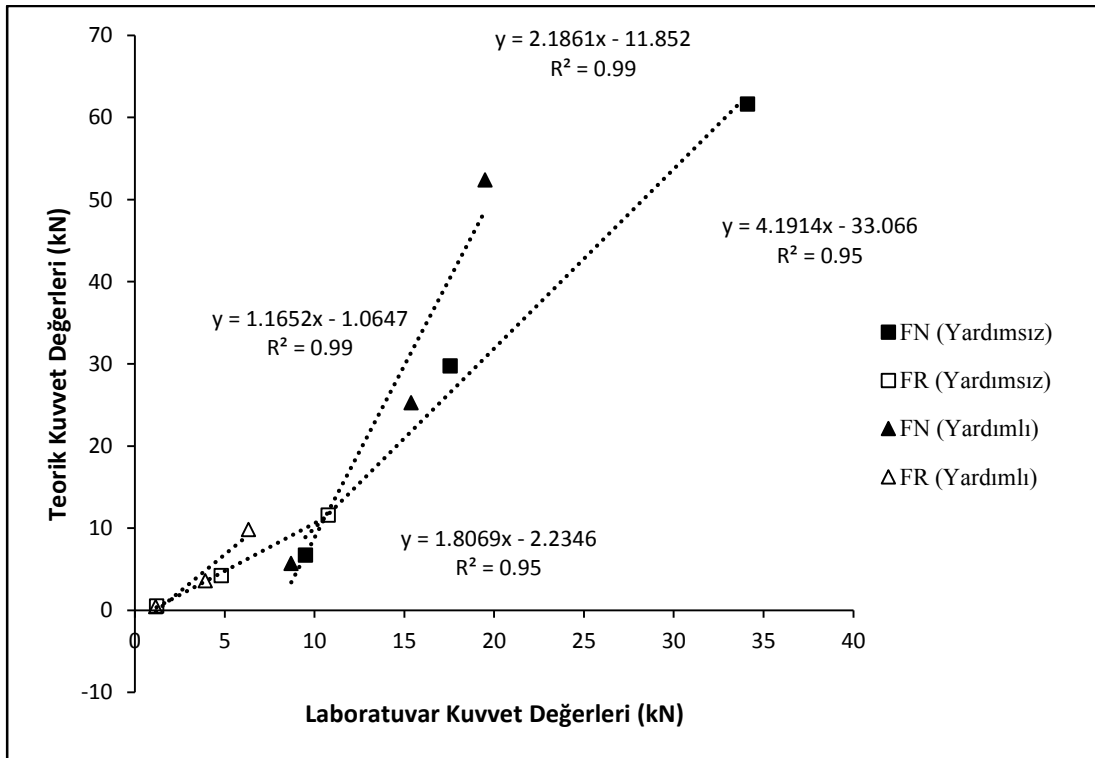
Çizelge 5.5 : Bej mermer numunesi için elde edilen deneysel ve teorik keski kuvvet değerleri.

Keski	d (mm)	Deney	Deneysel Sonuçlar		Rostami		Modified Bilgin	
			FN (kN)	FR (kN)	FN (kN)	FR (kN)	FN (kN)	FR (kN)
CCS	1	Yardımsız	8.37	0.7	17.01	1.42	-	-
	3	Yardımsız	16.16	2.6	24.39	3.56	-	-
	5	Yardımsız	22.42	5.4	28.76	5.45	-	-
	1	Yardımlı	6.21	0.6	13.50	1.13	-	-
	3	Yardımlı	11.91	2.0	19.36	2.82	-	-
	5	Yardımlı	19.75	4.0	22.83	4.33	-	-
V	1	Yardımsız	9.49	1.2	-	-	6.72	0.52
	3	Yardımsız	17.56	4.8	-	-	29.76	4.24
	5	Yardımsız	34.12	10.8	-	-	61.67	11.58
	1	Yardımlı	8.70	1.2	-	-	5.71	0.44
	3	Yardımlı	15.38	3.9	-	-	25.30	3.61
	5	Yardımlı	19.49	6.3	-	-	52.42	9.84

Çizelge 5.5’ te verilen kuvvet değerlerine bakıldığında yardımcı ve yardımcı kaya kesme deneylerinde CCS tip disk keski için hem normal hem de yuvarlanma deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin kesme derinliği arttıkça birbirine daha yakın değerlerde olduğu görülmektedir. V tip disk keski de ise normal kuvvet değerleri için bakıldığında düşük kesme derinliği değerlerinde daha yakın sonuçlar elde edilirken kesme derinliği arttıkça sonuçlar arasındaki fark artmaktadır. Yuvarlanma kuvveti değerlerinde ise normal kuvvet değerlerine oranla kesme derinliği değeri arttıkça hem yardımcı hem de yardımcı kaya kesme deneyleri için birbirine daha yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Elde edilen deneysel ve teorik kuvvet değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafikler Şekil 5.62 – 63’ te verilmiştir.



Şekil 5.62 : Bej mermer numunesi CCS tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.63 : Bej mermer numunesi V tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.

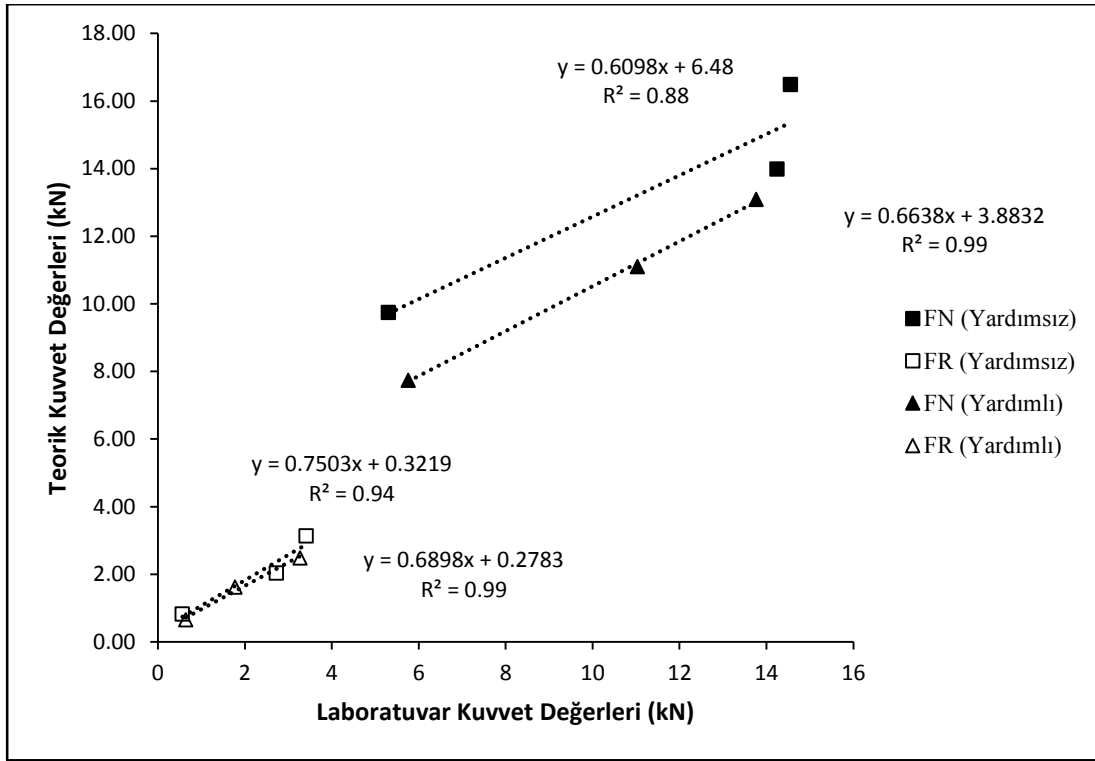
5.3.2 Kireçtaşı için deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

CCS ve V tip mini disk keskiler kullanılarak yapılan kaya kesme deney sonuçları ve bu keskiler için önerilen modeller kullanılarak hesaplanan teorik kuvvet değerleri Çizelge 5.6’ da verilmiştir.

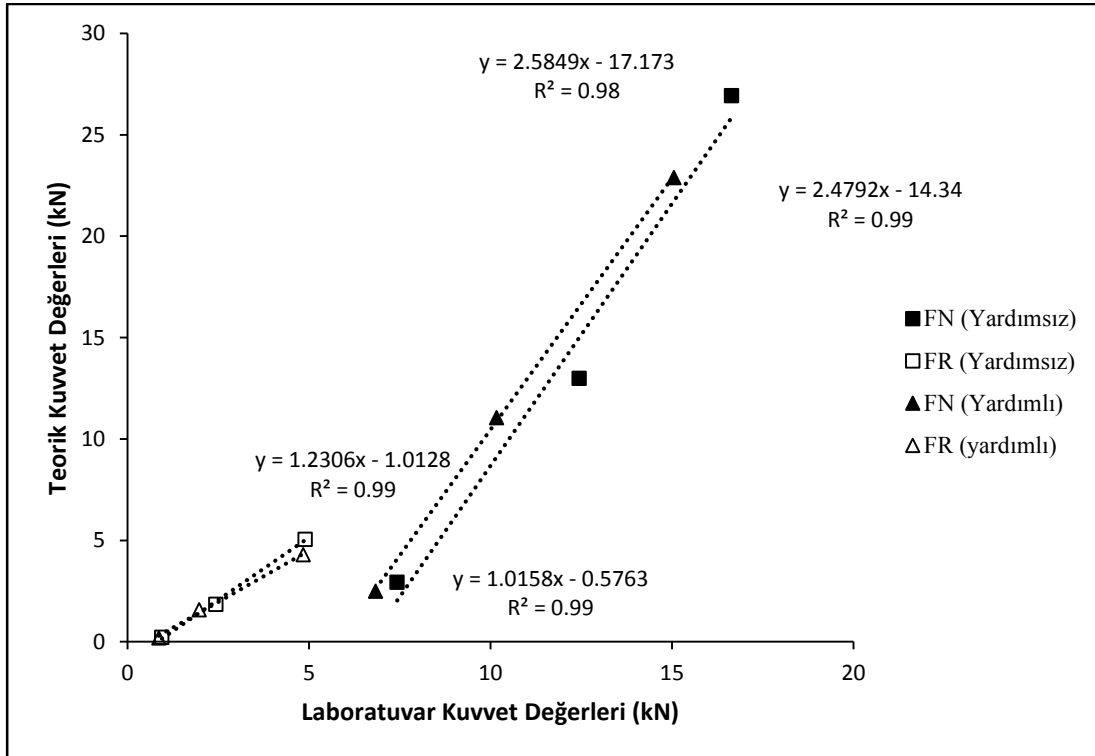
Çizelge 5.6 : Kireçtaşı numunesi için elde edilen deneysel ve teorik keski kuvvet değerleri.

Keski	d (mm)	Test	Deneysel Sonuçlar		Rostami		Modified Bilgin	
			FN (kN)	FR (kN)	FN (kN)	FR (kN)	FN (kN)	FR (kN)
CCS	1	Yardımsız	5.30	0.6	9.75	0.82	-	-
	3	Yardımsız	14.25	2.7	13.99	2.04	-	-
	5	Yardımsız	14.55	3.4	16.49	3.13	-	-
	1	Yardımlı	5.76	0.6	7.74	0.65	-	-
	3	Yardımlı	11.03	1.8	11.10	1.62	-	-
	5	Yardımlı	13.76	3.3	13.09	2.48	-	-
V	1	Yardımsız	7.43	0.9	-	-	2.94	0.23
	3	Yardımsız	12.45	2.4	-	-	13	1.85
	5	Yardımsız	16.64	4.9	-	-	26.94	5.06
	1	Yardımlı	6.84	0.9	-	-	2.50	0.19
	3	Yardımlı	10.17	2.0	-	-	11.05	1.58
	5	Yardımlı	15.05	4.8	-	-	22.90	4.30

Çizelge 5.6’ da verilen kuvvet değerlerine bakıldığında yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneylerinde CCS tip disk keski için teorik kuvvet değerlerinin deneysel sonuçlara yakın olduğu görülmektedir. V tip disk keskiler de ise özellikle teorik yuvarlanma kuvveti değerlerinin kesme derinliği arttıkça deneysel sonuçlara yaklaştığı görülmektedir. Elde edilen deneysel ve teorik kuvvet değerleri arasındaki ilişkileri gösterir grafikler Şekil 5.64 – 65’ te verilmiştir.



Şekil 5.64 : Kireçtaşı numunesi CCS tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.65 : Kireçtaşı numunesi V tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.

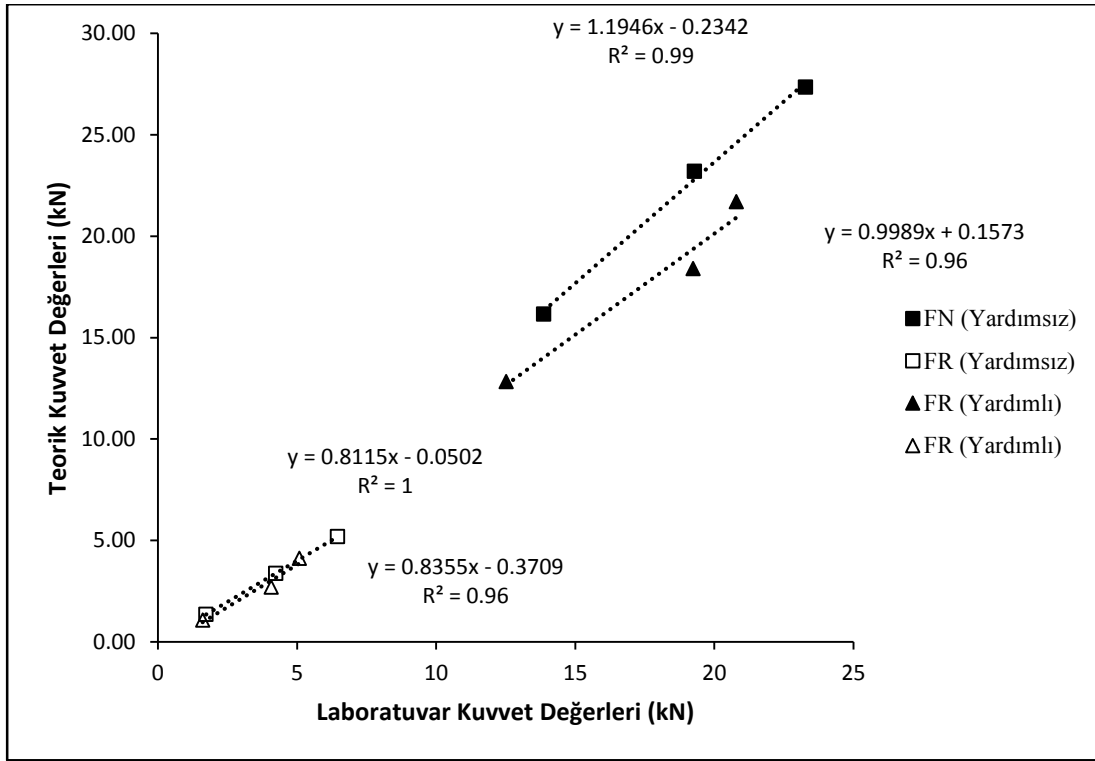
5.3.3 Kumtaşı için deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Kumtaşı numunesi için CCS ve V tip mini disk keskiler kullanılarak yapılan kaya kesme deney sonuçları ve bu keskiler için önerilen modeller kullanılarak hesaplanan teorik kuvvet değerleri Çizelge 5.7’ de verilmiştir.

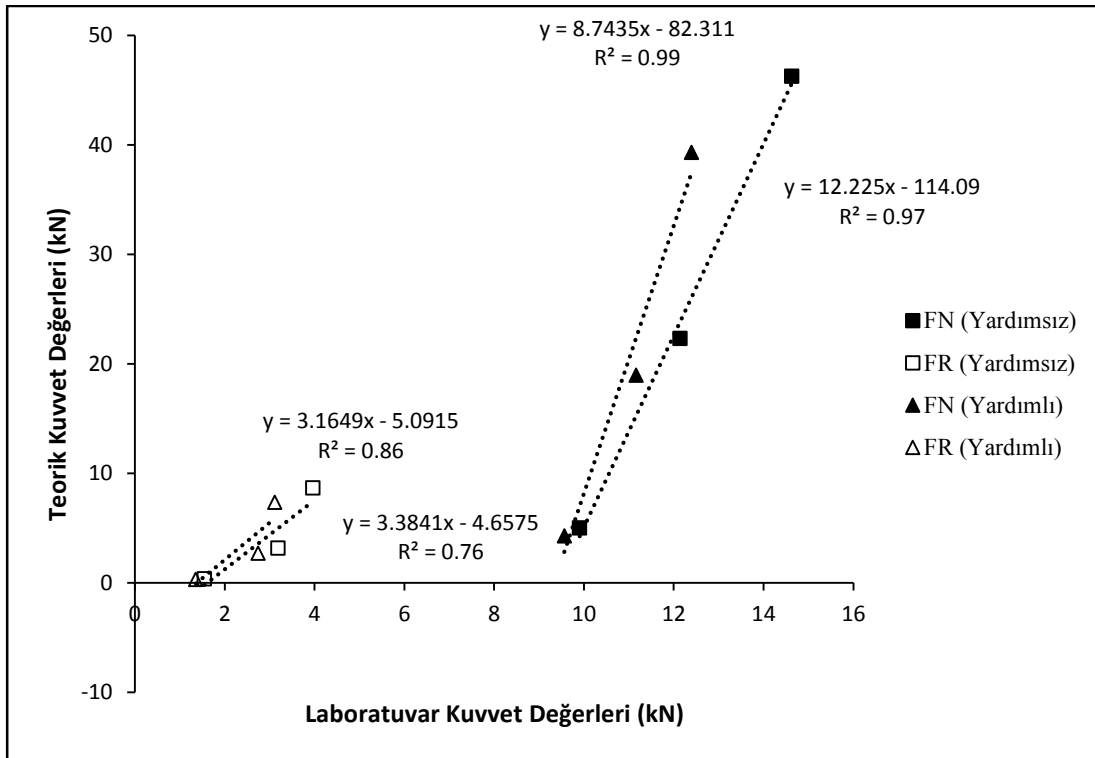
Çizelge 5.7 : Kumtaşı numunesi için elde edilen deneysel ve teorik keski kuvvet değerleri.

Keski	d (mm)	Test	Deneysel Sonuçlar		Rostami		Modified Bilgin	
			FN (kN)	FR (kN)	FN (kN)	FR (kN)	FN (kN)	FR (kN)
CCS	1	Yardımsız	13.87	1.7	16.17	1.35	-	-
	3	Yardımsız	19.29	4.2	23.20	3.38	-	-
	5	Yardımsız	23.28	6.5	27.35	5.19	-	-
	1	Yardımlı	12.52	1.6	12.84	1.07	-	-
	3	Yardımlı	19.24	4.1	18.41	2.69	-	-
	5	Yardımlı	20.79	5.1	21.71	4.12	-	-
V	1	Yardımsız	9.90	1.5	-	-	5.04	0.39
	3	Yardımsız	12.14	3.2	-	-	22.34	3.18
	5	Yardımsız	14.63	4.0	-	-	46.28	8.69
	1	Yardımlı	9.56	1.4	-	-	4.29	0.33
	3	Yardımlı	11.16	2.7	-	-	18.99	2.71
	5	Yardımlı	12.39	3.1	-	-	39.34	7.38

Çizelge 5.7’ de verilen kuvvet değerlerine bakıldığında CCS tip disk keski kullanılarak yapılan yardımcı ve yardımcı kaya kesme deneyleri için hem normal hem de yuvarlanma kuvvet değerlerinin birbirine yakın sonuçlarda olduğu görülmektedir. V tip disk keskiler de ise teorik ve deneysel yuvarlanma kuvvet değerleri birbirine yakın sonuçlarda elde edilirken normal kuvvet değerleri için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Elde edilen deneysel ve teorik kuvvet değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafikler Şekil 5.66 – 67’ de verilmiştir.



Şekil 5.66 : Kumtaşı numunesi CCS tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.67 : Kumtaşı numunesi V tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.

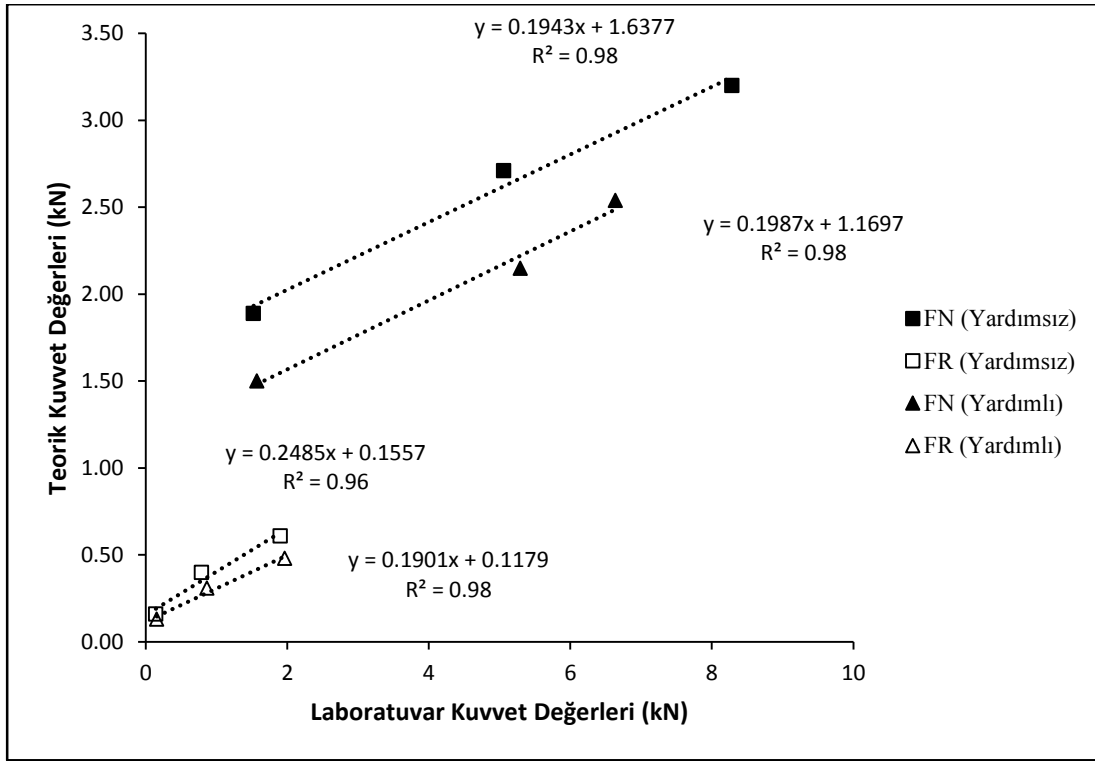
5.3.4 Küfeki kireçtaşı için deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

CCS ve V tip mini disk keski kulllanılarak yapılan kaya kesme deney sonuçları ve bu keski için önerilen modeller kullanılarak hesaplanan teorik kuvvet değerleri Çizelge 5.8’ de verilmiştir.

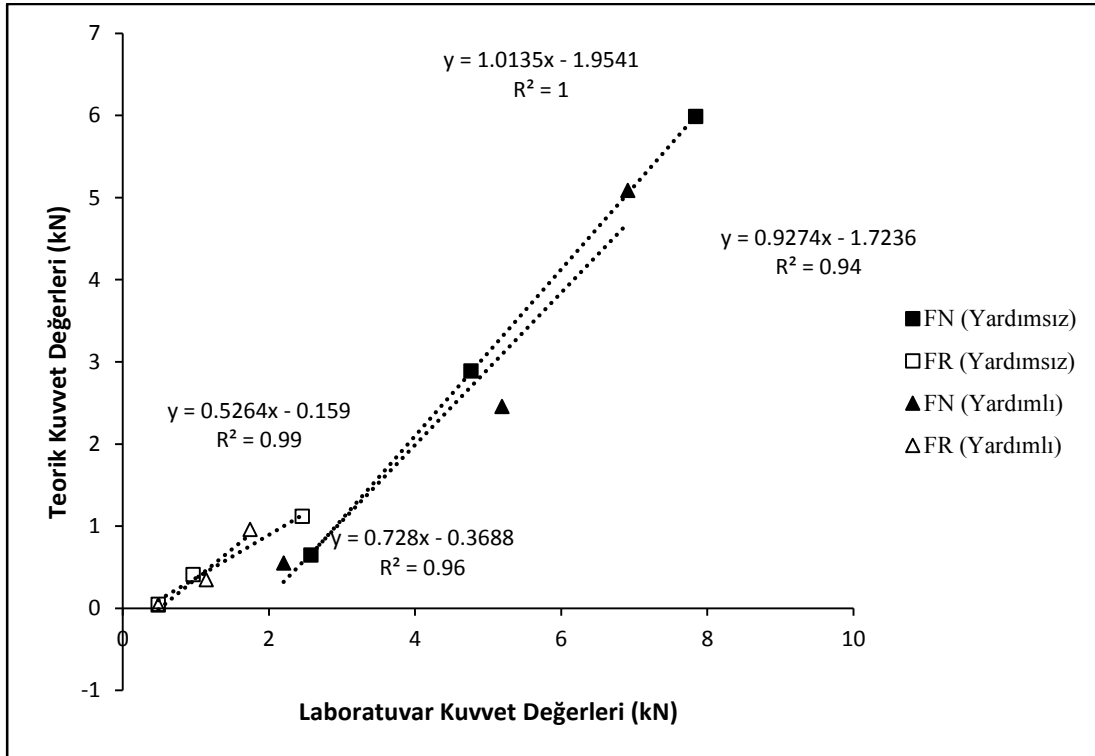
Çizelge 5.8 : Küfeki kireçtaşı numunesi için elde edilen deneysel ve teorik keski kuvvet değerleri.

Keski	d (mm)	Test	Deneysel Sonuçlar		Rostami		Modified Bilgin	
			FN (kN)	FR (kN)	FN (kN)	FR (kN)	FN (kN)	FR (kN)
CCS	1	Yardımsız	1.52	0.1	1.89	0.16	-	-
	3	Yardımsız	5.06	0.8	2.71	0.40	-	-
	5	Yardımsız	8.28	1.9	3.20	0.61	-	-
	1	Yardımlı	1.57	0.2	1.50	0.13	-	-
	3	Yardımlı	5.29	0.9	2.15	0.31	-	-
	5	Yardımlı	6.64	2.0	2.54	0.48	-	-
V	1	Yardımsız	2.58	0.5	-	-	0.65	0.05
	3	Yardımsız	4.77	1.0	-	-	2.89	0.41
	5	Yardımsız	7.84	2.5	-	-	5.99	1.12
	1	Yardımlı	2.20	0.5	-	-	0.55	0.04
	3	Yardımlı	5.19	1.1	-	-	2.46	0.35
	5	Yardımlı	6.91	1.7	-	-	5.09	0.96

Küfeki kireçtaşı için elde edilen deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin verildiği Çizelge 5.8’ e bakıldığında yardımcı ve yardımcı kaya kesme deneylerinde CCS tip disk keski için düşük kesme derinliği değerlerinde kuvvet değerlerinin birbirine yakın değerlerde elde edildiği görülürken kesme derinliği arttıkça değerler arasındaki fark artmaktadır. V tip disk keski de ise özellikle normal kuvvet değerleri için kesme derinliği arttıkça birbirine yakın değerlerin elde edildiği görülmektedir. Elde edilen deneysel ve teorik kuvvet değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafikler Şekil 5.68 – 69’ te verilmiştir.



Şekil 5.68 : Küfeki kireçtaşı numunesi CCS tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.69 : Küfeki kireçtaşı numunesi V tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.

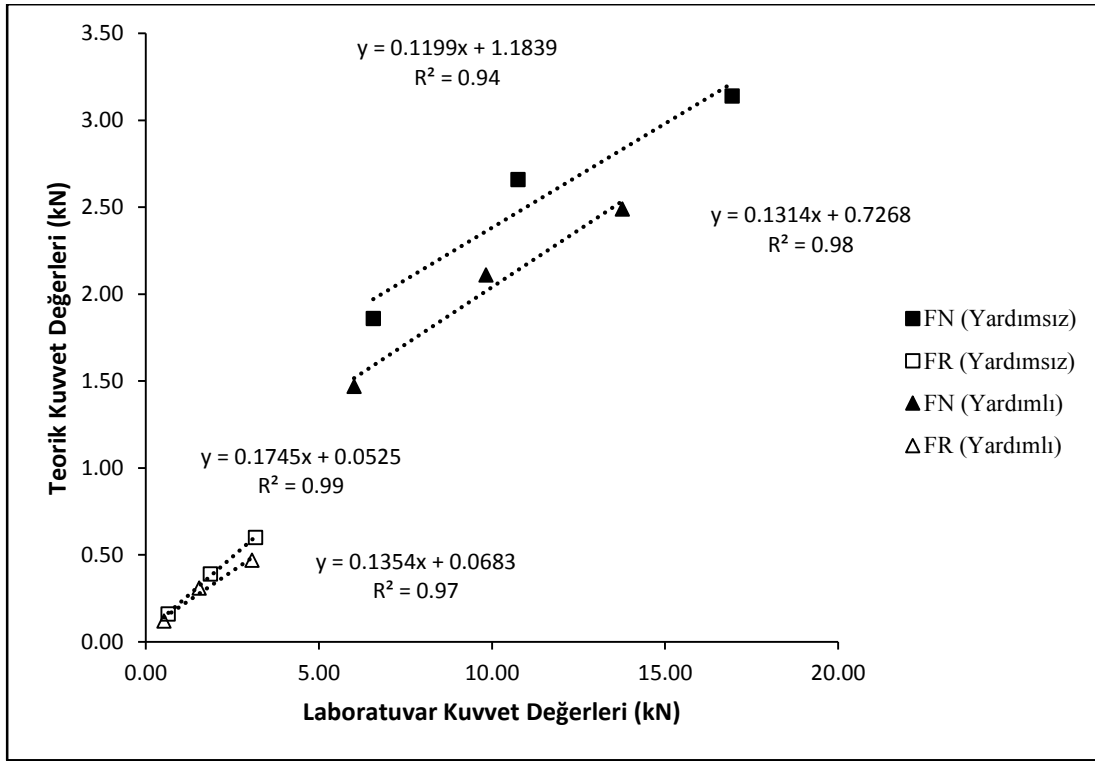
5.3.5 Traverten için deneysel ve teorik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

CCS ve V tip mini disk keskiler kullanılarak yapılan kaya kesme deney sonuçları ve bu keskiler için önerilen modeller kullanılarak hesaplanan teorik kuvvet değerleri Çizelge 5.9’ da verilmiştir.

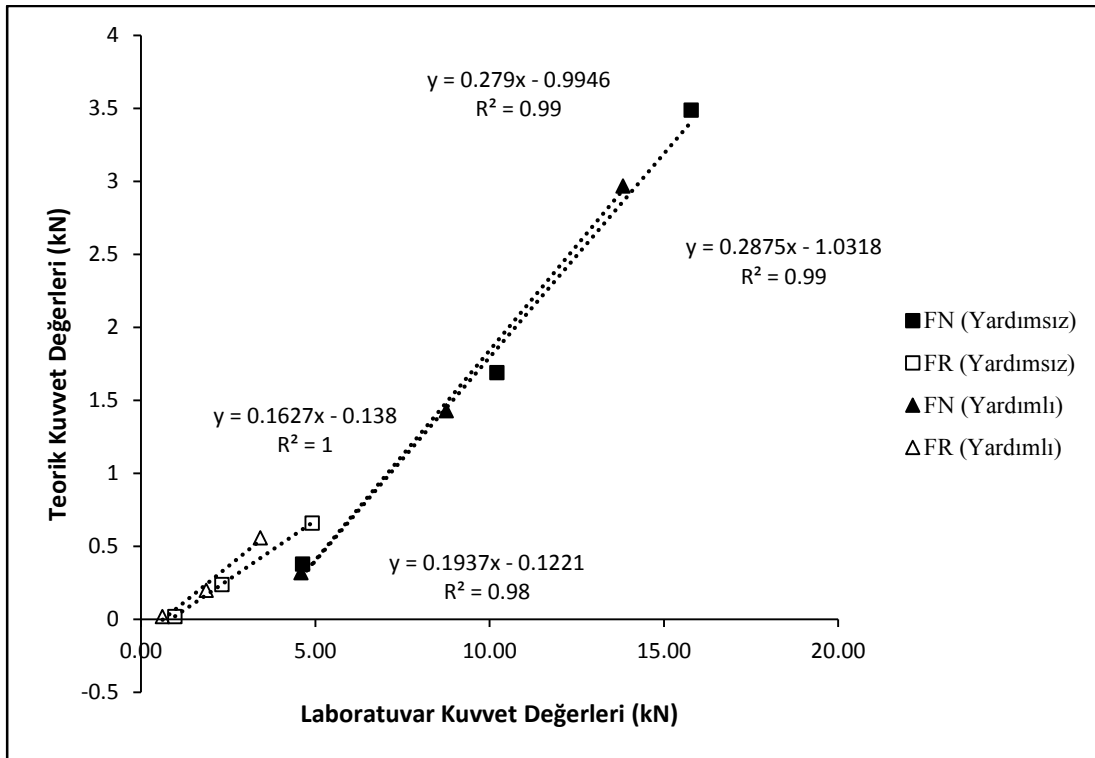
Çizelge 5.9 : Traverten numunesi için elde edilen deneysel ve teorik keski kuvvet değerleri.

Keski	d (mm)	Test	Deneysel Sonuçlar		Rostami		Modified Bilgin	
			FN (kN)	FR (kN)	FN (kN)	FR (kN)	FN (kN)	FR (kN)
CCS	1	Yardımsız	6.57	0.6	1.86	0.16	-	-
	3	Yardımsız	10.75	1.9	2.66	0.39	-	-
	5	Yardımsız	16.94	3.2	3.14	0.60	-	-
	1	Yardımlı	6.01	0.5	1.47	0.12	-	-
	3	Yardımlı	9.83	1.5	2.11	0.31	-	-
	5	Yardımlı	13.77	3.1	2.49	0.47	-	-
V	1	Yardımsız	4.63	1.0	-	-	0.38	0.02
	3	Yardımsız	10.21	2.3	-	-	1.69	0.24
	5	Yardımsız	15.78	4.9	-	-	3.49	0.66
	1	Yardımlı	4.59	0.6	-	-	0.32	0.02
	3	Yardımlı	8.76	1.9	-	-	1.43	0.20
	5	Yardımlı	13.83	3.4	-	-	2.97	0.56

Çizelge 5.9’ da verilen kuvvet değerlerine bakıldığında hem CCS tip hem de V tip disk keskilerde yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deneyleri için teorik ve deneysel sonuçları arasında ilişkinin önceki kayaç numunelerine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Elde edilen deneysel ve teorik kuvvet değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafikler Şekil 5.70 – 71’ de verilmiştir.



Şekil 5.70 : Traverten numunesi CCS tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.71 : Traverten numunesi V tip disk keski için deneysel ve teorik keski kuvvetlerinin karşılaştırılması.

5.4 TBM performans parametreleri için arazi verileri ile deneysel sonuçların karşılaştırılması

5.4.1 TBM arazi verileriyle PLCM laboratuvar sonuçlarının karşılaştırılması

Bu bölümde doktora tezinin arazi çalışmaları kısmını oluşturan ve Üsküdar – Ümraniye –Çekmeköy metro tünel kazıları sırasında alınan numuneler üzerinde yapılan PLCM kazı deney sonuçları ile arazi verileri karşılaştırılmıştır. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro kazısı sırasında çalışma sahası TBM’ in ilerleme hızına bağlı olarak farklı zamanlarda ziyaret edilerek küçük bloklar halinde 5 farklı kayaç numunesi alınmıştır. Şekil 5.72’ de numune alınan istasyonlar kırmızı ok ile gösterilirken Çizelge 5.10’ da numunelerin alındığı istasyonlarla ilgili açıklamalar verilmiştir.



Şekil 5.72 : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı güzergahı ve numune alınan istasyonlar.

Çizelge 5.10 : TBM ilerleme hızına bağlı olarak Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro tünel kazısı sırasında alınan numunelere ait bilgiler.

Lokasyon	Şaft No	TBM Hat No	Formasyon	Tarih
Ümraniye – Çarşı	S7 şaftı	Hat 1	Çamurtaşı	Ağustos 2013
Çarşı – Libadiye	S6 şaftı	Hat 2	Kireçtaşı	Ekim 2013
Libadiye – Kısıklı	S5 şaftı	Hat 2	Diyabaz	Nisan 2014
Libadiye – Kısıklı	S5 şaftı	Hat 1	Konglomera	Mayıs 2014
Kısıklı – Altunizade	S4 şaftı	Hat 2	Kireçtaşı (Altere)	Haziran 2014

* Hat 1 ilerde olan TBM’ i Hat 2 arkadan ilerleyen TBM’ i ifade etmektedir.

Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tünel kazısı sırasında birbirine paralel olarak kazılan iki farklı tünel için iki adet 6.57 m çapında EPB tünel açma makinesi (TBM) kullanılmıştır (Şekil 5.73). Kullanılan bu EPB TBM’ ler daha önce Kadıköy – Kartal metro tünel kazılarında da kullanılmış olup yeni tünel kazısına başlamadan önce revizyondan geçirilmiştir. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tüneli kazı işlemlerinden kullanılan TBM’ lere ait genel teknik özellikler Çizelge 5.11’ de verilmiştir (Namlı ve diğ, 2014 (a); Namlı ve diğ, 2014 (b)) .



Şekil 5.73 : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tüneli kazısında kullanılan TBM.

Çizelge 5.11 : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tüneli kazısında kullanılan EPB TBM’e ait genel teknik özellikler.

Makine Çapı	6.57 m
Toplam Ağırlık	355 ton
Toplam Uzunluk	100 m
İtme Gücü Kapasitesi	20000 kN
Maksimum Kesici Kafa Dönüş Hızı	5.5 rpm
Maksimum Kesici Kafa Torku	2912 kNm (5.5 rpm) 5200 kNm (3.1 rpm)
Kesici Kafa Gücü	4 x 315 (1260) kW
Toplam Güç	2100 kW
Keski Sayısı	26 Tek CCS Disk 6 Çift CCS Disk

EPB TBM kullanılarak yapılan kazılar sırasında 432 mm çaplı CCS tip disk keskiler kullanılmışken laboratuvar ortamında geliştirilen yeni taşınabilir doğrusal kazı deney

setinde (PLCM) yapılan kaya kesme deneylerinde bir adet mini CCS tip ve bir adet mini V tip disk keski kullanılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmalar sırasında 1, 3 ve 5 mm kesme derinliği değerlerinde kaya kesme deneyleri yapılmış olup hesaplamalar optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği değerlerinde elde edilen veriler kullanılarak yapılmış olup deneysel çalışmalarla ilgili daha geniş bilgi Bölüm 4.4' te anlatılmıştır.

Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tünel kazısı sırasında alınan tüm numuneler TBM' in istasyon kuyusundan çıkışı esnasında arından dökülen küçük bloklar halinde alınmıştır. Araziden alınan bu blok numuneler üzerinde PLCM kaya kesme deneyleri yapılmış ve optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği değerlerinde elde edilen sonuçlar kullanılarak TBM performans tahminleri yapılmıştır. Beş farklı kayaç numunesi için elde edilen optimum değerler Çizelge 5.12' de verilmiştir.

Çizelge 5.12 : Arazi numuneleri üzerinde yapılan PLCM deneyleri sonucunda optimum s/d oranı için elde edilen deney sonuçları.

Numune Adı	Keski Tipi	Keskiler arası mesafe (s) (mm)	Kesme derinliği (d) (mm)	Optimum s/d Oranı	FN (kN)	FR (kN)	SE (kWh/m ³)
Altere Kireçtaşı	CCS	20	5	4	608.25	216.94	6.74
	V	20	5	4	1613.77	605.06	12.76
Çamurtaşı	CCS	20	5	4	756.36	183.06	4.59
	V	20	5	4	542.39	138.94	4.56
Diyabaz	CCS	20	3	6.7	2563.24	749.75	22.28
	V	20	3	6.7	1719.41	440.06	12.00
Kireçtaşı	CCS	20	3	6.7	1112.73	190.70	7.94
	V	20	5	4	1507.53	413.63	9.61
Konglomera	CCS	20	5	4	1496.28	399.49	11.54
	V	20	3	6.7	807.48	158.22	7.96

Her bir kayaç numunesi için TBM itme kuvveti, tork, ve güç değerleri ile günlük ilerleme miktarları Çizelge 5.12' de verilen deney sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir kayaç numunesi için bu hesaplamalar ayrı ayrı yapılmış olup hesaplamalarda aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

TBM itme kuvvetinin hesaplanması (Balcı ve diğ., 2007);

$$FT = N_c \cdot FN \cdot f_L \quad (5.1)$$

Burada;

FT : TBM itme kuvveti, kN

N_c : TBM' deki toplam disk sayısı

FN : Bir keski için ortalama itme kuvveti, kgf / disk

f_L : Sürtünme kayıpları için katsayı, genellikle 1.2

TBM tork gereksiniminin hesaplanması (Balcı ve diğ., 2007; Bilgin ve diğ, 2006 (a); Bilgin ve diğ, 2006 (b));

$$T = \frac{N_c \cdot FR \cdot D_{TBM} \cdot f_L}{4} \quad (5.2)$$

Burada;

T : TBM kesici kafa torku, kNm

FR : Bir disk için ortalama yuvarlanma kuvveti, kgf/disk

D_{TBM} : TBM kesici kafa çapı, m

TBM güç gereksiniminin hesaplanması (Balcı ve diğ., 2007; Bilgin ve diğ, 2006 (a); Bilgin ve diğ, 2006 (b));

$$P = \frac{2\pi \cdot RPM \cdot T}{60} \quad (5.3)$$

Burada;

P : TBM kesici kafa gücü, kW

RPM : Kesici kafa dönüş hızı, rev/dak

T : TBM kesici kafa torku, kNm

Günlük ilerleme hızının hesaplanması (Rostami ve diğ., 1994);

$$ICR = k \cdot \frac{P}{SE_{opt.}} \quad (5.4)$$

Burada;

ICR : TBM net kazı miktarı, m^3 / h

k : Enerji transfer katsayısı, (0.8 – 0.9)

$SE_{opt.}$: Optimum spesifik enerji, kWh / m^3

P : Optimum şartlardaki TBM güç gereksinimi, kW

Altere Kireçtaşı numunesi için mini CCS disk keski performans tahmini;

Deneysel veriler kullanılarak yukarıda verilen eşitlikler yardımıyla altere kireçtaşı için yapılan hesaplamalar aşağıda örnek olarak verilmiştir. Diğer kayaçlar için yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçların toplu gösterimi ise Çizelge 5.13’ te verilmiştir. Yapılan tüm hesaplamalarda kesici kafa dönüş hızı (RPM) değeri Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tünel projesinde kullanılan aynı TBM için Balcı (2008) tarafından yapılan teorik hesaplamalar sonucunda yaklaşık 6 dev/dak olarak bulunduğundan bu çalışmada da rpm değeri 6 dev/dak olarak alınmıştır.

TBM itme kuvvetinin hesaplanması (Balcı ve diğ., 2007);

$$FT = N_c \cdot FN \cdot f_L = 38 \times 608.25 \times 1.2 = 27736.2 \text{ kgf} = 272 \text{ kN}$$

TBM tork gereksiniminin hesaplanması (Balcı ve diğ., 2007; Bilgin ve diğ, 2006 (a); Bilgin ve diğ, 2006 (b));

$$T = \frac{N_c \cdot FR \cdot D_{TBM} \cdot f_L}{4} = \frac{38 \times 216.94 \times 6.57 \times 1.2}{4} = 16248.37 \text{ kgm} = 159.34 \text{ kNm}$$

TBM güç gereksiniminin hesaplanması (Balcı ve diğ., 2007; Bilgin ve diğ, 2006 (a); Bilgin ve diğ, 2006 (b));

$$P = \frac{2\pi \cdot RPM \cdot T}{60} = \frac{2\pi \cdot 6.159.34}{60} = 100.12 \text{ kW}$$

Günlük ilerleme hızının hesaplanması (Rostami ve diğ., 1994);

$$ICR = k \cdot \frac{P}{SE_{opt.}} = 0.8 \cdot \frac{100.12}{6.74} = 11.89 \text{ m}^3/h$$

Çizelge 5.13 : Arazi numuneleri üzerinde yapılan PLCM deney sonuçlarına bağlı olarak tahmin edilen TBM performans parametreleri.

	Keski Tipi	FN (kN)	FR (kN)	SE (kWh/m ³)	İtme Kuvveti (kN)	Tork (kNm)	Kesici kafa gücü (kW)	ICR (m ³ /h)
Altere	CCS	608.25	216.94	6.74	272.00	159.34	100.12	11.89
Kireçtaşı (S4)	V	1613.77	605.06	12.76	721.65	444.42	279.23	17.5
Çamurtaşı (S7)	CCS	756.36	183.06	4.59	338.23	134.46	84.48	14.72
	V	542.39	138.94	4.56	242.55	102.05	64.12	11.24
Diyabaz (S5)	CCS	2563.24	749.75	22.28	1146.19	550.69	346.01	12.42
	V	1719.41	440.06	12.00	768.89	323.22	203.08	13.54
Kireçtaşı (S6)	CCS	1112.73	190.70	7.94	497.59	140.07	88.01	8.87
	V	1507.53	413.63	9.61	674.14	303.81	190.88	15.89
Konglomera (S5)	CCS	1496.28	399.49	11.54	669.11	293.42	184.36	12.78
	V	807.48	158.22	7.96	361.09	116.21	73.01	7.34

Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tünel kazıları sırasında alınan numuneler üzerinde PLCM deneyleri yapılarak TBM’ in performans parametrelerinin hesaplanması işleminden sonra deneysel sonuçların TBM arazi verileriyle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu işlem PLCM deney sonuçlarının doğruluğunun belirlenebilmesi için önemli bir aşamadır. Bu amaçla tünel kazısı esnasında TBM elde edilen arazi verileri analiz edilmiştir. Arazi verilerinin analizi sırasında altere kireçtaşı numunesi için 60, çamurtaşı için 150, diyabaz için 65, kireçtaşı için 60 ve konglomera için 40 ringlik mesafede elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda her bir kayaç numunesi için ortalama TBM performans değerleri Çizelge 5.14 – 18’ de verilmiştir.

Çizelge 5.14 : Altere kireçtaşı için TBM performans değerleri.

Tarih	Ring Sayısı	Kazı süresi	Rpm (dev/dk)	Tork (MNm)	Thrust (kN)	Penetrasyon (mm/dev)
05.06.2014	7	05:17:25	2.69	2.55	8201.71	12.43
06.06.2014	4	03:04:56	2.48	2.06	7601.75	13.00
07.06.2014	7	05:07:07	2.79	2.74	8856.71	12.57
08.06.2014	12	08:34:21	2.64	2.52	9030.58	13.42
09.06.2014	11	07:24:43	2.37	2.21	9262.36	15.73
10.06.2014	12	08:30:06	2.37	2.49	8163.67	14.83
11.06.2014	8	04:45:01	2.01	1.99	6273.38	36.63
Toplam	61 (91.5 m)	Ortalama	2.48	2.42	8198.60	16.94

Çizelge 5.15 : Çamurtaşı için TBM performans parametreleri.

Tarih	Ring Sayısı	Kazı süresi	Rpm Rpm (dev/dk)	Tork (MNm)	Thrust (kN)	Penetrasyon (mm/dev)
01.08.2013	8	04:53:43	2.66	2.63	9519.13	15.63
02.08.2013	2	01:13:21	2.70	2.02	10410.00	14.50
03.08.2013	12	06:41:10	2.69	2.21	9264.58	16.75
04.08.2013	12	07:28:48	2.67	2.97	8863.58	15.08
05.08.2013	11	06:08:44	2.69	2.53	9082.55	17.00
06.08.2013	8	06:30:26	2.71	2.77	12543.50	11.63
12.08.2013	3	06:10:19	2.63	2.75	13256.00	11.00
13.08.2013	11	08:12:12	2.63	3.01	12913.45	12.91
14.08.2013	17	11:26:07	2.62	2.90	10998.47	14.71
15.08.2013	13	08:22:14	2.65	2.95	10463.31	14.85
16.08.2013	13	08:08:50	2.61	2.84	10262.85	15.54
17.08.2013	14	08:12:49	2.64	2.92	10632.64	16.14
18.08.2013	14	07:59:57	2.73	2.81	9840.71	16.14
19.08.2013	14	08:21:55	2.51	2.76	9336.21	16.57
20.08.2013	1	00:32:40	1.70	1.89	6102	27
21.08.2013	1	00:21:36	0.70	0.27	11109	104
Toplam	154 (231 m)	Ortalama	2.47	2.77	10287.37	21.22

Çizelge 5.16 : Diyabaz için TBM performans parametreleri.

Tarih	Ring Sayısı	Kazı süresi	Rpm Rpm (dev/dk)	Tork (MNm)	Thrust (kN)	Penetrasyon (mm/dev)
07.03.2014	2	01:23:48	2.50	2.92	8674.50	14.00
08.03.2014	10	07:20:27	2.48	2.58	9175.10	14.00
09.03.2014	13	09:10:03	2.42	2.76	9211.46	14.62
10.03.2014	11	07:59:47	2.45	2.89	11503.36	14.27
11.03.2014	7	06:03:21	2.40	2.83	11609.71	12.14
12.03.2014	4	04:08:45	2.40	2.84	11730.75	10.25
13.03.2014	9	07:47:35	2.37	2.46	10061.22	12.44
14.03.2014	12	09:44:59	2.53	2.59	10600.92	12.83
Toplam	65 (102 m)	Ortalama	2.44	2.70	10320.88	13.07

Çizelge 5.17 : Kireçtaşı için TBM performans parametreleri.

Tarih	Ring Sayısı	Kazı süresi	Rpm Rpm (dev/dk)	Tork (MNm)	Thrust (kN)	Penetrasyon (mm/dev)
10.10.2013	2	02:08:47	2.70	1.22	16767.50	9.00
11.10.2013	4	05:16:12	2.65	2.37	17269.25	7.25
12.10.2013	5	05:40:59	2.58	2.58	17259.40	8.80
13.10.2013	1	01:36:26	4.40	1.28	17595	4.00
18.10.2013	2	03:07:02	3.35	1.63	21067.00	5.00
19.10.2013	5	06:04:20	4.08	1.56	17484.40	5.40
20.10.2013	7	07:05:05	3.50	2.25	16959.71	7.14
21.10.2013	9	09:05:34	2.88	2.72	17041.33	9.00
22.10.2013	7	06:43:03	2.87	2.86	16387.86	9.14
23.10.2013	11	09:45:01	2.83	2.93	15931.82	10.09
24.10.2013	7	05:36:46	2.76	2.42	12456.57	12.14
Toplam	60 (90 m)	Ortalama	3.14	2.44	16929.08	7.91

Çizelge 5.18 : Konglomera için TBM performans parametreleri.

Tarih	Ring Sayısı	Kazı süresi	Rpm Rpm (dev/dk)	Tork (MNm)	Thrust (kN)	Penetrasyon (mm/dev)
17.05.2014	3	02:49:35	2.57	3.13	12468.67	10.33
20.05.2014	6	04:49:28	2.47	2.85	11324.00	12.67
22.05.2014	7	08:27:22	2.31	2.75	12215.00	9.57
23.05.2014	6	06:04:23	2.23	2.97	11107.00	11.83
24.05.2014	4	03:23:20	2.50	3.19	11501.75	11.75
25.05.2014	2	02:27:46	2.40	2.49	12496.00	7.00
26.05.2014	10	07:48:28	2.27	2.75	9599.20	14.30
27.05.2014	4	04:27:20	2.53	2.69	12359.75	10.25
Toplam	42 (63 m)	Ortalama	2.41	2.85	11633.92	10.96

Ortalama TBM arazi ve PLCM deney sonuçlarına bağlı olarak hesaplanan TBM performans değerleri belirlendikten sonra elde edilen sonuçların toplu gösterimi ve karşılaştırmalar Çizelge 5.19’ da verilmiştir.

Çizelge 5.19 : TBM arazi verileri ile PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması.

		FN (kN)	FR (kN)	SE (kWh/m ³)	İtme Kuvveti (kN)	Tork (kNm)	Kesici kafa gücü (kW)	ICR (m ³ /h)
Altere Kireçtaşı (S4)	CCS (Lab.)	5.96	2.13	6.74	272.00	159.34	100.12	11.89
	V (Lab.)	15.83	5.93	12.76	721.65	444.42	279.23	17.5
	TBM (Arazi)	221.31	35.9	9	8409.65	2420	639.15	72.74
Çamurtaşı (S7)	CCS (Lab.)	7.42	1.80	4.59	338.23	134.46	84.48	14.72
	V (Lab.)	5.32	1.36	4.56	242.55	102.05	64.12	11.24
	TBM (Arazi)	271.14	41.11	9.55	10287.37	2770	768.27	82.03
Diyabaz (S5)	CCS (Lab.)	25.14	7.35	22.28	1146.19	550.69	346.01	12.42
	V (Lab.)	16.86	4.32	12.00	768.89	323.22	203.08	13.54
	TBM (Arazi)	271.42	40.07	10.74	10320.88	2700	690.81	66.37
Kireçtaşı (S6)	CCS (Lab.)	10.91	1.87	7.94	497.59	140.07	88.01	8.87
	V (Lab.)	14.78	4.06	9.61	674.14	303.81	190.88	15.89
	TBM (Arazi)	432.15	36.26	15.03	16929.08	2440	749.2	51.44
Konglomera (S5)	CCS (Lab.)	14.67	3.92	11.54	669.11	293.42	184.36	12.78
	V (Lab.)	7.92	1.55	7.96	361.09	116.21	73.01	7.34
	TBM (Arazi)	296.95	42.21	13.69	11633.92	2850	710	56.03

TBM üzerinde kullanılan disk keskinin CCS tip disk keskinin olmasından dolayı karşılaştırmalar yapılırken özellikle mini CCS tip disk keskininle yapılan PLCM deney sonuçları ile TBM arazi verileri değerlendirilmiştir. Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda tüm numuneler için elde edilen veriler göz önüne alındığında en kuvvetli ilişkinin net kazı miktarı (ICR) değerlerinde elde edildiği görülmüştür. Şöyle ki; tüm kayalar için bakıldığında TBM arazi net ilerleme miktarının PLCM deneyleri

sonucunda hesaplanan net kazı miktarının yaklaşık 5 katı olduğu görülmektedir. Bunun dışında diğer TBM performans değerlerine bakıldığında ise tüm kayaçlar için ortak bir katsayıdan bahsetmenin mümkün olmadığı görülmektedir.

TBM net kazı miktarı dışındaki diğer TBM performans parametreleri için her bir kayaç için bulunan ilişkiler ise şu şekildedir; altere kireçtaşı için TBM arazi itme kuvveti değerinin laboratuvar değerinin yaklaşık 30, TBM arazi tork değerinin laboratuvar değerinin yaklaşık 15 ve TBM arazi kesici kafa güç gereksiniminin laboratuvar değerinin yaklaşık 6 katı olduğu görülmektedir. Bu oranların çamurtaşı numunesi için sırasıyla 30, 20, 9; diyabaz için 9, 5, 2; kireçtaşı için 34, 17, 8 ve konglomera için 17, 10 ve 4 olduğu görülmektedir.

Elde edilen bu sonuçlara bağlı olarak özellikle net kazı miktarı belirlenirken PLCLM kaya kesme deney sonuçlarının arazi verileriyle ilişkili olduğu ancak diğer TBM performans tasarım parametreleri için her bir kayaç türü için farklı ilişkilerin olduğu görülmüştür. Bunun en önemli sebebi kayaçların yapısal özelliklerinin farklı olmasıdır.

5.4.2 LCM ve PLCLM laboratuvar sonuçlarının TBM performans parametreleri için karşılaştırılması

PLCLM deney sonuçlarının güvenilirliğinin araştırılması amacıyla bu bölümde Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tünel inşaatında kullanılan TBM için LCM ve PLCLM deney sonuçları kullanılarak TBM performans parametreleri tahmin edilmiş ve tahmin edilen bu değerler arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar yapılırken amaçlanan PLCLM deney sonuçları kullanılarak elde edilen değerlerin yaygın olarak kullanılan ve kabul görmüş bir deneysel yöntem olan LCM kaya kesme deney sonuçlarına yakınlığının araştırılmasıdır.

Yapılan bu doktora tez çalışması kapsamında üzerinde hem LCM hem de PLCLM kaya kesme deneyleri yapılan 5 farklı kayaç (bej mermer, kumtaşı, kireçtaşı, küfeki kireçtaşı ve traverten) için deney sonuçları kullanılarak TBM performans parametre değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda Bölüm 5.4.1’ de verilen eşitlikler kullanılmış olup bu beş farklı kayaç numunesi için optimum deney şartlarında elde edilen değerler

Çizelge 5.20’ de ve bu değerler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen teorik performans parametreleri ise Çizelge 5.21’ de verilmiştir.

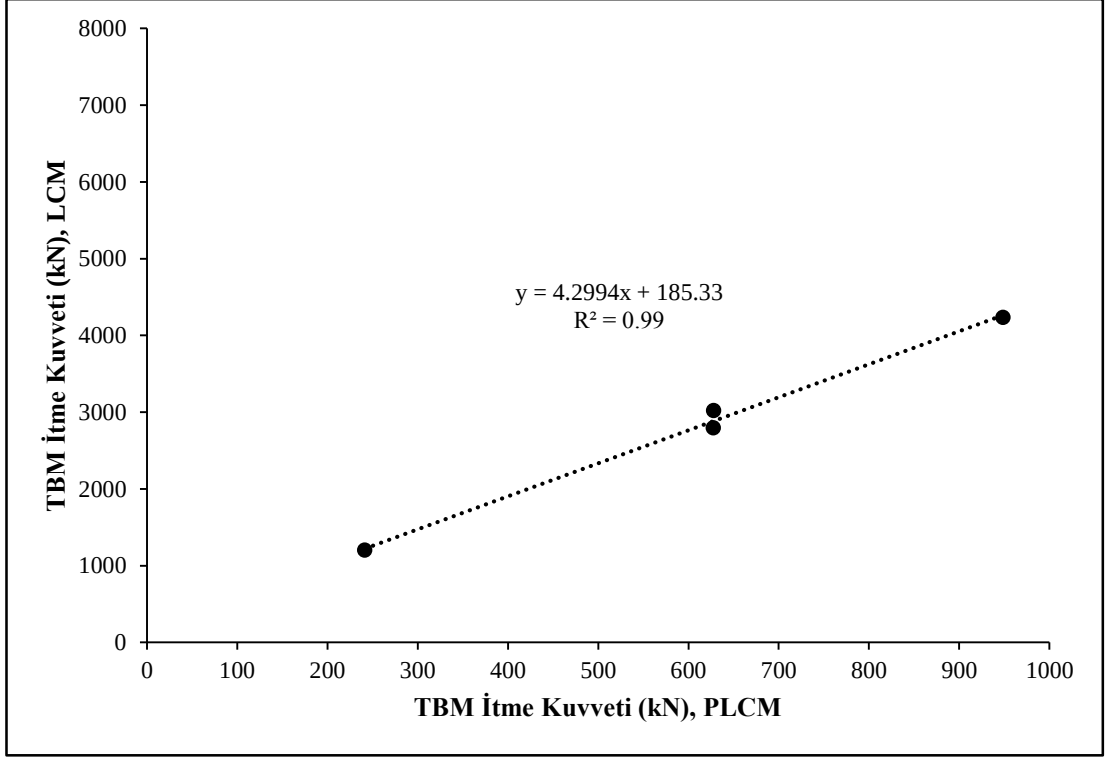
Çizelge 5.20 : LCM ve PLCM deneyleri sonucunda optimum s/d oranı için elde edilen deney sonuçları.

Numune	Deney Tipi	Keskiler arası mesafe (s) (mm)	Kesme derinliği (d) (mm)	Optimum s/d	FN (kN)	FR (kN)	SE (kWh/m ³)
Bej Mermer	PLCM (CCS)	60	5	12	1213.98	206.96	12.07
	PLCM (V)	20	3	6.7	886.77	118.43	17.03
	LCM	20	1	20	15037.77	493.24	5.92
Kireçtaşı	PLCM (CCS)	60	5	12	1403.52	333.15	8.94
	PLCM (V)	20	5	4	1534.87	493.68	9.81
	LCM	20	5	4	6249.06	570.65	3.37
Kumtaşı	PLCM (CCS)	60	5	12	2120.89	518.81	21.07
	PLCM (V)	20	5	4	1263.76	317.19	20.72
	LCM	20	5	4	9474.55	844.94	5.4
Küfeki Kireçtaşı	PLCM (CCS)	80	7	11.4	539.55	87.95	4.13
	PLCM (V)	20	3	6.7	529.48	116.53	4.66
	LCM	20	3	6.7	2685.85	262.53	1.18
Traverten	PLCM (CCS)	80	9	8.9	1403.80	312.55	6.41
	PLCM (V)	20	5	4	893.27	191.07	8.09
	LCM	20	3	6.7	6756.27	863.67	1.81

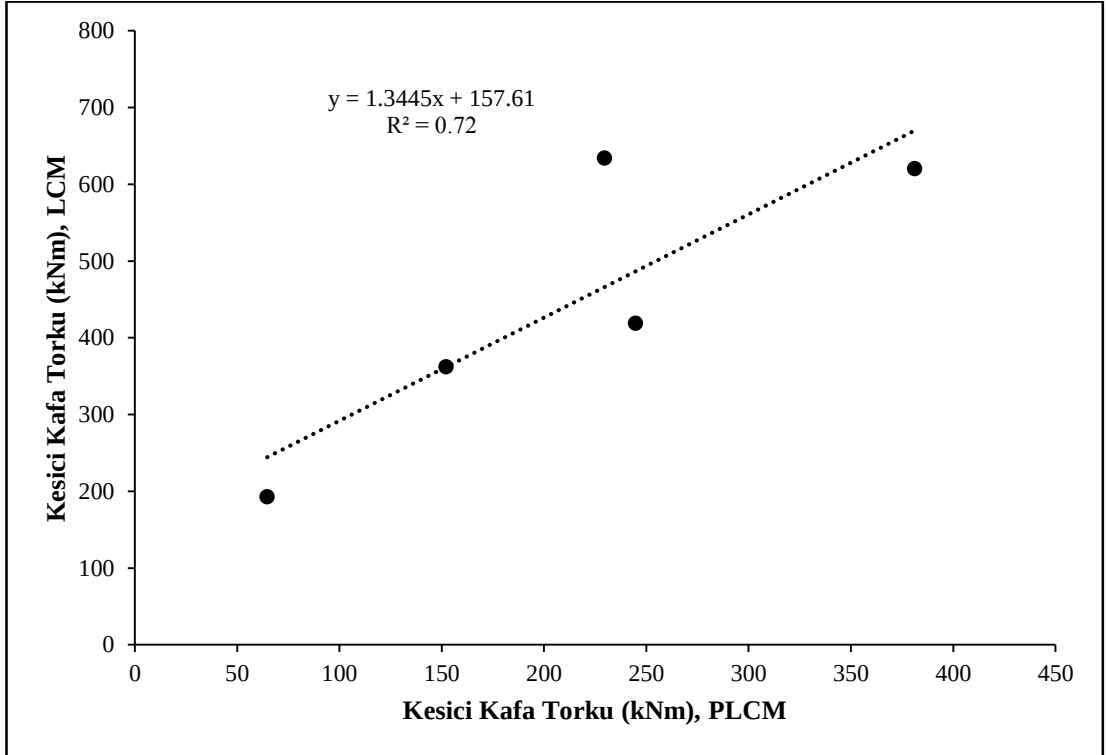
Çizelge 5.21 : LCM ve PLCM deney sonuçlarına göre TBM performans parametrelerinin karşılaştırılması.

	Deney Tipi	FN (kN)	FR (kN)	SE (kWh/m ³)	İtme Kuvveti (kN)	Tork (kNm)	Kesici kafa gücü (kW)	ICR (m ³ /h)
Bej Mermer	PLCM (CCS)	1213.98	206.96	12.07	542.87	152.01	95.51	6.33
	PLCM (V)	886.77	118.43	17.03	396.55	86.99	54.66	2.57
	LCM	15037.77	493.24	5.92	6724.64	362.28	227.63	30.76
Kireçtaşı	PLCM (CCS)	1403.52	333.15	8.94	627.63	244.70	153.74	13.76
	PLCM (V)	1534.87	493.68	9.81	686.37	362.70	227.83	18.58
	LCM	6249.06	570.65	3.37	2794.48	419.14	263.36	62.51
Kumtaşı	PLCM (CCS)	2120.89	518.81	21.07	948.42	381.06	239.43	9.09
	PLCM (V)	1263.76	317.19	20.72	565.13	232.98	146.38	5.65
	LCM	9474.55	844.94	5.4	4236.86	620.61	389.94	57.77
Küfeki Kireçtaşı	PLCM (CCS)	539.55	87.95	4.13	241.28	64.59	40.59	7.86
	PLCM (V)	529.48	116.53	4.66	236.77	85.59	53.78	9.23
	LCM	2685.85	262.53	1.18	1201.07	192.83	121.16	82.14
Traverten	PLCM (CCS)	1403.80	312.55	6.41	627.76	229.57	144.24	18
	PLCM (V)	893.27	191.07	8.09	399.45	140.34	88.18	8.71
	LCM	6756.27	863.67	1.81	3021.29	634.36	398.58	176.17

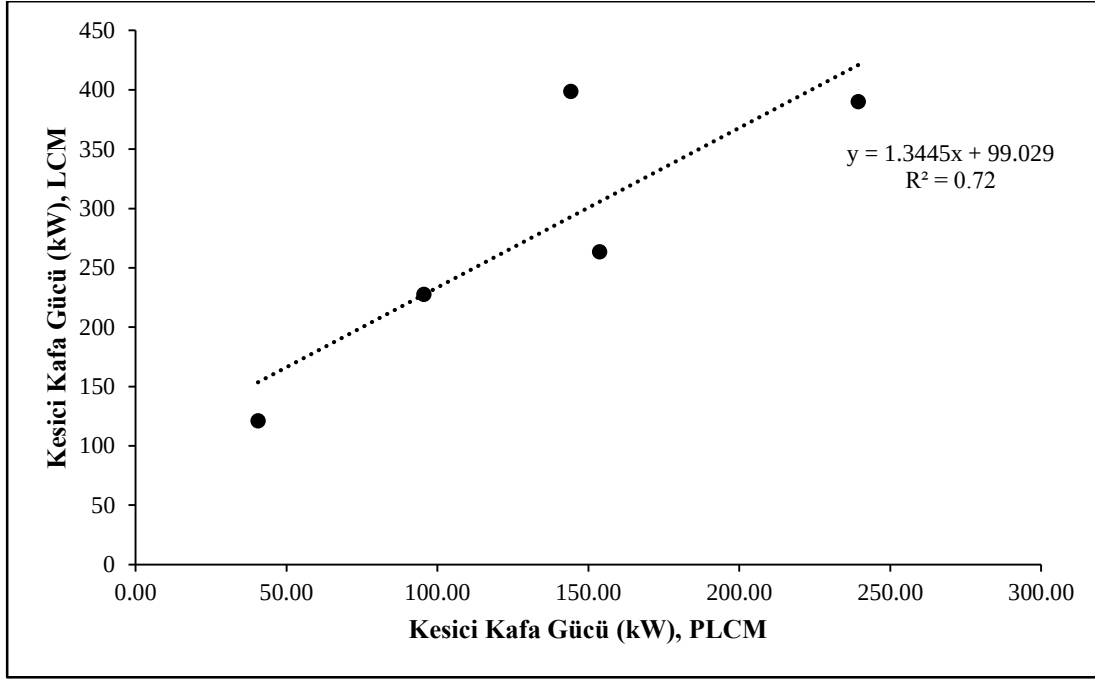
Yapılan hesaplamalar sonunda elde edilen ve Çizelge 5.19’ da verilmiş olan TBM performans parametrelerinden; TBM itme kuvveti, tork, kesici kafa gücü ve net ilerleme miktarları LCM ve CCS tip mini disk keski kullanılarak yapılan PLCM deney sonuçları için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve bu parametreler arasındaki ilişkileri gösterir grafikler Şekil 5.74 – 77’ de verilmiştir.



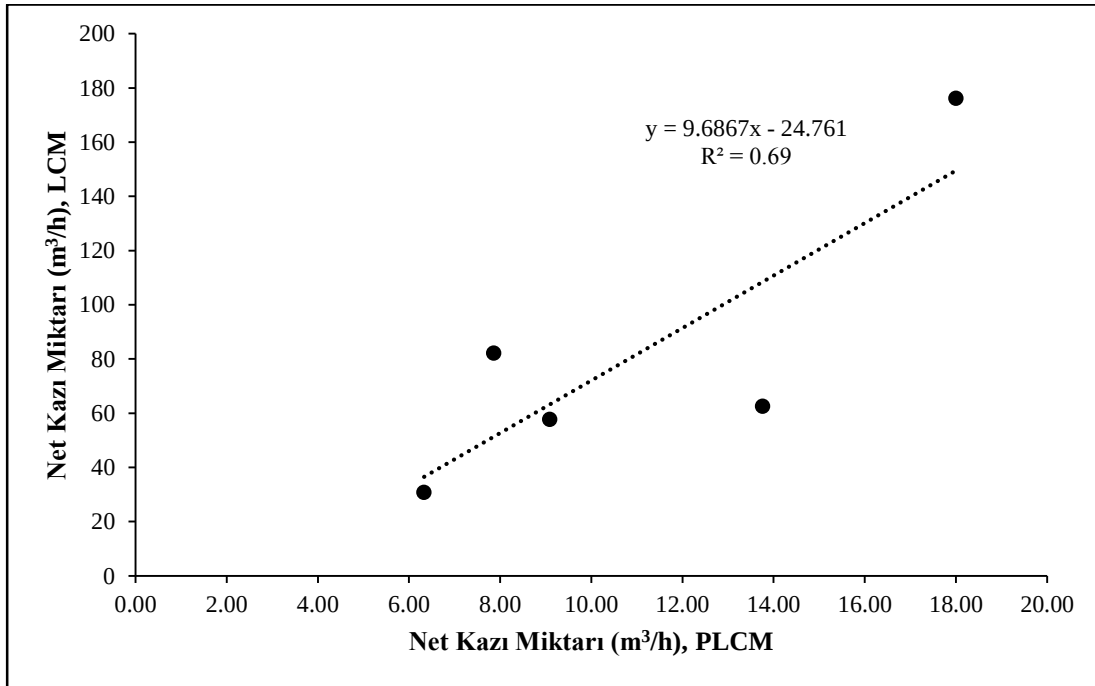
Şekil 5.74 : LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak elde edilen TBM itme kuvveti değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 5.75 : LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak elde edilen TBM kesici kafa tork değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 5.76 : LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak elde edilen TBM kesici kafa güç gereksinimi değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 5.77 : LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak elde edilen TBM net kazı miktarı değerleri arasındaki ilişki.

LCM ve PLCM deney sonuçları kullanılarak elde edilen TBM performans tahmin parametreleri arasındaki ilişkilere bakıldığında; Şekil 5.74’ de verilen TBM itme kuvveti değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. TBM itme kuvvet değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir grafiğe bakıldığında bu grafiğin 4 farklı numune

için elde edildiği görülmektedir. Bej mermer numunesinin bu değerlendirmeye dâhil edilmesiyle 1' e yakın elde edilen R^2 değeri 0.17' ye kadar düşmektedir. Bu durum bej mermer numunesinin yapısal özelliklerinin ve özellikle de kırılabilirlik özelliğinin diğer numunelerden çok fazla olması durumundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

TBM kesici kafa güç ve tork gereksinimi ile net kazı miktarlarını gösterir grafikler incelendiğinde ise 5 farklı kayaç numunesi için PLCM ve LCM deney sonuçları arasında güçlü bir ilişki olduğu ve korelasyon katsayısı (R^2) değerlerinin sırasıyla 0.72, 0.72 ve 0.69 olarak elde edildiği görülmektedir.

Yapılan bu karşılaştırmalar ve değerlendirmeler sonucunda LCM ve PLCM deney sonuçlarına göre elde edilen TBM performans parametreleri arasında güçlü bir ilişki olduğu ve PLCM deney setinin TBM performans parametrelerinin tahmini için güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

5.4.3 Tahmin edilen LCM değerleri ile TBM arazi verilerinin karşılaştırılması

5.4.3.1 PLCM deney sonuçlarına bağlı olarak elde edilen LCM değerleri ile TBM arazi verilerinin karşılaştırılması

Bu bölümde PLCM kaya kesme deneylerine bağlı olarak hesaplanan LCM kaya kesme deney sonuçları kullanılarak TBM performans parametreleri (itme kuvveti, tork, makine gücü ve net ilerleme miktarı) tahmin edilmiştir. Tahmin edilen bu parametreler TBM arazi verileriyle karşılaştırılmış ve aradaki ilişki değerlendirilmiştir. Bu işlem yapılırken bir kayaç numunesi üzerinde LCM kaya kesme deneyleri yapılmadan, PLCM deney sonuçlarından elde edilen teorik LCM deney sonuçlarının TBM arazi verileriyle arasındaki ilişkinin karşılaştırılıp ve böylece PLCM deney sonuçlarının geçerliliğinin araştırılması düşünülmüştür.

PLCM deney sonuçlarından LCM kaya kesme deney sonuçları tahmin edilirken Bölüm 5.1.6' da elde edilen eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitlikler aşağıda verilmiştir.

CCS tip disk keski için;

$$LCM_{SE} = (0.5969 \times PLCM_{SE}) - 1.628 \quad (R^2 = 0.96) \quad (5.5)$$

$$LCM_{FN} = (6.1163 \times PLCM_{FN}) + 1197.4 \quad (R^2 = 0.22) \quad (5.6)$$

$$LCM_{FR} = (2.3295 \times PLCM_{FR}) + 44.384 \quad (R^2 = 0.66) \quad (5.7)$$

V tip disk keski için;

$$LCM_{SE} = (0.273 \times PLCM_{SE}) + 0.1331 \quad (R^2 = 0.88) \quad (5.8)$$

$$LCM_{FN} = (7.409 \times PLCM_{FN}) + 1237 \quad (R^2 = 0.21) \quad (5.9)$$

$$LCM_{FR} = (0.273 \times PLCM_{FR}) + 0.1331 \quad (R^2 = 0.41) \quad (5.10)$$

Yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak LCM kaya kesme deneyleri için normal ve yuvarlanma kuvvet değerleri ile spesifik enerji değeri tahmin edilmiştir. Bu değerlerin tahmin edilmesinden sonra Bölüm 5.4.1’ de verilen Eşitlik 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4 kullanılarak TBM performans parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen LCM kuvvet ve spesifik enerji değerleri ile hesaplanan TBM itme kuvveti, tork, güç ve net ilerleme hızı değerleri Çizelge 5.22’ de verilmiştir. Çizelge 5.22’ de ayrıca TBM arazi verileri de bulunmaktadır.

Keski üzerine etki eden kuvvet değerleri ve spesifik enerji değerleri bakımından Çizelge 5.22’ de elde edilen değerlere bakıldığında 5 farklı kayaç numunesi için TBM arazi verilerinin tahmin edilen LCM değerlerinin normal kuvvet değeri için ortalama 3.8, yuvarlanma kuvveti değeri için ortalama 6, spesifik enerji değeri için ortalama 4.1 katı olduğu görülmektedir.

TBM tasarım parametreleri bakımından bakıldığında ise; 5 farklı kayaç numunesi için TBM arazi verileri tahmin edilen LCM değerlerine göre hesaplanan itme kuvveti değerinin ortalama 3.2, tork değerinin ortalama 5.9, kesici kafa gücünün ortalama 2.4 ve net ilerleme hızının ortalama 0.85 katı olduğu görülmektedir.

V tip disk keski için ise bu oranların normal kuvvet değeri için ortalama 3.4, yuvarlanma kuvveti değeri için ortalama 5.4 ve spesifik enerji değeri için ortalama 4.8 kat; TBM tasarım parametreleri için ise itme kuvveti değerinin ortalama 2.8, tork değerinin ortalama 4.8, kesici kafa gücünün ortalama 2 ve net ilerleme hızının ortalama 0.55 kat olduğu görülmektedir.

5 farklı kayaç numunesi için elde edilen bu oransal değerler PLCM deneylerinden LCM verilerinin elde edilmesini ve elde edilen bu değerlerden TBM performans parametrelerinin tahmininde kullanılmasına imkân sağlayacaktır.

Çizelge 5.22 : PLCM deneylerinden tahmin edilen LCM deney verilerine göre elde edilen TBM performans parametreleri ile TBM arazi verilerinin karşılaştırılması.

		FN (kN)	FR (kN)	SE (kWh/m³)	İtme Kuvveti (kN)	Tork (kNm)	Kesici kafa gücü, kW	ICR (m³/h)
Altere Kireçtaşı (S4)	CCS PLCM	5.96	2.13	6.74	272.00	159.34	100.12	11.89
	V PLCM	15.83	5.93	12.76	721.65	444.42	279.23	17.5
	CCS LCM Tahmin	48.23	5.39	2.40	2199.09	403.78	253.7	84.56
	V LCM Tahmin	129.38	13.39	3.62	5899.87	1003.19	630.32	139.29
	TBM (Arazi)	221.31	35.9	9	8409.65	2420	639.25	72.74
Çamurtaşı (S7)	CCS PLCM	7.42	1.80	4.59	338.23	134.46	84.48	14.72
	V PLCM	5.32	1.36	4.56	242.55	102.05	64.12	11.24
	CCS LCM Tahmin	57.11	4.62	1.12	2604.18	345.82	217.28	155.20
	V LCM Tahmin	51.54	4.81	1.38	2350.20	360.63	226.59	131.35
	TBM (Arazi)	271.14	41.11	9.55	10303.48	2770	768.27	82.03
Diyabaz (S5)	CCS PLCM	25.14	7.35	22.28	1146.19	550.69	346.01	12.42
	V PLCM	16.86	4.32	12.00	768.89	323.22	203.08	13.54
	CCS LCM Tahmin	165.49	17.56	11.67	7546.17	1315.44	826.51	56.65
	V LCM Tahmin	137.06	10.36	3.41	6249.88	775.73	487.4	114.34
	TBM (Arazi)	271.42	40.07	10.74	10313.81	2700	690.81	66.37
Kireçtaşı (S6)	CCS PLCM	10.91	1.87	7.94	497.59	140.07	88.01	8.87
	V PLCM	14.78	4.06	9.61	674.14	303.81	190.88	15.89
	CCS LCM Tahmin	78.48	4.79	3.11	3578.87	258.89	225.49	58.01
	V LCM Tahmin	121.66	9.87	2.76	5547.89	739.29	464.51	134.64
	TBM (Arazi)	432.15	36.26	15.03	16421.85	2440	749.2	51.44
Konglomera (S5)	CCS PLCM	14.67	3.92	11.54	669.11	293.42	184.36	12.78
	V PLCM	7.92	1.55	7.96	361.09	116.21	73.01	7.34
	CCS LCM Tahmin	101.49	9.56	5.26	4627.94	716.13	449.96	68.43
	V LCM Tahmin	70.80	5.17	2.31	3228.49	387.21	243.29	84.25
	TBM (Arazi)	296.95	42.21	13.69	11283.98	2850	710	56.03

5.4.3.2 Çoklu regresyon analizi yöntemi ile LCM sonuçlarının tahmin edilmesi ve TBM arazi verileri ile karşılaştırılması

Bu bölümde LCM kaya kesme deney sonuçlarının tahmininde PLCM kaya kesme deneylerinden elde edilen değerlerle birlikte kayaçların yapısal özelliklerinin etkisinin de ilişkiye dâhil edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda kayaçların tek eksenli basınç (UCS) ve dolaylı (Brazilian) çekme dayanımı (BTS) değerleri de değerlendirmeye dahil edilerek; LCM normal ve yuvarlanma kuvvetleri ile spesifik enerji değerlerinin belirlenmesi için modeller geliştirilmiştir (Eşitlik 5.11 – 5.16). Elde edilen bu modeller kullanılarak hesaplanan LCM değerlerine bağlı olarak daha sonra TBM itme kuvveti, tork, kesici kafa gücü ve net kazı miktarı değerleri hesaplanarak arazi verileriyle karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.23).

CCS tip disk keski için;

$$LCM_{SE} = (0.021 \times UCS) + (0.11 \times BTS) + (0.039 \times PLCM_{SE}) + 0.77 \quad (R^2 = 0.96) \quad (5.11)$$

$$LCM_{FN} = (119.87 \times UCS) - (1845.49 \times BTS) + (8.99 \times PLCM_{FN}) - 1342.5 \quad (R^2 = 0.92) \quad (5.12)$$

$$LCM_{FR} = (4.81 \times UCS) - (151.97 \times BTS) + (3.99 \times PLCM_{FR}) + 39.26 \quad (R^2 = 0.94) \quad (5.13)$$

V tip disk keski için;

$$LCM_{SE} = (0.018 \times UCS) + (0.1 \times BTS) + (0.07 \times PLCM_{SE}) + 0.6 \quad (R^2 = 0.91) \quad (5.14)$$

$$LCM_{FN} = (72.19 \times UCS) - (238.14 \times BTS) - (0.012 \times PLCM_{FN}) + 4044.6 \quad (R^2 = 0.81) \quad (5.15)$$

$$LCM_{FR} = (-5.78 \times UCS) + (116.59 \times BTS) - (0.9 \times PLCM_{FR}) + 515.42 \quad (R^2 = 0.66) \quad (5.16)$$

Elde edilen bu modellerin geçerliğinin belirlenmesi amacıyla F ve t testlerinin yapılması gerekmektedir. F testine göre modelin geçerli olabilmesi için hesaplanan t değerinin tablodan bulunan t değerinden büyük olması gerekmektedir. Aynı şekilde F testine göre de, modelin geçerli sayılabilmesi için hesaplanan F değerinin tablodan bulunan değerden büyük olması gerekmektedir.

Uygulanan F ve t testi sonuçlarına göre CCS tip disk keski için elde edilen tüm modeller F testine göre geçerlidir. Bununla birlikte CCS tip disk keskilere normal ve

yuvarlanma kuvvet değerleri için elde edilen modeller t testi bakımından geçerli iken, spesifik enerji değeri için elde edilen modelin tüm değişkenler için geçerli olmadığı görülmektedir.

V tip disk keskiler için elde edilen modellere bakıldığında ise modellerin hem F testi hem de t testi bakımından geçerliğinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. V tip disk keski spesifik enerji değeri için elde edilen model F testi ve t testi bakımından geçerli iken kuvvet değerleri için aynı şeyi söylemek mümkün değildir.

Elde edilen modellerin F ve t testlerinden istenilen düzeyde geçerli olamaması en başta seçilen kayaç numunelerinin yapısal özelliklerinin çok farklı olmasından kaynaklanmıştır. Bunun sonucunda bu modeller kullanılarak elde edilen LCM verilerine bağlı olarak hesaplanan TBM itme kuvveti, tork, kesici kafa gücü ve net kazı miktarı değerleri arazi verilerine oranla çok farklı değerlerde elde edilmiştir (izelge 5.23). Buna rağmen ileride daha çok kayaç üzerinde PLCM ve kaya mekaniği deneyleri yapılarak bu modeller geliştirilip TBM performans tahmininde kullanılabilir.

Çizelge 5.23 : Çoklu regresyon analizinden tahmin edilen LCM deney verilerine göre elde edilen TBM performans parametreleri ile TBM arazi verilerinin karşılaştırılması.

		FN (kN)	FR (kN)	SE (kWh/m ³)	İtme Kuvveti (kN)	Tork (kNm)	Kesici kafa gücü,kW	ICR (m ³ /h)
Altere Kireçtaşı (s4)	CCS PLCM V	5.78	2.13	6.74	272.00	159.34	100.12	11.89
	PLCM	15.34	5.93	12.76	721.65	444.42	279.23	17.5
	CCS LCM Tahmin	10.41	5.89	1.52	489.79	440.81	276.97	145.77
	V LCM Tahmin	40.43	1.78	1.92	1901.64	133.17	83.67	34.86
	TBM (Arazi)	221.31	35.90	9	8409.65	2420	639.25	72.74
Çamurtaşı (s7)	CCS PLCM V	7.42	1.80	4.59	338.23	134.46	84.48	14.72
	PLCM	5.32	1.36	4.56	242.55	102.05	64.12	11.24
	CCS LCM Tahmin	17.77	3.39	1.85	810.29	254.15	159.68	69.05
	V LCM Tahmin	48.56	6.52	1.71	2214.33	488.01	306.61	143.45
	TBM (Arazi)	271.14	41.11	9.55	10303.48	2770	768.27	82.03
Diyabaz (s5)	CCS PLCM V	25.14	7.35	22.28	1146.19	550.69	346.01	12.42
	PLCM	16.86	4.32	12.00	768.89	323.22	203.08	13.54
	CCS LCM Tahmin	145.76	22.03	3.28	6646.48	1649.71	1036.55	252.81
	V LCM Tahmin	55.18	6.18	2.88	2516.3	462.64	290.68	80.74
	TBM (Arazi)	271.42	40.07	10.74	10313.81	2700	690.81	66.37
Kireçtaşı (s6)	CCS PLCM V	10.91	1.87	7.94	497.59	140.07	88.01	8.87
	PLCM	14.78	4.06	9.61	674.14	303.81	190.88	15.89
	CCS LCM Tahmin	44.30	2.43	2.50	2020.29	181.74	114.19	36.54
	V LCM Tahmin	57.49	4.71	2.52	2621.74	352.44	221.45	70.3
	TBM (Arazi)	432.15	36.26	15.03	16421.85	2440	749.2	51.44
Konglomera (s5)	CCS PLCM V	14.67	3.92	11.54	669.11	293.42	184.36	12.78
	PLCM	7.92	1.55	7.96	361.09	116.21	73.01	7.34
	CCS LCM Tahmin	27.68	4.20	2.83	1262.22	314.33	197.5	55.83
	V LCM Tahmin	40.26	12.11	2.59	1835.76	906.64	569.66	175.96
	TBM (Arazi)	296.95	42.21	13.69	11283.98	2850	710	56.03

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, kayaç kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan deneysel yöntemler olan tam boyutlu ve küçük boyutlu kaya kesme deney setlerinde gözlemlenen dezavantajlar göz önüne alınarak kullanımı daha pratik ve daha hızlı sonuçlar alınabilecek yeni bir kazı deney seti geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni taşınabilir kazı deney setinin tasarımı aşamasında, deney setinin çalışma mekanizması tam boyutlu kazı deney setine benzer şekilde tasarımılandırılmış ve üretimi yapılmıştır.

Geliştirilen bu yeni taşınabilir kazı deney seti tam boyutlu ve küçük boyutlu kazı deney setlerinin tüm fonksiyonlarına sahip olmakla birlikte bu deney setlerinin dezavantajlarını minimize etmektedir. Şöyle ki; küçük boyutlu kazı deney setinde kazı deneyleri yapılırken indeks bir keski kullanılmakta ve bu keski kullanılarak elde edilen veriler TBM performans değerlendirmelerinde kullanılamamaktadır. Bunun yanında kesme derinliği ve keskiler arası mesafe değerlerinin ayarlanması gibi farklı kesme deney şartlarının oluşturulması bu deney setinde çok zahmetli ve zaman alıcı olmaktadır. Geliştirilen bu yeni taşınabilir kazı deney setinde ise gerçek keski özelliklerine (uç açısı, kesme açısı, temizleme açısı vb.) sahip konik veya disk keskiler kullanılabilmekte ve keskiler arası mesafe ve kesme derinliği değerleri rahatlıkla ayarlanarak farklı deney şartlarında kaya kesme deneyleri yapılabilmektedir.

Tam boyutlu kazı deney setinde karşılaşılan dezavantajlardan bazıları ise; bu deney setinde deneysel çalışmalar için çok büyük blok numunelere ihtiyaç vardır. Büyük blok numunesinin araziden temini ve laboratuvar ortamına taşınarak deney setine yerleştirilmesi ise oldukça zahmetli ve çok fazla insan gücüne gerek duyan bir çalışmadır. Bununla birlikte tam boyutlu kazı deney setinde büyük blok numune temin edilip deney setine yerleştirilebilse dahi bu süreç çok zaman almakta ve bu deney setinde kaya kesme deneylerinin yapılması zahmetli bir iştir. Geliştirilen yeni taşınabilir kazı deney seti ise araziden rahatlıkla temin edilebilecek küçük blok veya karot numuneler üzerinde kaya kesme deneylerinin yapılmasını mümkün kılmaktadır.

Bunun yanında tam boyutlu kazı deney setinde gerçek keskinler (konik, disk) kullanılması bu deney seti için çok büyük bir avantaj sağlamaktadır. Tam boyutlu kazı deney setinin bu avantajı göz önünde bulundurularak taşınabilir doğrusal kazı deney setinde (PLCM) gerçek keskinlerle aynı özelliklerde mini keskinler (disk, konik) kullanılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda gerçek özelliklere sahip mini disk keskinler (V ve CCS tip) bu şekilde kullanılmamıştır. Feridunoğlu (2009) ve Tumaç (2010) tarafından mini disk keski kullanılmış olsa da bu keski HRC 56 takım çeliğinden üretilmiş tek bir V tip disk keskidir.

Taşınabilir doğrusal kazı deney setinden (PLCM) elde edilen verilerin güvenilirliğinin araştırılması ise bu doktora tezinin asıl amacını oluşturmaktadır. Bu amaçla 10 farklı kayaç numunesi üzerinde kaya mekaniği ve kaya kesme deneyleri yapılarak deney sonuçları değerlendirilmiştir.

Öncelikle daha önce temin edilen ve İTÜ Maden Mühendisliği Kazı Teknolojileri Laboratuvarında bulunan 5 farklı kayaç numunesi (bej mermer, kireçtaşı, kumtaşı, küfe kireçtaşı ve traverten) üzerinde hem tam boyutlu hem de geliştirilen yeni kazı deney setinde kaya kesme deneyleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tam boyutlu kazı deney setinde (LCM) yapılan deneyler için 1 x 0.8 x 0.6 m boyutlarında blok numuneler üzerinde 432 mm çaplı çapında CCS tip disk keski kullanılarak yardımcı ve yardımcı kaya kesme deneyleri yapılmıştır. Yardımsız kaya kesme deneylerinde her bir kayaç numunesi için en az 3 farklı kesme derinliği değeri belirlenerek deneyler yapılmış; aynı kesme derinliği değerlerinde yardımcı kesme deneyleri yapılırken keskinler arası mesafe değeri kayaç özelliğine göre değiştirilerek 60 veya 80 mm olarak ayarlanmıştır. 5 farklı kayaç numunesi üzerinde taşınabilir doğrusal kaya kesme deney setinde (PLCM) yapılan deneylerde ise 20 x 14 x 10 cm boyutlarında küçük blok numuneler kullanılmıştır. PLCM kaya kesme deneylerinde her bir kayaç numunesi üzerinde her biri 144 mm disk çapına sahip biri CCS ve biri V tip olmak üzere 2 farklı mini disk keski kullanılmıştır. Yapılan PLCM kaya kesme deneylerinde her bir kayaç numunesi için 1, 3 ve 5 mm kesme derinliği değerlerinde yardımcı deneyler yapılırken; yardımcı kaya kesme deneylerinde aynı kesme derinliği değerleri (1, 3, 5 mm) için keskinler arası mesafe değeri 20 mm olarak ayarlanarak deneyler yapılmıştır.

Her bir kayaç numunesi için PLCM deneylerinde elde edilen sonuçlar öncelikle kazı mekaniği temel kuralları bakımından incelenmiş ve birbiriyle tutarlı sonuçlar ortaya çıktığı görülmüştür. PLCM deney sonuçları daha sonra her bir kayaç numunesi için LCM deneylerinden elde edilen deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde LCM deneylerinde keski üzerine etki eden kuvvet değerlerinin PLCM deney setinden elde edilen kuvvet değerlerinden, buna karşın PLCM deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerlerinin ise LCM spesifik enerji değerlerinden fazla olduğu görülmüştür. Bu durum kazılan malzeme (pasa) oranının farklılık göstermesinden kaynaklanmıştır. Pasa oranının farklı olmasına sebep ise özellikle her iki deney setinde kullanılan disk keskinin tasarım parametrelerinin farklı olması gösterilebilir. Bu farklılıklardan dolayı Bilgin (1977) ve Roxborough ve Phillips (1975) tarafından yapılan ve literatürde verilen araştırma sonuçlarının aksine disk çapının ve kesme hızının değişmesi spesifik enerji ve kuvvet değerlerinin değişmesine sebep olmuştur.

LCM ve hem mini CCS hem de V tip disk keskin için PLCM kaya kesme deneylerinde keski üzerine etki eden ortalama normal ve yuvarlanma kuvvetleri arasında tüm kayaçlar için genel bir katsayı elde edilememiş ancak prototip olarak tasarlanan ilk taşınabilir doğrusal kazı deney seti sonuçlarına kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Buna karşın mini CCS tip disk keski PLCM ve LCM yardımcı kaya kesme deney sonuçları ele alındığında genel olarak optimum keskin arası mesafe (s) / kesme derinliği (d) değerleri arasında 1/3 oranında bir ilişki elde edilmiştir. Şöyle ki; LCM kaya kesme deneylerinde optimum s/d oranı 12 olarak elde edilmişken CCS tip mini disk keski PLCM deney sonuçlarında bu değer 4 olmuştur. Bu oran 5 farklı kayaç için genel olarak doğru sayılabilir. Bu durum mini CCS tip disk keski uç açısının ve disk keski çapının da yaklaşık 1/3 oranında küçültülmüş olmasından kaynaklandığı düşünülebilir ve daha sonra farklı disk keski tasarım parametrelerine sahip daha çok mini disk keski ile çalışmalar yapılarak daha net bir ilişki elde edilebilir. Bu çalışma kapsamında CCS tip disk keskin için LCM ve PLCM deney setlerinden elde edilen optimum s/d değeri için aşağıdaki eşitlik yazılabilir;

$$Opt.s/d_{LCM} = 3xOpt.s/d_{PLCM}$$

PLCM kaya kesme deney setinden elde edilen verilerin güvenilirliğinin araştırılması kapsamında yapılan bir sonraki araştırma, üzerinde LCM ve PLCM kaya kesme deneyleri yapılan numunelerin tek eksenli ve dolaylı çekme dayanımı değerleri ile elde edilen keski kuvveti ve spesifik enerji değerleri arasında ilişki olup olmadığının kontrol edilmesi olmuştur. Yardımsız kaya kesme deneyleri için yapılan değerlendirmede her bir kayaç numunesi için hem LCM hem de PLCM kaya kesme deneylerinde ortak kesme derinliği olan 5 mm kesme derinliğindeki değerler ele alınmıştır.

Tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak 5 mm kesme derinliğinde yardımsız olarak yapılan kaya kesme deney sonuçlarının değişiminde korelasyon katsayıları beklenilenden daha düşük bir ilişki çıkmıştır. Beklenilenden daha düşük ilişkilerin elde edilmiş olması seçilen kayaç türlerinin birbirinden çok farklı yapısal özelliklerde olmasından kaynaklanmaktadır. Şöyle ki; çok aşırı kırıklı çatlaklı yapıda olan kumtaşı ve çok fazla kırılabilirliğe sahip bej mermer numuneleri korelasyon katsayısını düşürmektedir. 5 farklı kayaç numunesine ait tek eksenli basınç dayanımı değeri ile LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerleri karşılaştırıldığında aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir;

Yardımsız (5 mm kesme derinliğinde) kaya kesme deneyleri için;

$$SE_{LCM} = 0.0237xUCS + 2.5589 \quad R^2 = 0.94$$

$$SE_{PLCM-CCS} = 0.0658xUCS + 5.7323 \quad R^2 = 0.44$$

$$SE_{PLCM-V} = 0.0911xUCS + 5.8063 \quad R^2 = 0.76$$

Yardımlı (optimum s/d koşulunda) kaya kesme deneyleri için;

$$SE_{LCM} = 0.0297xUCS + 1.2281 \quad R^2 = 0.97$$

$$SE_{PLCM-CCS} = 0.0735xUCS + 4.995 \quad R^2 = 0.54$$

$$SE_{PLCM-V} = 0.0885xUCS + 5.401 \quad R^2 = 0.77$$

Kayaçların dolaylı çekme dayanımı değerleri ile keski üzerine etki eden kuvvet değerleri (normal ve yuvarlanma kuvvetleri) ve spesifik enerji değişimleri karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda yardımcı ve yardımcı olmayan kaya kesme deney sonuçları için kayaçların dolaylı çekme dayanımı değerleri ile spesifik enerji değerleri arasında anlamlı bir ilişki elde edilmişken keski kuvvetleri için aynı şey söylenememektedir. Bu durum da yine kayaçların farklı yapısal özelliklerde olmasından kaynaklanmaktadır.

5 farklı kayaç numunesine ait dolaylı çekme dayanımı değeri ile LCM ve PLCM kaya kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değerleri karşılaştırıldığında aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir;

Yardımsız (5 mm kesme derinliğinde) kaya kesme deneyleri için;

$$SE_{LCM} = 0.3137x BTS + 2.0432 \quad R^2 = 0.99$$

$$SE_{PLCM-CCS} = 1.4131x BTS + 2.0241 \quad R^2 = 0.83$$

$$SE_{PLCM-V} = 1.3673x BTS + 3.1 \quad R^2 = 0.86$$

Yardımlı (optimum s/d koşulunda) kaya kesme deneyleri için;

$$SE_{LCM} = 0.4265x BTS + 0.7534 \quad R^2 = 0.82$$

$$SE_{PLCM-CCS} = 1.4534x BTS + 1.2789 \quad R^2 = 0.88$$

$$SE_{PLCM-V} = 1.4306x BTS + 2.9635 \quad R^2 = 0.85$$

Kayaçların kırılma özelliklerinin etkisinin görmek amacıyla kayaçların tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımı değerlerinin çarpımı ile spesifik enerji ve kuvvet değerleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında spesifik enerji ile tek eksenli basınç dayanımı x dolaylı çekme dayanımı arasında Çopur ve diğ., (2001) tarafından elde edilen sonuçlara benzer şekilde yüksek korelasyon katsayısına sahip bir ilişki elde edilmiş iken kuvvet değerleri için elde edilen ilişki daha düşüktür.

Geliştirilen yeni taşınabilir doğrusal kazı deney setinden elde edilen sonuçların güvenilirliğinin araştırılması amacıyla yapılan bir sonraki çalışma PLCM deney sonuçlarının CCS ve V tip disk keskiler için geliştirilen teorik yaklaşımlardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması olmuştur.

CCS tip disk keskiler için teorik hesaplamalar Rostami ve Özdemir (1993) tarafından geliştirilen, V tip disk keskiler için Bilgin (1977) tarafından geliştirilen ve daha sonra Tumaç ve Balcı (2014) tarafından modifiye edilen model kullanılmıştır.

Her bir kayaç numunesi için ayrı ayrı karşılaştırma yapılmış olup PLCM deney sonuçları ile teorik modellerden elde edilen değerler arasındaki ilişki kayaç türlerine göre değişmektedir. Bej mermer numunesi için bakıldığında; CCS tip disk keskiler için deney sonuçları ve teorik sonuçlar kesme derinliği arttıkça birbirine daha yakın değerlerde elde edilirken V tip disk keskiler için bu durum tam tersi şekilde olmuştur. Kireçtaşı numunesi için ise CCS tip disk keskiler için deneysel ve teorik değerlerin birbirine yakın değerlerde olduğu V tip disk keskilerde ise en yakın değerlerin 3 mm kesme derinliğinde elde edildiği görülmüştür. Kumtaşı numunesi için de yine CCS tip disk keski için yakın sonuçlar elde edildiği ve V tip disk keskiler için ise aradaki ilişkinin kesme derinliği arttıkça azaldığı görülmüştür. Diğer kayaç numunelerine göre daha düşük tek eksenli basınç dayanımına sahip iki kayaç olan küfeki kireçtaşı ve traverten numunelerinde ise hem CCS hem de V tip disk keskiler için teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki ilişkilerin düşük olduğu görülmüştür. Yine de tüm kayaçlar için teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki ilişki kendi içinde tutarlı sonuçlar vermiştir.

Bir sonraki aşamada ise Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro tünel inşaatından alınan 5 farklı kayaç numunesi üzerinde PLCM kaya kesme deneyleri yapılmış ve bu deneylerden elde edilen sonuçlara göre TBM performans tahminleri yapılarak TBM arazi verileri ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda tüm numuneler için elde edilen veriler göz önüne alındığında PLCM deney sonuçları ile arazi verileri arasında en kuvvetli ilişki net kazı miktarı (ICR) değerlerinde elde edilmiştir. Şöyle ki; tüm kayaçlar için bakıldığında TBM arazi net ilerleme miktarının PLCM deneyleri sonucunda hesaplanan net kazı miktarının yaklaşık 5 katı olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar daha önce

prototip olarak geliştirilen PLCM deney seti kullanılarak Tumaç (2010) tarafından elde edilen sonuçlara oranla daha yakın değerler vermiştir.

Diğer TBM performans parametrelerine bakıldığında bütün kayaç numuneleri için ortak bir ilişki olmadığı görülmüştür. Bu numunelere ayrı ayrı bakıldığında altere kireçtaşı için TBM arazi itme kuvveti değerinin laboratuvar değerinin yaklaşık 30, TBM arazi tork değerinin laboratuvar değerinin yaklaşık 15 ve TBM arazi kesici kafa güç gereksiniminin laboratuvar değerinin yaklaşık 6 katı olduğu görülmektedir. Bu oranların çamurtaşı numunesi için sırasıyla 30, 20, 9; diyabaz için 9, 5, 2; kireçtaşı için 34, 17, 8 ve konglomera için 17, 10 ve 4 olduğu görülmektedir.

Üzerinde PLCM ve LCM deneyleri yapılan bej mermer, kireçtaşı, küfeki kireçtaşı, kumtaşı ve traverten numuneleri içinde teorik TBM performans parametreleri hesaplanmıştır. Bu yapılırken TBM performans tahmininde yaygın ve güvenli bir şekilde kullanılan LCM sonuçları ile PLCM sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda TBM performans parametreleri için LCM ve PLCM deney sonuçları arasında aşağıdaki ilişkiler elde edilmiştir;

TBM itme kuvveti;

(Yüksek kırılgenliğe sahip bej mermer numunesi verileri eşitliğe dâhil edilmemiştir.)

$$LCM_{itme\ Kuvveti} = 4.2994xPLCM_{itme\ Kuvveti} + 185.33 \quad R^2 = 0.99$$

TBM kesici kafa torku;

$$LCM_{Tork} = 1.3445xPLCM_{Tork} + 157.61 \quad R^2 = 0.72$$

TBM kesici kafa gücü;

$$LCM_{Güç} = 1.3445xPLCM_{Güç} + 99.029 \quad R^2 = 0.72$$

TBM net kazı miktarı;

$$LCM_{ICR} = 9.6867xPLCM_{ICR} - 24.761 \quad R^2 = 0.69$$

Bir diğer aşamada üzerinde LCM deneyleri yapılmayıp sadece PLCM ve fiziksel mekanik özellikleri bilinen kayaç numuneleri için LCM deney sonuçları tahmin edilmiştir. Bu amaçla ilk olarak PLCM – LCM deney sonuçlarının karşılaştırılmasıyla elde edilen modeller kullanılarak LCM deney sonuçları bulunmuş ve bulunan bu değerler kullanılarak TBM performans parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler TBM arazi verileriyle karşılaştırılmıştır. Bir sonraki aşamada ise çoklu regresyon analizi yapılarak hem PLCM hem de kayaçların tek eksenli basınç ve dolaylı çekme dayanımı deneylerine bağlı olarak LCM deney sonuçları tahmin edilmiştir. Aynı şekilde tahmin edilen LCM değerleri kullanılarak TBM performans parametreleri hesaplanmış ve hesaplanan bu değerler TBM arazi verileriyle karşılaştırılmıştır.

Yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda özellikle CCS tip disk kesiciler için tahmin edilen TBM net kazı miktarının arazi verilerine çok yakın sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. TBM tork, trust ve kesici kafa gücü değerleri için ise her bir kayaç numunesi için belirli bir düzeltme katsayısı kullanılarak bulunan değerler kullanılabilecektir. Bu durum LCM deneyleri yapılmadan PLCM deney sonuçlarının özellikle TBM net kazı miktarının belirlenmesinde yüksek güvenilirlikte kullanılabileceği sonucunu vermiştir.

Yapılan tüm bu çalışmalar geliştirilen yeni taşınabilir doğrusal kazı deney setinden elde edilen verilerin doğruluğunun belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Sonuç olarak PLCM deney sonuçlarının gerek deneysel gerekse teorik yaklaşımlar göz önünde bulundurulduğunda özellikle LCM deney sonuçları ile arasında güçlü bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Bu ilişki her ne kadar güçlü olsa da özellikle kayaç özelliklerinin (kırılgenlik, kırıklı çatlaklı yapı gibi) farklılık göstermesi bu ilişkiyi olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durum kayaçların fiziksel mekanik özelliklerinin etkisinin küçük blok numunelerde daha fazla olmasıyla açıklanabilir. Bu bakımdan PLCM deney sonuçları kullanılırken kayaçların fiziksel – mekanik özelliklerinin de iyi araştırılması gerekmektedir. Kayaçların yapısal özellikleri tanımlandıktan sonra PLCM deney yönteminin LCM deney yöntemi yerine güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. LCM ve PLCM deney setleri arasında bir geçiş modelinin oluşturulabilmesi için ise birbirine yakın yapısal özelliklere sahip kayaçlar üzerinde deneylerin yapılması gerekmektedir.

TBM performans parametrelerinin PLCM deney sonuçları kullanılarak tahmin edilmesi işleminde ise PLCM – Arazi verileri ve PLCM – LCM deney sonuçları arasındaki ilişkilerin bir bütün olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu ilişkilerin daha kuvvetli hale gelmesi için ise daha fazla TBM verisi ile PLCM deney sonuçlarının karşılaştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Altındağ, R., Güney, A.** (1994). Dünya’da ve Türkiye’de uzun ayak kömür madenciliğinde mekanizasyonun rolü, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi 15.Yıl Sempozyumu*, (s.391-397). Adana, Türkiye.
- ASTM,** (2005). Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock. *American Society for Testing and Materials, D 2845*.
- ASTM,** (2005). Standard test method for determination of the point load strength index of rock, *American Society for Testing and Materials, D5731*.
- Balcı, C.** (2004). *Mekanize kazı makinelerinin seçiminde küçük boyutlu kazı ile büyük boyutlu kazı deneylerinin karşılaştırılması*, (doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Balcı, C.** (2008). Correlation of rock cutting tests with field performance of a TBM in a highly fractured rock formation: A case study in Kozyatagi-Kadikoy metro tunnel, Turkey, *Tunn. Undergr. Sp. Technol.* 24, 423-435.
- Balcı, C., Bilgin, N.** (2007). Correlative study of linear small and full – scale rock cutting tests to select mechanized excavation machines, *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.*, Vol. 44, No. 3, pp. 468-476.
- Balcı, C., Bilgin, N., Çopur, H., ve Tumaç, D.** (2009). Tam cepheli tünel açma makineleri (TBM) performans tahmini ve optimizasyonu, *TÜBİTAK Araştırma Projesi Nihai Raporu*, Proje No: 106M298.
- Balcı, C., Bilgin, N., Çopur, H., Tumaç, D., Akgün, M.** (2007). Tünel açma makinelerinin (TBM) tam boyutlu kesme deneyi ile performans tahmini, *1. Maden Makinaları Sempozyumu*, (pp. 61-70). Ankara, Türkiye: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.
- Balcı, C., Tumaç, D.** (2012). Investigation into the effects of different rocks on rock cuttability by a V-type disc cutter, *Tunnelling and Underground Space Technology* 30, 183-193.
- Bamford, W. E.** (1987). Notes of the Workshop held at Montreal on Rock Boreability, Cuttability and Drillability, *International Society for Rock Mechanics*.
- Bamford, W. E.** (1984). Rock test indices are being succesfully correlated with tunnel boring machines performance, *Fifth Australian Tunnelling Conference*, (pp. 218-221), Sydney, Australian.

- Bilgin, N.** (1977). *Investigation into mechanical cutting characteristics of some medium and high strength rocks.* (PhD thesis), University of Newcastle Upon Tyne, UK.
- Bilgin, N.** (1989). *İnşaat ve Maden mühendisleri için uygulamalı kazı mekaniği*, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Bilgin N., Copur H., Balci C.** (2014). *Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries.* Taylor and Francis Group.
- Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., Feridunoglu, C., Tumac, D.** (2006 (a)). Full Scale Rock Cutting Tests for TBM Performance Prediction for Kadikoy-Kartal Metro tunnels. Istanbul : *ITU Faculty of Mines, Technical Report Prepared for Anadoluray Joint Venture.*
- Bilgin, N., Feridunoglu, C., Tumac, D., Cinar, M., Özyol, L.** (2006 (b)). TBM cutting performance in Istanbul, *Tunnels and Tunnelling, Volume 38, Issue 2*, February 2006, Pages 17-19.
- Bilgin, N., Çopur, H., Balcı, C., Tumac, D., Akgül, M., Yüksel, A., ve Kahrıman, A.** (2007). Kadıköy–Kartal metro tünellerinde kullanılacak tünel açma makinelerinin (TBM) bazı tasarım parametrelerinin kesme deneyleri ile belirlenmesi ve performans tahmini, *Ulaşımında Yeraltı Kazıları 2. Sempozyumu*, (pp. 63-71). Türkiye : TMMOB Maden Mühendisleri Odası.
- Bilgin, N., Copur, H., Balcı, C., Tumac, D., Akgül, M., and Yüksel, A.** (2008). The selection of a TBM using full scale laboratory tests and comparison of measured and predicted performance values in Istanbul Kozyatagi - Kadikoy metro tunnels, *Proceedings of World Tunnel Congress*, (pp. 1509-1517). India.
- Bilgin, N., Çopur, H., Balcı, C., Feridunoğlu, C., Tumaç, D.** (2006). Kaya kazı makinelerinin optimum seçiminde kullanılmak üzere taşınabilir bir test cihazının geliştirilmesi, *TUBİTAK Araştırma Projesi Nihai Rapor*, Proje No: MİSAG-274 (104M013).
- Bilgin, N., Seyrek, T., Shahriar, K.** (1988). İstanbul Eyüp tüneline galeri açma makinası ile elde edilen sonuçlar ve bunların maden mühendisliği açısından önemi, *Madencilik Dergisi, Cilt 27, Sayı 2*, pp. 9-15.
- Bilgin, N., Shahriar, K.** (1986). Kayaçların ve kömür damarlarının bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan dolaylı yöntemlerin değerlendirilmesi, *Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Ankara, Türkiye : Ekim 13 – 15.
- Bilgin, N., Seyrek, T., Erdinç, E.** (1990). Kuzey ve güney haliç projeleri örneği ve tünel açma makinalarının seçimi için bazı yeni kriterler, 2. *Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Ankara, Türkiye : Kasım 5 – 7.
- Bilgin, N., Shahriar, K.** (1987). Madenlerde mekanize kazı için bir ölçme sisteminin geliştirilmesi ve T.T.K. Amasra kömür bölgesine uygulandığı, *TÜBİTAK Projesi Nihai Rapor*, MAG, Proje No: 674, 99s.
- Bölükbaşı, N., Çam, H.** (1981). G.L.İ. Tunçbilek linyit madeninde kullanılan galeri açma makinası kazı performansı ile kayaç özelliklerinin

karşılaştırılması, (s.101-117). *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi*, Ankara, Türkiye : Şubat 18 – 20.

- Cassinelli, F.** (1982). Power consumption and metal wearing tunnel boring machines: Analysis of tunnel boring operation in hard rock, (pp. 73-81). *Tunnelling' 82*, London, United Kingdom.
- Ceylan, K.** (1987). *Studies on the cuttability of rocks at O.A.L. Çayırhan district by laboratory cutting tests.* (master thesis). Middle East Technical University, Ankara.
- Ceylanoğlu, A.** (1991). *Performance monitoring of electrical power shovels for diggability assessmnet in surface coal mines.* (Ph.D thesis), Middle East Technical University, Ankara.
- CNS Electronics Ltd.** Pundit portable ultrasonic non-destructive digital indicating tester, *Operating Manual*, London.
- Çomaklı, R., Kahraman, S., Balci, C., Tumac, D.** (2011). Niğde ve Kayseri Yöresindeki Demir Cevherlerinin Kazısında Kollu Galeri Açma Makinelerinin Performans Tahmini, *Türkiye 3. Maden Makinaları Sempozyumu*. İzmir, Türkiye.
- Çomaklı, R.** (2010). *Niğde ve Kayseri yöresindeki metalik cevherlerin makine ile kazılabilirliğinin araştırılması.* (yüksek lisans tezi). Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Çopur, H., Balci, C., Bilgin, N., and Tumac, D.** (2008). Laboratory cutting tests for performance prediction of chain saw machines, *21st World Mining Congress & Expo*, (pp. 97-107). Kraków –Katowice – Sosnowiec, Poland.
- Copur, H., Balci, C., Tumac, D., Bilgin, N., Avunduk, E.** (2010). Field and laboratory studies on performance of chain saw machines, *Proc. European Rock Mechanics Symposium (EUROCK 2010)*, Lousanne, Switzerland, 15-18 June.
- Çopur, H., Rostami, J., Özdemir, L., Bilgin, N.** (1997). Studies on performance prediction of roadheaders based on field data in mining and tunnelling projects, *4th Int. Sym. on Mine Mechanization and Automation*, Brisbane, Queensland.
- Çopur, H., Tunçdemir, H., Bilgin, N., Dinçer, T.** (2001). Specific energy as a criterion for the use of rapid excavation systems in Turkish mines, *The Institution of Mining and Metallurgy, Transactions Section-A Mining Technology*, Sept.-Dec., Vol. 110, pp. A149-157.
- Dursun, A. E.** (2012). *Konya şehir merkezinin kuzey batısında yer alan kireçtaşlarının kesilebilirliği.* (doktora tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Eskikaya, Ş.** (1981). Ereğli Kömür İşletmesi Kozlu ve Armutçuk Bölgelerinde hazırlık galerilerinin galeri açma makinaları ile açılması ve en uygun makina tiplerinin tespiti, *TÜBİTAK Projesi*, Proje No: 542.
- Eskikaya, Ş., Bilgin, N., ve diğ.** (2000). Development of rapid excavation technologies for the Turkish mining and tunnelling industries, *NATO*

TU - Excavation Sff Programme Project Report: 172, Istanbul Technical University.

- Farmer, I. W., and Glossop, N. H.** (1980). Mechanics of disc cutter penetration, *Tunnels and Tunneling*, Vol. 12, Jan., pp. 22-25.
- Feridunoğlu, O.,C.** (2009). *Kayaç kazılabilirliğinin tayini için taşınabilir kayaç kesme deney aletinin geliştirilmesi.* (doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fowell, R.J., McFeat – Smith, I.** (1976). Factors inflencing the cutting performance of a selective tunnelling machine, *International Tunnelling' 76 Symp.*, (pp. 301-318). London, United Kingdom : 1 -5 May.
- Friant, J.E., Özdemir, L. (Çeviren: Ş. Eskikaya),** (1994). Tünel açma teknolojisi bugün ve yarın, *İTÜ Maden Fakültesi Tünel ve Galeri Açma Meslek İçi Semineri*.
- Göktan, R.M., Güneş, N.** (2005). Acomparative study of Schmidt hammer testing procedures with reference to rock cutting machine performance prediction. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 42, 466–472.
- Graham, P. C.** (1976). Rock exploration for machine manufacturers, *Proceedings Symposium on Exploration for Rock Engineering*, (pp. 173-180). Johannesburg, South Africa.
- Hekimoğlu, O. Z., Ayhan, M., Tiryaki, B.** (1998). An appraisal of mechanically rock and coal excavating machines employed in Turkey.
- Hughes, H.M.** (1986). The relative cuttability of coal-measures stone, *Mining Science and Technology*, 3/2, pp. 95-109.
- ISRM.** (2006). R. Ulusay, J.A. Hudson (Eds.), The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006, *ISRM Turkish National Group*, Ankara, Turkey (2007).
- Johnson, S.T., Fowell, R.J.** (1986). Compressive strength is not enough, assessing pick wear rates for drag tool equipped machines, University of Newcastle Upon Tyne.
- Karpuz, C., Hindistan, M. A.** (2006). *Kaya mekaniği ilkeleri ve uygulamaları*, Türkiye Maden Muhendisleri Odası Yayını, Ankara.
- Kahraman, S.** (2002). Estimating the P-wave velocity value of intact rock from indirect laboratory measurements, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39, pp. 101-104.
- King, M. S.** (1983). Static and dynamic elastic properties of rocks from the Canadian shield, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomech. Abstr.* Vol. 20, No. 5, pp. 237-241.
- Maidle, B., Schmidz, L., Ritz, W., and Herrenknecht, M.** (2008). *Hard rock tunnel boring machines*, Ernst & Sohn Verlag fur Architektur und Technische Berlin : Wissenschaften GmbH & Co. KG, ISBN 978-3-433- 01676-3.
- McFeat-Smith I., Fowell, R.J.** (1977). Correlation of rock properties and the cutting performance of tunnelling machines, In: *Proceedings of the conference*

on rock engineering, (p.581–602). England : University of Newcastle upon Tyne,

- McFeat-Smith, I., Fowell, R.J.** (1979). The selection and application of roadheaders for rock tunnelling, *In: Proceedings of the rapid excavation and tunnelling conference*, (p. 261–80). Atlanta, USA : Society of mining engineering of AIME.
- McFeat – Smith, I., Torkoy, P.** (1979). Assessment of Tunnel Boring Machine Performance, *Tunnels and Tunnelling*, December.
- Megaw, T., M., Bartlett, J., V.** (1981). Tunnels, planning, design, construction, *Volume 1*, Ellis Horwood Ltd, Chichester.
- Morrell, J., W., Bruce, W.,E., and Larson, D.,A.** (1970). Tunnel boring technology: disc cutter experiments in sedimentary and metamorphic rocks, U.S. Dept. of the Interior.
- Muirhead, I. R., Glassop, L. G.** (1968). Hard Rock Tunnelling Machines, *Trans. Inst. Min. And Met.*, London, Vol: A77.
- Namlı, M., Şavk, S., Bostancı, E., Çopur, H., Balcı, C., Bilgin, N.** (2014). Field analysis of disc cutter consumption in Uskudar-Umraniye-Cekmekoy-Sancaktepe Metro Tunnel in Istanbul, *Proceedings of the World Tunnel Congress 2014*. Brasil.
- Namli, M., Cakmak, O., Pakiş, I. H., Tuysuz, L., Talu, D., Dumlu, M., Şavk, S., Bilgin, N., Çopur, H., Balcı, C.** (2104). The performance prediction of a TBM in a complex geology in Istanbul and the comparisons with actual values, *Proceedings of the World Tunnel Congress*, Türkiye.
- Nizamoğlu, S.** (1978). *Contribution a L ’tude du Fonctionnement des Tunneliers “Plein Section” et Analyse de L’Usure de Leurs Outils de Coupe*, (These Pour Obtenir Le Grade De Docteur). Ing. Ecole des Mines de Nancy, p.139.
- Ouchterlony, F.** (1974). Fracture mechanics applied to rock blasting, *In: Proceedings of the 3th Congress of The International Society of Rock Mechanics*, Vol. 2B ISRM, (pp. 1377–83). Denver, USA.
- Özdemir, L.** (1975). *A laboratuary and field investigation of tunnel boreability*, (M.Sc. Thesis), T1755, Colorado School of Mines, Golden CO, USA.
- Özdemir, L., (Çeviren: Ş. Eskikaya).** (1994). Sert kayaç madenciliği mekanik kazı teknolojisinde son gelişmeler, İTÜ Maden Fakültesi Tünel ve Galeri Açma Meslek içi Semineri.
- Özdemir, L., (Çeviren: Ş. Eskikaya).** (1994). Mobil Kazıcılar, İTÜ Maden Fakültesi Tünel ve Galeri Açma Meslek İçi Semineri.
- Özdemir, L., Miller, R. S., and Wang F.D.** (1978). Mechanical tunnel boring prediction and machine design, *Report to National Science Foundation*, Colorado School of Mines, Golden, pp. 313.
- Pakes, G.** (1991). Selection of Methods, *World Tunneling*, 4, No: 9.
- Phillips, H. R., Bilgin, N., and Price, D. L.** (1978). The influence of type tip geometry on the design of disc cutter arrays, *Proc. 3rd Austin Tunnelling Conferance*, Sydney, (pp. 48 – 52). Australia.

- Rabia , H., Brook, W.** (1980). An empirical equation for drill performance prediction, *Proceedings of the 21st US Symposium on Rock Mechanics*, (pp. 103-111). USA : Univ. Missouri - Rolla.
- Robbins, J., R.** (1976). Mechanized Tunnelling Progress and Expectation, *Tunnelling Symposium*. London.
- Rostami, J.** (2008). Hard rock TBM cutterhead modeling for design and performance prediction, *Geomechanik und Tunnelbau*, Vol. 1, pp. 18- 28.
- Rostami, J., Ozdemir, L.** (1993). A new model for performance prediction of hard rock TBMs, *In: Proceedings of Rapid Excavation and Tunnelling Conference*, (pp. 794–809). USA.
- Rostami, J., Özdemir, L.** (1997). Selection design optimization and performance prediction of tunnel boring machines for mining operations, (pp. 97-189). *Preprints of SME 126th Annual Meeting & Exhibit*, Colorado, USA.
- Rostami, J., Özdemir, L., Neil, D.M.** (1994). Performance prediction a key issue in mechanical hard rock mining, *Mining Engineer*, November, 1263–1267.
- Roxborough, F. F.** (1988). Multiple pass sub-interactive rock cutting with picks and discs, *in Proc. Conf. On Applied Rock Eng., (CARE' 88)*, (pp. 181-191). London, United Kingdom : Ins. Min. Metall.
- Roxborough, F. F.** (2004). Elements of machine mining, *Minerals coulcin of Australia*.
- Roxborough, F. F., Rispin, A.** (1973). The mechanical cutting characteristics of the lower chalck, *Tunnels & Tunnelling*, 5, pp.45-67.
- Roxborough, F. F., Phillips, H. R.** (1975). Rock excavation by disc cutter, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 12, pp. 361 366.
- Sanio, H. P.** (1985). Prediction of the performance of disc cutters in anisotropic rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts* 22 (3), pp. 153–161.
- Shepherd, R., Withers, A.G.** (1960). Mechanised Cutting and Loading of Coal, Othams Press Ltd., London.
- Sheorey, P. R.** (1984). Schmidt hammer rebund data for estimation of large scale in situ coal strength, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech abstr.* Vol.21, No.1, pp.39-42.
- Stack, B.** (1995). *Encyclopaedia of tunnelling mining and drilling equipment*, Vol 1-2, Mining Hobart Mudén Publishing Company, Hobart, Australia, pp. 1911.
- Stimpson, B., Acott, C.P.** (1983). Application of the N.C.B. Cone Indenter to Strenght Index Testing of Sedimentary Rocks from Western Canada, *Can. Geotech. J.* Vol. 20.
- Synnder, C.** (1994). *A report about mine excavation*, USA : Magma Copper Ltd.
- Tilley, S.** (1989). Chevron Resources Ltd. in Stillwater Mining Ltd.

- Tumaç, D.** (2010). *Değişik kayaç ve disk keskinin kayaç kazılabilirliği üzerine etkisinin araştırılması*, (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tumaç, D., Balci, C.** (2014). Investigation into the cutting characteristic of CCS type disc cutters and the comparison between experimental, theoretical and empirical force estimations. *Tunn. Undergr. Sp. Technol.* 45, 84-98.
- Tumac, D., Bilgin, N., Feridunoglu, C., and Ergin, H.** (2007). Estimation of rock cuttability from shore hardness and compressive strength properties, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 40, No.5, pp. 477-490.
- Tunçdemir, H.** (2002). *Kollu galeri açma makinelerinin veya benzer makinelerin cevher kazısında kullanımının araştırılması*. (doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- University of Trondheim.** (1994). *Hard rock tunnel boring project report 1 – 94*, University of Trondheim, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway.
- Url – 1** < <http://yolteknolojileri.com.tr/ayin-konusu/detay/7201/devam-eden-tunel-projeleri>>, alındığı tarih: 24.02.2015.
- Url – 2** < <http://www.moment-expo.com/ulkemizde-maden-makineleri-kullaniminin-dunu-bugunu> >, alındığı tarih: 13.04.2015.
- Url – 3** < http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/41dd99a69df0404_ek.pdf >, alındığı tarih: 15.04.2015.
- Yazıcı, S.** (1984). Galeri Açma Makinelerinin Seçimi İçin Kazılabilirliğin Saptanması, *Madencilik Dergisi*, Mart, Cilt 13, Sayı 1.
- West, G.** (1986). A relation between abrasiveness and quartz content for some coal measures sediments, *International Journal of Mining and Geological Engineering*, 4, pp. 73-78.
- Wijk, G.** (1992). A model of tunnel boring machine performance, *Geotech. Geol. Eng.*, Vol. 10, pp. 19-40.

EKLER

EK A: Detaylı LCM Deney Sonuçları

EK B: Detaylı PLCM Deney Sonuçları

EK C: Elek Analizi Sonuçları

EK – A : Detaylı LCM Deney Sonuçları

Çizelge A.1 : Bej mermer numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1.5	10610.36	18529.55	335.09	1419.01	8.90
1.5	7228.15	15930.43	235.93	938.05	7.17
1.5	7857.91	18228.68	260.82	957.22	7.82
1.5	10095.63	17523.25	299.80	1017.29	6.20
1.5	7043.89	14340.50	181.69	757.43	7.81
1.5	9741.58	18937.00	250.80	1007.49	6.36
Ortalama	8762.92	17248.23	260.69	1016.08	7.38
2	10939.88	20420.35	352.94	1398.13	5.51
2	10492.30	17520.35	350.53	1391.74	8.93
2	11146.88	23540.03	324.70	1758.10	6.46
2	13768.04	24502.83	401.55	1520.82	7.36
Ortalama	11586.78	21495.89	357.43	1517.20	7.06
3	15835.18	26174.68	510.57	2351.09	7.20
3	14157.04	24917.53	665.08	2230.11	8.76
3	18704.69	27686.30	229.62	1753.84	2.84
3	12523.43	20699.48	400.34	1255.00	4.64
3	13704.12	21921.10	365.38	1739.36	9.48
3	10540.86	26110.88	392.75	2224.57	7.28
Ortalama	14244.22	24584.99	427.29	1925.66	6.70
5	14947.10	27109.20	453.56	2269.73	4.62
5	17606.64	25278.58	601.24	2182.82	8.62
5	13853.36	20749.50	552.05	1541.27	5.84
5	17682.53	23855.40	580.15	1845.43	3.39
5	19028.71	28744.80	866.43	3260.18	6.32
5	17253.07	27141.10	734.87	2619.47	7.40
Ortalama	16728.57	25479.76	631.38	2286.48	6.03

Çizelge A.2 : Bej mermer numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1.5	60	40	7963.32	18356.28	233.77	1059.04	4.76
1.5	60	40	9388.22	15520.08	275.95	942.31	9.42
1.5	60	40	8335.50	15976.10	241.94	932.09	7.56
1.5	60	40	10180.97	21192.48	285.00	1277.15	4.93
1.5	60	40	11513.60	17983.63	330.53	988.32	5.93
1.5	60	40	8580.85	14018.60	262.03	814.94	9.07
Ortalama			9327.08	17174.53	271.53	1002.31	6.95
3	60	20	11779.69	21496.98	396.78	1830.95	6.83
3	60	20	13943.14	21394.75	425.80	1208.99	5.41
3	60	20	14848.18	28019.08	430.62	1633.71	6.43
3	60	20	16112.80	23494.35	459.75	1647.34	5.16
3	60	20	17302.70	26737.28	450.24	1988.99	4.50
3	60	20	16189.77	23685.03	557.28	1903.79	4.65
3	60	20	11854.89	22910.00	491.23	1943.41	6.10
Ortalama			14575.88	23962.49	458.82	1736.74	5.58
5	60	12	15797.08	24815.30	568.07	2316.16	6.47
5	60	12	14777.46	24814.58	504.29	2213.50	7.75
5	60	12	19090.69	27909.60	505.42	2307.64	4.25
5	60	12	14329.79	23886.58	490.88	1799.42	5.52
5	60	12	14189.86	26606.78	408.53	2064.40	5.50
5	60	12	12041.76	19361.85	482.24	2081.01	6.03
Ortalama			15037.77	24565.78	493.24	2130.36	5.92

Çizelge A.3 : Traverten numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
5	5382,72	10697,38	602,81	1747,45	2,26
5	6715,24	14521,03	652,96	1630,73	3,08
5	6454,32	10973,60	689,39	1531,47	3,73
Ortalama	6184,09	12064,00	648,38	1636,55	3,02
7	8055,09	18511,43	1009,87	2800,52	2,56
7	9326,96	19585,15	1007,52	1928,50	2,21
7	6904,90	13083,35	776,02	1720,61	1,85
7	8823,00	21177,98	1078,08	2640,35	2,65
7	8764,22	20151,38	920,40	2103,16	2,43
Ortalama	8374,84	18501,86	958,38	2238,63	2,34
9	8027,24	15314,90	891,98	2082,29	2,10
9	7641,11	16419,08	955,19	2274,41	2,10
9	7276,94	17011,40	895,24	2446,94	2,16
9	11935,09	25923,10	1424,59	2652,70	2,05
9	9303,26	21677,50	1080,99	2838,01	2,21
Ortalama	8836,73	19269,20	1049,60	2458,87	2,12

Çizelge A.4 (a) : Traverten numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (s = 80 mm).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
5	80	16	6158,26	9854,93	549,42	1055,20	2,53
5	80	16	5814,93	18841,30	497,67	1909,76	4,87
5	80	16	5973,51	20201,40	594,73	1891,44	2,43
5	80	16	5682,37	15919,55	521,87	1466,72	2,02
5	80	16	5458,74	13010,13	508,14	1522,95	2,21
5	80	16	5067,18	10187,70	533,61	1098,65	2,49
Ortalama	16	16	5692,50	14669,17	534,24	1490,79	2,76
7	80	11,4	5153,53	12064,00	550,94	1652,03	1,24
7	80	11,4	6892,83	13002,15	771,26	1870,57	2,29
7	80	11,4	6998,01	12917,33	864,46	1933,19	2,44
7	80	11,4	6909,81	16124,73	698,97	1776,85	2,62
7	80	11,4	6797,55	17584,15	751,78	2036,71	2,72
7	80	11,4	5865,82	23172,45	609,02	2409,46	2,60
Ortalama	11,4	11,4	6436,26	15810,80	707,74	1946,47	2,32
9	80	8,89	4091,04	7988,05	498,43	1356,38	1,16
9	80	8,89	9011,10	20548,68	1156,91	2625,86	1,98
9	80	8,89	6985,52	15283,00	890,37	2224,15	2,10
9	80	8,89	6180,22	14970,53	669,01	1833,08	1,92
9	80	8,89	8614,26	18422,98	1118,67	2815,43	2,08
9	80	8,89	5655,48	10594,43	848,62	1727,00	1,60
Ortalama	8,89	8,89	6756,27	14634,61	863,67	2096,99	1,81

Çizelge A.4 (b) : Traverten numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (s = 60 mm).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
5	60	12	5066,03	14291,20	484,66	1578,76	3,87
5	60	12	5948,67	12846,28	517,89	1231,57	4,02
5	60	12	5180,21	12549,03	514,30	1404,52	3,95
5	60	12	5556,25	9117,60	555,81	1162,98	2,46
5	60	12	4574,03	12449,70	456,78	1129,75	2,95
5	60	12	3758,43	10152,90	374,10	1167,24	3,88
	Ortalama		5013,94	11901,12	483,92	1279,14	3,52
7	60	8,6	5466,11	11504,30	515,35	1277,57	6,87
7	60	8,6	6009,22	16022,50	654,25	2264,19	3,18
7	60	8,6	4930,99	16885,98	543,90	1974,08	2,66
7	60	8,6	5947,00	11302,75	712,10	1959,60	1,46
7	60	8,6	3538,76	9819,40	371,65	1560,44	1,28
7	60	8,6	6672,01	13016,65	693,82	1587,70	2,88
7	60	8,6	5205,69	16593,08	560,83	1839,47	2,76
	Ortalama		5395,68	13592,09	578,84	1780,44	3,01
9	60	6,7	5077,22	9258,98	510,02	1127,62	4,13
9	60	6,7	6677,13	18607,85	757,61	2161,52	3,09
9	60	6,7	6311,40	12000,20	778,62	1965,99	3,05
9	60	6,7	6632,93	14110,68	727,98	1737,65	3,83
9	60	6,7	7234,94	17966,95	846,85	2192,62	2,73
9	60	6,7	4980,73	10307,33	473,04	1252,44	3,95
9	60	6,7	7397,43	16698,93	846,70	2188,79	3,72
	Ortalama		6330,25	14135,84	705,83	1803,81	3,50

Çizelge A.5 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
5	2638.85	3998.38	207.03	351.45	3.33
5	2435.81	4794.43	250.07	549.54	0.82
5	2728.72	5438.95	241.88	598.96	4.06
5	3251.42	6143.65	276.50	609.61	1.14
5	3222.99	5831.90	251.92	545.28	2.59
Ortalama	2855.56	5241.46	245.48	530.97	2.39
7	2940.23	4900.28	284.98	616.00	1.03
7	4498.64	7141.98	438.55	834.11	2.74
7	2547.68	4918.40	207.98	553.80	1.15
7	4744.71	8172.20	525.26	1125.92	1.72
7	4812.55	8384.63	540.38	1017.29	1.50
Ortalama	3908.76	6703.50	399.43	829.42	1.63
9	2785.85	4805.30	245.67	551.24	1.52
9	2767.14	5792.75	251.14	561.89	1.26
9	4474.48	8590.53	419.57	942.31	1.54
9	4416.48	7914.10	460.50	1198.34	1.72
9	5595.82	7666.15	649.86	1116.97	1.88
Ortalama	4007.95	6953.77	405.35	874.15	1.58

Çizelge A.6 : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m ³)
5	80	16	1502.06	3816.40	127.18	355.71	1.17
5	80	16	2880.35	6147.28	265.31	634.74	1.80
5	80	16	3087.67	5375.15	325.67	601.09	1.00
5	80	16	2646.78	6887.50	284.74	857.11	0.90
Ortalama	16		2490.03	5556.58	250.73	612.16	1.22
7	80	11.4	1955.86	4160.78	224.31	538.89	0.68
7	80	11.4	2377.99	4745.13	225.11	553.37	1.38
7	80	11.4	2876.79	4783.55	263.51	539.32	1.17
7	80	11.4	3437.47	9878.85	321.35	1233.70	1.25
7	80	11.4	2781.14	5683.28	278.38	649.22	1.42
Ortalama			2685.85	5850.32	262.53	702.90	1.18
9	80	8.9	1648.70	4107.13	154.40	553.80	0.68
9	80	8.9	3150.22	6791.80	315.83	813.23	1.17
9	80	8.9	4106.22	11954.53	382.08	1435.62	1.76
9	80	8.9	3291.95	5909.48	352.34	852.85	0.76
9	80	8.9	4286.44	7867.70	566.27	1387.91	1.66
9	80	8.9	2030.65	3296.58	141.26	284.99	1.77
Ortalama			3085.70	6654.53	318.70	888.07	1.30

Çizelge A.7 : Kireçtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
3	6875.32	17494.98	571.92	1498.24	3.95
3	8470.83	21978.38	598.19	2095.49	4.89
3	7716.68	14826.25	565.17	1204.73	5.26
Ortalama	7687.61	18099.87	578.43	1599.49	4.70
5	7856.36	15370.73	764.70	1945.12	4.98
5	8508.88	18781.13	795.87	2271.86	4.41
5	7433.33	18589.73	814.12	2600.73	4.22
Ortalama	7932.85	17580.53	791.56	2272.57	4.54
7	9037.59	18416.45	952.51	2136.39	2.82
7	7802.63	14588.45	830.32	1937.02	5.05
7	8160.76	14234.65	900.66	1504.21	4.99
Ortalama	8333.66	15746.52	894.49	1859.21	4.29

Çizelge A.8 : Kireçtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
3	60	20	838.79	4155.89	11245.48	267.22	3.71
3	60	20	1160.85	5572.17	12622.98	305.57	3.62
3	60	20	1489.30	9597.36	18955.13	611.00	5.57
3	60	20	979.80	4274.48	14726.20	208.60	3.47
3	60	20	1036.03	4456.87	11242.58	251.96	4.81
	Ortalama		1100.95	5611.35	13758.47	328.87	4.23
5	60	12	1918.70	8420.84	14963.28	843.05	5.24
5	60	12	1764.07	4616.17	12110.40	378.27	2.74
5	60	12	1543.82	5554.95	11135.28	519.74	2.88
5	60	12	2127.87	6404.27	18763.00	541.55	2.60
	Ortalama		1838.62	6249.06	14242.99	570.65	3.37
7	60	8.6	1791.33	7039.25	14500.73	798.58	3.83
7	60	8.6	1697.61	5739.51	10990.28	500.53	2.96
7	60	8.6	1826.69	8190.76	15197.45	890.90	3.61
7	60	8.6	2130.85	10069.72	17438.43	1070.40	4.34
7	60	8.6	1866.31	6900.53	14779.85	718.37	4.38
	Ortalama		1862.56	7587.95	14581.35	795.76	3.82

Çizelge A.9 : Kumtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımsız kesme deney sonuçları.

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
3	11851.65	22976.70	571.31	1341.90	11.83
3	3593.74	5598.45	274.08	592.99	10.71
3	11383.11	25601.20	584.71	1843.73	6.05
3	8499.28	12262.65	681.97	1234.12	6.08
3	8860.12	18958.03	365.61	1408.78	9.57
3	13361.50	21910.95	559.25	1631.15	16.01
3	10136.61	19298.05	549.16	1853.53	12.82
Ortalama	9669.43	18086.58	512.30	1415.17	10.44
5	9870.27	23493.63	748.54	2995.63	3.97
5	9490.09	15934.78	769.97	1616.67	6.60
5	10321.59	17566.75	878.65	2276.12	4.00
5	10252.84	23918.48	868.35	1988.99	7.24
5	10665.02	17321.70	890.94	1816.46	6.93
Ortalama	10119.96	19647.07	831.29	2138.78	5.75
7	10496.90	22835.33	900.24	2267.17	6.91
7	10289.01	18140.95	968.99	2236.50	3.22
7	12088.40	24361.45	1132.99	2910.86	4.42
7	13343.68	20495.03	1124.55	2423.94	8.68
7	13361.79	19854.13	969.99	2357.48	5.00
Ortalama	11915.96	21137.38	1019.35	2439.19	5.65

Çizelge A.10 : Kumtaşı numunesi üzerinde LCM kazı deney setinde 432 mm çaplı CCS disk keski ile yapılan yardımcı kesme deney sonuçları.

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
3	60	20	7839.98	22852.73	381.49	1304.41	10.60
3	60	20	7032.39	10421.15	502.69	774.04	6.06
3	60	20	7197.19	13912.03	256.87	977.67	4.57
3	60	20	10946.61	21932.70	580.52	1375.13	4.08
3	60	20	8593.71	15251.10	398.93	1182.15	7.23
3	60	20	11736.52	20852.45	413.44	1393.87	16.63
	Ortalama		8891.07	17537.03	422.32	1167.88	8.20
5	60	12	8458.86	22368.43	666.82	2213.07	4.80
5	60	12	10692.83	16524.93	898.64	1807.94	4.85
5	60	12	11097.14	18027.13	996.21	1739.36	5.09
5	60	12	9212.98	14846.55	827.65	1968.12	7.60
5	60	12	7910.96	15558.50	835.40	1856.08	4.65
	Ortalama		9474.55	17465.11	844.94	1916.91	5.40
7	60	8.6	14071.67	24202.68	1098.93	2638.64	11.68
7	60	8.6	17463.73	27289.73	1425.35	3089.78	6.08
7	60	8.6	14363.22	20543.60	1500.13	2681.67	8.88
7	60	8.6	15012.54	23904.70	889.16	2338.31	4.73
7	60	8.6	6772.12	10162.33	432.23	855.41	5.82
	Ortalama		13536.66	21220.61	1069.16	2320.76	7.44

EK – B : Detaylı PLCM Deney Sonuçları

Çizelge B.1 (a) : Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (Disk - 1).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	1321.97	1984.71	128.82	274.73	28.01
1	1132.90	2561.84	103.26	353.27	23.86
1	950.53	1555.56	96.12	233.57	11.30
1	1368.24	2374.20	151.40	301.59	12.21
Ortalama	1193.41	2119.08	119.90	290.79	18.84
3	1328.19	2711.33	212.60	544.82	11.12
3	2902.86	5475.16	618.99	1392.85	19.41
3	1649.30	3069.61	240.29	507.39	15.73
3	2329.47	4419.01	424.91	975.55	19.26
Ortalama	2052.46	3918.77	374.20	855.15	16.38
5	2774.97	3852.24	714.41	1243.89	14.44
5	3682.83	5115.26	822.95	1190.90	14.03
5	2464.63	3900.16	563.03	948.62	10.03
Ortalama	2974.14	4289.22	700.13	1127.80	12.84

Çizelge B.1 (b) : Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (Disk - 2).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	1321.97	1984.71	128.82	274.73	28.01
1	643.80	1051.89	75.92	168.48	22.25
1	1381.10	1988.12	207.72	336.92	22.41
1	882.61	1133.89	92.87	158.96	22.16
1	962.45	1386.53	114.09	213.50	26.67
Ortalama	967.49	1390.11	122.65	219.47	23.37
3	1492.94	2936.09	413.95	770.59	21.02
3	2046.78	3201.43	538.38	1083.63	19.66
3	1431.15	2548.26	258.27	589.63	18.24
3	1932.25	3206.38	542.09	938.06	24.86
3	2049.17	3529.32	697.30	1317.16	25.86
Ortalama	1790.46	3084.30	490.00	939.81	21.93
5	3543.76	5359.42	1142.66	1892.44	20.11
5	3513.34	5359.42	1115.19	1892.44	16.55
5	3379.24	4451.05	1032.89	1773.41	17.71
Ortalama	3478.78	5056.63	1096.91	1852.76	18.12

Çizelge B.1 (c) : Bej mermer numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (Disk - 3).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	1398.10	1788.72	145.19	243.18	16.97
1	1211.43	1959.40	143.92	288.12	13.76
1	1005.57	1524.27	93.25	188.61	16.44
Ortalama	1205.03	1757.46	127.45	239.97	15.72
3	2003.86	3013.02	359.10	611.66	14.53
3	1472.59	2868.51	241.35	617.52	15.08
3	1368.41	2056.49	240.80	344.63	15.75
3	1587.58	2913.39	323.80	789.82	10.29
Ortalama	1608.11	2712.85	291.26	590.91	13.91
5	2332.38	3906.96	486.21	870.22	15.19
5	1914.42	3819.15	403.17	1117.12	11.55
Ortalama	2123.40	3863.06	444.69	993.67	13.37

Çizelge B.1 (d) : Bej mermer numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (Disk - 4).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	906.48	1508.16	90.14	171.30	14.61
1	849.73	1542.87	70.56	203.00	12.87
1	804.23	1702.54	66.19	202.92	13.83
Ortalama	853.48	1584.52	75.63	192.41	13.77
3	1663.20	4086.16	293.00	896.95	12.24
3	1500.37	2825.37	191.83	475.83	13.72
3	1780.45	3290.98	310.78	578.16	11.04
Ortalama	1648.01	3400.83	265.20	650.31	12.34
5	2503.52	4644.58	598.16	1154.38	13.71
5	2646.50	4487.45	682.54	1151.44	10.75
5	1710.08	2692.75	369.93	783.04	9.87
Ortalama	2286.70	3941.59	550.21	1029.62	11.44

Çizelge B.2 (a) : Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (Disk - 1).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	583.50	1057.03	48.89	150.25	23.01
1	20	20	837.71	1948.38	88.08	283.36	11.50
1	20	20	1275.83	1944.17	134.76	289.10	23.03
1	20	20	627.76	1238.68	54.02	151.19	14.25
1	20	20	537.71	1161.76	48.97	157.90	14.51
1	20	20	1285.51	2023.60	134.99	287.22	19.24
		Ortalama	858.00	1562.27	84.95	219.84	17.59
3	20	6.7	1479.97	2724.92	200.80	580.22	13.93
3	20	6.7	1796.22	3141.33	272.64	540.88	15.12
3	20	6.7	1627.72	2413.18	235.97	447.98	11.26
3	20	6.7	2199.72	3285.96	338.33	630.00	17.37
		Ortalama	1775.91	2891.35	261.93	549.77	14.42
5	20	4	1302.72	3560.63	261.26	1035.72	7.82
5	20	4	1886.97	3216.69	362.65	700.70	10.19
5	20	4	2251.75	4413.04	396.66	1282.88	13.27
5	20	4	2641.10	3868.18	597.62	1008.01	12.38
		Ortalama	2020.63	3764.64	404.55	1006.83	10.91

Çizelge B.2 (b) : Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (Disk - 2).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	443.44	914.25	61.33	125.38	15.02
1	20	20	1103.21	1920.52	153.57	320.66	16.50
1	20	20	753.03	1384.87	90.81	224.03	15.65
1	20	20	1074.13	1812.40	125.81	263.21	16.47
1	20	20	1060.07	1780.24	160.62	357.05	21.52
		Ortalama	886.77	1562.46	118.43	258.06	17.03
3	20	6.7	1557.95	3024.84	341.43	607.80	16.94
3	20	6.7	1765.73	3350.21	408.11	786.80	16.95
3	20	6.7	1212.17	2881.19	412.89	984.14	26.95
3	20	6.7	1738.77	3133.77	436.91	917.08	18.33
		Ortalama	1568.66	3097.50	399.84	823.95	19.79
5	20	4	1930.81	2707.21	789.50	1234.92	25.28
5	20	4	1906.07	3247.90	501.07	918.83	22.64
5	20	4	2126.09	5192.99	641.32	1795.11	19.14
		Ortalama	1987.66	3716.03	643.96	1316.28	22.35

Çizelge B.2 (c) : Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (Disk - 3).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	1315.06	2130.08	153.24	394.41	11.26
1	20	20	1383.94	2088.56	124.75	217.31	15.71
1	20	20	929.68	1281.81	133.94	184.77	17.47
1	20	20	946.08	1933.21	111.30	325.56	11.75
Ortalama			1143.69	1858.41	130.81	280.51	14.05
3	20	6.7	1525.41	3360.30	291.21	829.06	13.48
3	20	6.7	1474.38	2710.01	325.42	711.03	13.27
3	20	6.7	1654.07	3338.28	348.19	909.44	12.04
3	20	6.7	1546.39	2848.22	323.93	664.52	15.65
Ortalama			1550.06	3064.20	322.19	778.51	13.61
5	20	4	2045.71	2909.05	538.89	785.98	10.25
5	20	4	2000.78	2355.69	336.09	448.13	15.02
5	20	4	1891.66	2832.29	430.20	894.07	12.87
Ortalama			1979.38	2699.01	435.06	709.40	12.71

Çizelge B.2 (d) : Bej mermer numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (Disk - 4).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	430.27	1324.76	42.60	159.88	12.88
1	20	20	712.13	2157.93	67.12	251.80	11.45
1	20	20	715.18	1214.18	64.60	198.14	13.84
1	20	20	675.82	1400.11	69.82	191.55	13.49
Ortalama			633.35	1524.25	61.04	200.34	12.92
3	20	6.7	1070.17	2304.14	145.63	448.92	17.12
3	20	6.7	1419.70	2525.47	278.69	723.77	10.30
3	20	6.7	1328.55	2596.51	251.09	592.57	7.32
3	20	6.7	1037.50	1972.94	152.42	374.30	13.53
Ortalama			1213.98	2349.76	206.96	534.89	12.07
5	20	4	2011.40	4102.12	359.95	1008.05	15.07
5	20	4	1638.49	2649.79	327.40	606.84	16.83
5	20	4	2187.40	3776.00	458.65	845.35	14.69
5	20	4	2219.14	3776.00	472.97	845.35	9.60
Ortalama			2014.11	3575.98	404.74	826.39	14.05

Çizelge B.3 (a) : Traverten numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	534.20	1063.85	54.76	117.72	30.41
1	747.12	1578.33	74.89	179.01	4.02
1	728.81	1489.65	69.01	161.78	16.26
Ortalama	670.04	1377.28	66.22	152.83	16.89
3	1195.05	1936.54	250.19	386.77	10.88
3	1090.74	1666.16	176.18	408.86	9.29
3	1002.70	1829.30	145.38	356.94	7.19
Ortalama	1096.16	1810.67	190.58	384.19	9.12
5	2077.98	3611.20	442.10	996.52	6.81
5	1119.57	1501.45	159.76	333.16	6.59
5	1985.52	3113.55	367.42	736.25	9.03
Ortalama	1727.69	2742.07	323.10	688.65	7.48

Çizelge B.3 (b) : Traverten numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	523.59	1252.16	159.08	382.85	28.19
1	486.23	1035.92	72.71	193.33	5.19
1	407.50	904.98	66.32	218.34	16.95
Ortalama	472.44	1064.35	99.37	264.84	16.77
3	862.70	1487.04	183.27	358.95	5.87
3	1248.07	1923.07	299.18	555.19	7.96
3	1013.80	2658.20	227.16	717.95	14.47
Ortalama	1041.52	2022.77	236.54	544.03	9.43
5	1103.86	1863.90	221.70	401.19	8.25
5	1851.58	2969.82	568.01	1032.00	11.59
5	1872.21	3083.15	711.66	1287.47	8.11
Ortalama	1609.21	2638.96	500.46	906.89	9.32

Çizelge B.4 (a) : Traverten numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	608.27	1196.45	54.56	156.09	13.59
1	20	20	756.33	1301.18	68.93	193.45	8.53
1	20	20	431.53	1161.75	34.41	159.80	23.01
1	20	20	657.02	1394.97	58.19	170.48	13.43
		Ortalama	613.29	1263.59	54.02	169.96	14.64
3	20	6.7	1115.87	2459.59	168.98	407.88	8.22
3	20	6.7	1215.50	2306.63	192.97	416.44	9.46
3	20	6.7	674.41	1085.75	108.96	226.97	6.95
		Ortalama	1001.92	1950.66	156.97	350.43	8.21
5	20	4	1777.95	2715.63	403.67	751.54	9.80
5	20	4	1187.04	3007.07	259.95	899.78	5.06
5	20	4	1246.41	3460.92	274.04	777.32	4.36
		Ortalama	1403.80	3061.21	312.55	809.55	6.41

Çizelge B.4 (b) : Traverten numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	595.12	1248.78	77.60	191.43	7.82
1	20	20	408.03	991.98	51.98	119.68	17.70
1	20	20	428.32	891.40	58.54	135.04	11.43
		Ortalama	477.16	1044.06	62.71	148.72	12.32
3	20	6.7	575.33	1053.64	118.70	262.27	9.12
3	20	6.7	684.48	1469.31	162.81	357.05	5.53
3	20	6.7	940.13	1716.90	189.26	397.43	6.75
3	20	6.7	1373.14	2502.74	293.53	564.75	10.95
		Ortalama	893.27	1685.65	191.07	395.38	8.09
5	20	4	1347.20	2251.72	317.77	672.95	8.68
5	20	4	1278.05	2482.43	307.83	626.08	9.99
5	20	4	1605.56	2997.81	422.60	800.27	7.61
		Ortalama	1410.27	2577.32	349.40	699.77	8.76

Çizelge B.5 (a) : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	115.01	279.63	11.31	36.39	4.62
1	125.80	219.71	13.68	38.42	3.17
1	194.37	383.59	16.59	45.01	15.37
1	184.58	555.11	16.05	75.52	8.79
Ortalama	154.94	359.51	14.41	48.83	7.99
3	648.89	1144.12	100.15	201.04	6.94
3	551.75	1141.52	96.94	256.70	5.17
3	345.96	681.86	43.63	131.05	4.15
Ortalama	515.53	989.17	80.24	196.26	5.42
5	1247.36	2761.20	301.33	674.85	5.57
5	721.25	1231.05	160.37	259.45	4.16
5	565.18	871.23	119.60	233.51	4.07
Ortalama	844.60	1621.16	193.77	389.27	4.60

Çizelge B.5 (b) : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	281.87	597.30	52.72	110.99	6.21
1	279.97	702.17	52.82	157.98	6.63
1	226.26	476.56	42.97	103.35	9.17
Ortalama	262.70	592.01	49.50	124.11	7.34
3	417.92	866.92	89.99	210.56	4.42
3	545.76	1144.74	111.01	226.97	5.58
3	495.01	1242.99	93.95	218.30	4.20
Ortalama	486.23	1084.88	98.32	218.61	4.74
5	690.75	1390.75	205.87	399.17	5.22
5	1032.60	2038.86	332.89	673.91	5.06
5	676.02	1199.01	213.19	393.49	3.54
Ortalama	799.79	1542.87	250.65	488.86	4.91

Çizelge B.6 (a) : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	20	20	196.53	359.96	17.48	46.92	5.77
1	20	20	140.99	347.26	13.84	46.90	5.22
1	20	20	142.09	468.81	15.62	90.92	6.31
		Ortalama	159.87	392.01	15.65	61.58	5.77
3	20	6.7	743.69	1480.31	131.93	276.69	6.23
3	20	6.7	582.16	1264.92	91.60	284.34	4.19
3	20	6.7	414.11	733.42	64.73	165.64	2.64
3	20	6.7	418.23	806.06	63.54	145.43	3.46
		Ortalama	539.55	1071.18	87.95	218.03	4.13
5	20	4	567.08	869.43	148.34	229.71	4.25
5	20	4	676.31	919.27	179.20	319.70	8.64
5	20	4	786.43	1416.11	272.80	590.55	4.43
		Ortalama	676.60	1068.27	200.11	379.98	5.77

Çizelge B.6 (b) : Küfeki kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	20	20	156.18	423.27	36.39	98.66	9.14
1	20	20	272.87	702.16	66.51	190.57	2.97
1	20	20	160.89	468.07	34.25	80.37	9.97
1	20	20	327.69	622.77	73.09	131.18	3.77
1	20	20	205.32	403.02	38.09	114.93	16.51
		Ortalama	224.59	523.86	49.67	123.14	8.47
3	20	6.7	362.88	982.66	85.23	238.36	6.34
3	20	6.7	655.15	1427.09	141.23	283.42	4.25
3	20	6.7	530.37	843.27	108.85	201.04	4.34
3	20	6.7	569.52	1337.53	130.82	314.97	3.70
		Ortalama	529.48	1147.64	116.53	259.45	4.66
5	20	4	681.91	1641.70	180.82	488.16	6.91
5	20	4	836.39	1762.52	203.79	449.88	4.96
5	20	4	596.88	1760.00	148.89	516.91	5.02
		Ortalama	705.06	1721.41	177.84	484.98	5.63

Çizelge B.7 (a) : Kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	442.73	1220.12	41.54	151.31	14.31
1	417.68	966.60	49.43	121.58	13.99
1	760.59	1551.29	80.07	197.25	7.99
Ortalama	540.33	1246.00	57.01	156.72	12.10
3	1389.93	2227.20	247.31	449.90	9.05
3	1190.65	2302.41	208.60	419.36	11.56
3	1777.19	3285.03	377.89	770.61	11.41
Ortalama	1452.59	2604.88	277.93	546.62	10.68
5	1607.18	2618.36	396.60	699.84	9.10
5	1509.36	3177.77	332.94	870.24	10.73
5	1334.80	2711.31	314.21	821.38	5.49
Ortalama	1483.78	2835.81	347.92	797.15	8.44

Çizelge B.7 (b) : Kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	551.78	1451.58	86.28	220.25	6.02
1	769.88	1357.88	93.93	179.01	17.91
1	950.89	1809.01	108.45	242.26	15.30
Ortalama	757.52	1539.49	96.22	213.84	13.08
3	1237.05	2365.88	275.92	580.18	8.92
3	1083.39	2430.82	175.26	410.70	14.15
3	1486.86	2954.72	293.02	665.34	11.09
Ortalama	1269.10	2583.81	248.07	552.07	11.39
5	1662.35	3039.26	537.26	1029.06	11.35
5	1640.65	2565.99	456.31	806.93	9.52
5	1788.93	3514.03	503.78	1191.74	8.78
Ortalama	1697.31	3039.76	499.12	1009.24	9.88

Çizelge B.8 (a) : Kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	20	20	440.15	1029.18	53.97	157.92	16.41
1	20	20	473.70	962.33	50.18	136.79	9.34
1	20	20	846.79	1619.73	91.08	255.66	9.88
		Ortalama	586.88	1203.75	65.07	183.46	11.87
3	20	6.7	907.26	1820.01	136.94	404.60	9.56
3	20	6.7	1398.36	2375.98	235.21	459.48	8.59
3	20	6.7	1069.68	2060.78	169.56	341.77	9.43
		Ortalama	1125.10	2085.59	180.57	401.95	9.19
5	20	4	1590.12	2699.61	412.19	794.58	6.79
5	20	4	1142.87	2367.56	225.67	494.04	11.47
5	20	4	1477.56	2998.66	361.59	845.27	8.55
5		Ortalama	1403.52	2688.61	333.15	711.30	8.94

Çizelge B.8 (b) : Kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	20	20	906.93	1520.83	106.73	175.20	9.06
1	20	20	531.47	1108.51	66.58	146.47	16.53
1	20	20	653.41	1204.89	89.70	166.60	7.82
		Ortalama	697.27	1278.08	87.67	162.76	11.14
3	20	6.7	1297.82	2729.14	291.51	707.50	14.61
3	20	6.7	796.05	1563.99	131.25	274.79	9.16
3	20	6.7	1015.86	1938.29	181.82	408.72	8.48
		Ortalama	1036.58	2077.14	201.53	463.67	10.75
5	20	4	1174.94	2696.97	322.80	708.42	9.43
5	20	4	1487.38	1975.47	641.26	1074.08	8.97
5	20	4	1942.30	2719.91	517.00	939.04	11.04
		Ortalama	1534.87	2464.11	493.68	907.18	9.81

Çizelge B.9 (a) : Kumtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	1266.60	3271.60	161.45	492.10	72.33
1	1638.92	3077.31	178.64	450.02	23.64
1	1337.36	2646.33	187.39	379.06	25.23
Ortalama	1414.29	2998.41	175.82	440.39	40.40
3	1930.73	3062.00	485.44	849.13	38.96
3	2213.36	4411.45	510.36	1216.71	21.29
3	1757.50	3398.76	297.94	706.44	38.62
Ortalama	1967.20	3624.07	431.25	924.09	32.96
5	1346.98	2605.21	288.82	779.49	19.81
5	2574.53	3868.92	709.57	1193.70	24.62
5	3199.50	4221.25	976.56	1279.82	19.96
Ortalama	2373.67	3565.13	658.32	1084.34	21.46

Çizelge B.9 (b) : Kumtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	1174.63	1794.63	176.44	296.72	40.73
1	762.58	1521.72	115.37	275.77	38.36
1	1091.79	2097.92	181.57	424.09	17.03
Ortalama	1009.67	1804.76	157.79	332.19	32.04
3	1059.43	2857.61	246.97	900.82	38.94
3	1680.57	3371.99	482.28	1074.00	25.77
3	973.16	1971.21	246.07	695.02	17.74
Ortalama	1237.72	2733.61	325.10	889.94	27.48
5	1664.77	2468.88	408.63	881.59	31.05
5	1782.40	3003.68	526.39	977.53	16.41
5	1027.48	2353.09	277.74	794.60	16.69
Ortalama	1491.55	2608.55	404.25	884.57	21.38

Çizelge B.10 (a) : Kumtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	20	20	1074.90	2621.83	160.52	422.20	36.02
1	20	20	1477.46	2039.67	166.98	302.49	37.47
		Ortalama	1276.18	2330.75	163.75	362.35	36.75
3	20	6.7	975.96	1639.19	184.36	348.45	18.97
3	20	6.7	2647.72	4661.76	555.49	1222.37	29.35
3	20	6.7	2260.85	4435.03	505.09	1527.84	28.17
		Ortalama	1961.51	3578.66	414.98	1032.89	25.50
5	20	4	2191.98	3081.42	522.49	750.41	33.03
5	20	4	1223.25	2354.82	317.15	878.81	10.62
5	20	4	3283.54	4175.60	882.41	1357.44	12.14
5	20	4	1782.78	3641.60	353.18	984.19	28.51
		Ortalama	2120.39	3313.36	518.81	992.71	21.07

Çizelge B.10 (b) : Kumtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	20	20	995.73	1631.56	134.58	239.39	29.80
1	20	20	1229.85	2248.38	176.48	348.43	49.39
1	20	20	699.74	1451.58	103.50	220.25	16.36
		Ortalama	975.11	1777.17	138.19	269.36	31.85
3	20	6.7	685.49	2097.92	114.43	424.09	17.43
3	20	6.7	1405.01	3277.43	404.10	1279.96	41.84
3	20	6.7	1324.55	2419.06	320.31	609.87	18.12
		Ortalama	1138.35	2598.14	279.62	771.31	25.80
5	20	4	1498.91	2464.68	376.39	891.15	14.61
5	20	4	1332.85	2426.69	300.11	519.79	13.15
5	20	4	959.51	1331.63	275.08	449.94	34.41
		Ortalama	1263.76	2074.33	317.19	620.29	20.72

Çizelge B.11 (a) : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	838.62	2499.28	114.45	402.96	17.41
1	299.13	812.01	47.99	95.73	31.07
1	747.78	1705.90	99.01	304.53	12.87
Ortalama	628.51	1672.40	87.15	267.74	20.45
3	930.71	1739.74	167.65	403.05	9.25
3	1448.58	2424.94	272.93	540.88	9.57
3	1031.25	2085.36	178.39	498.76	11.02
Ortalama	1136.85	2083.35	206.32	480.90	9.95
5	2242.81	4006.68	566.43	1195.74	13.23
5	1576.40	3242.07	410.19	1020.51	6.18
5	1777.23	3560.56	416.92	1092.29	7.11
Ortalama	1865.48	3603.11	464.51	1102.85	8.84

Çizelge B.11 (b) : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	780.89	2422.45	106.60	311.05	33.35
1	599.51	1245.44	85.56	198.16	33.06
1	729.76	1258.97	110.07	294.92	6.64
Ortalama	703.38	1642.29	100.74	268.04	24.35
3	1499.28	2235.75	298.59	539.92	11.10
3	1186.59	2813.62	290.65	806.01	12.52
3	879.61	2090.38	180.91	606.87	19.54
Ortalama	1188.50	2379.91	256.72	650.94	14.39
5	1993.83	3476.09	614.00	1187.11	13.47
5	1984.26	3806.35	612.45	1523.06	12.34
5	1844.30	4243.24	593.73	1585.25	9.86
Ortalama	1940.80	3841.89	606.73	1431.81	11.89

Çizelge B.12 (a) : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	20	20	797.06	1804.79	80.25	211.62	28.42
1	20	20	640.95	1502.30	71.07	158.90	15.95
1	20	20	771.91	1848.68	93.82	274.75	12.92
		Ortalama	736.64	1718.59	81.72	215.09	19.10
3	20	6.7	858.34	1817.49	152.02	347.51	5.37
3	20	6.7	1234.17	2511.22	221.32	617.46	10.05
3	20	6.7	1245.66	1890.91	198.75	333.08	8.41
		Ortalama	1112.73	2073.20	190.70	432.68	7.94
5	20	4	1066.84	2567.72	212.56	691.15	7.54
5	20	4	1142.43	2045.50	272.28	708.54	8.84
5	20	4	1490.27	3026.46	305.08	813.73	8.81
		Ortalama	1233.18	2546.56	263.31	737.81	8.40

Çizelge B.12 (b) : Kireçtaşı (A) numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	20	20	757.01	1515.76	99.62	203.96	36.49
1	20	20	516.59	1153.34	60.92	157.05	28.05
1	20	20	560.07	1070.47	71.57	156.13	25.41
		Ortalama	611.22	1246.52	77.37	172.38	29.99
3	20	6.7	955.02	1910.32	191.62	459.50	11.11
3	20	6.7	1051.95	2143.54	234.33	498.88	17.09
3	20	6.7	807.53	1644.24	184.03	682.53	11.84
		Ortalama	938.16	1899.37	203.33	546.97	13.34
5	20	4	1641.53	3460.81	428.88	1448.30	12.14
5	20	4	1467.72	2942.95	446.53	1104.79	10.11
5	20	4	1413.35	2715.63	365.49	945.84	6.58
		Ortalama	1507.53	3039.80	413.63	1166.31	9.61

Çizelge B.13 (a) : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	590.13	927.75	83.48	142.69	10.74
1	324.01	669.23	58.68	113.93	6.99
1	278.39	475.70	47.93	91.92	9.67
Ortalama	397.51	690.89	63.36	116.18	9.14
3	761.42	1188.93	149.27	240.30	11.18
3	607.16	1040.18	133.71	218.27	4.01
3	774.55	1414.40	143.44	348.43	12.04
Ortalama	714.38	1214.50	142.14	269.00	9.08
5	989.76	1469.29	488.48	695.94	13.45
5	931.37	1700.75	392.23	686.45	7.71
5	1001.73	2180.73	350.40	898.91	4.34
Ortalama	974.29	1783.59	410.37	760.43	8.50

Çizelge B.13 (b) : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	824.81	1366.30	111.85	194.49	10.35
1	783.47	1320.63	101.54	208.60	15.80
1	970.57	937.88	191.69	181.95	19.48
Ortalama	859.62	1208.27	135.03	195.01	15.21
3	905.66	1745.55	200.91	409.82	13.00
3	1526.15	2676.71	307.55	606.93	20.00
3	874.86	1700.81	182.69	373.26	7.51
Ortalama	1102.22	2041.03	230.38	463.34	13.50
5	2065.57	2827.17	528.69	970.65	10.80
5	2458.48	4487.50	951.36	1665.63	14.26
5	1162.01	2383.59	397.73	951.50	11.15
Ortalama	1895.35	3232.75	625.93	1195.93	12.07

Çizelge B.14 (a) : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	20	20	185.04	586.42	40.66	103.43	11.83
1	20	20	132.62	295.71	29.23	53.57	8.50
1	20	20	240.44	584.67	43.98	103.35	7.09
		Ortalama	186.03	488.93	37.96	86.78	9.14
3	20	6.7	681.46	1289.32	125.89	252.70	11.76
3	20	6.7	669.91	1688.93	130.81	408.74	8.75
3	20	6.7	584.98	1061.25	128.90	218.29	5.79
		Ortalama	645.45	1346.50	128.54	293.24	8.77
5	20	4	514.93	955.58	222.78	332.16	9.21
5	20	4	549.96	955.58	219.08	332.16	4.46
5	20	4	759.85	1209.96	208.97	324.52	6.55
		Ortalama	608.25	1040.38	216.94	329.61	6.74

Çizelge B.14 (b) : Altere kireçtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	20	20	850.69	1465.26	134.66	327.40	11.87
1	20	20	846.10	1411.90	129.10	287.14	16.86
1	20	20	840.59	1244.61	137.19	300.66	15.93
		Ortalama	845.79	1373.93	133.65	305.07	14.88
3	20	6.7	1256.26	2114.82	318.17	575.34	17.76
3	20	6.7	1033.41	1862.29	241.75	477.73	8.42
3	20	6.7	592.62	1465.09	130.98	350.31	14.09
		Ortalama	960.76	1814.07	230.30	467.79	13.42
5	20	4	1834.49	2926.88	599.94	963.07	10.99
5	20	4	1123.79	1895.09	429.07	786.88	13.30
5	20	4	1883.03	3146.52	786.16	1254.15	13.99
		Ortalama	1613.77	2656.17	605.06	1001.36	12.76

Çizelge B.15 (a) : Diyabaz numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	1033.30	3595.98	167.74	649.94	12.30
1	2503.11	3748.84	312.30	794.51	89.36
1	1131.33	1938.17	142.08	350.37	9.04
Ortalama	1555.91	3094.33	207.37	598.27	36.90
3	1285.62	2708.89	281.66	652.03	19.79
3	2897.20	5324.02	706.61	1368.86	53.03
3	1926.45	2476.51	211.23	796.49	19.11
Ortalama	2036.42	3503.14	399.83	939.13	30.64
5	2722.50	2488.38	268.94	796.54	16.71
5	3159.18	5953.50	1069.28	1960.53	25.94
5	1608.37	2827.98	377.51	1113.28	25.23
Ortalama	2496.68	3756.62	571.91	1290.12	22.63

Çizelge B.15 (b) : Diyabaz numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m³)
1	534.20	1063.85	54.76	117.72	30.41
1	747.12	1578.33	74.89	179.01	4.02
1	728.81	1489.65	69.01	161.78	16.26
Ortalama	670.04	1377.28	66.22	152.83	16.89
3	1195.05	1936.54	250.19	386.77	10.88
3	1090.74	1666.16	176.18	408.86	9.29
3	1002.70	1829.30	145.38	356.94	7.19
Ortalama	1096.16	1810.67	190.58	384.19	9.12
5	2077.98	3611.20	442.10	996.52	6.81
5	1119.57	1501.45	159.76	333.16	6.59
5	1985.52	3113.55	367.42	736.25	9.03
Ortalama	1727.69	2742.07	323.10	688.65	7.48

Çizelge B.16 (a) : Diyabaz numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	2045.10	4698.68	285.13	1034.82	19.41
1	20	20	2782.99	4508.66	409.65	831.82	25.66
1	20	20	894.51	3421.13	155.75	647.13	42.76
		Ortalama	1907.53	4209.49	283.51	837.93	29.28
3	20	6.7	2742.43	4445.25	790.40	1440.64	31.74
3	20	6.7	2113.98	4144.44	552.44	1450.26	19.48
3	20	6.7	2281.54	4789.78	641.86	1529.78	25.18
		Ortalama	2379.31	4459.82	661.56	1473.56	25.47
5	20	4	2292.62	5560.44	605.43	1508.69	26.66
5	20	4	3474.56	5703.71	1075.54	1983.58	20.67
5	20	4	1922.53	4138.45	568.28	1386.19	19.50
		Ortalama	2563.24	5134.20	749.75	1626.15	22.28

Çizelge B.16 (b) : Diyabaz numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	756.33	1301.18	68.93	193.45	8.53
1	20	20	431.53	1161.75	34.41	159.80	23.01
1	20	20	657.02	1394.97	58.19	170.48	13.43
		Ortalama	614.96	1285.97	53.84	174.58	14.99
3	20	6.7	1115.87	2459.59	168.98	407.88	8.22
3	20	6.7	1215.50	2306.63	192.97	416.44	9.46
3	20	6.7	674.41	1085.75	108.96	226.97	6.95
		Ortalama	1001.92	1950.66	156.97	350.43	8.21
5	20	4	1777.95	2715.63	403.67	751.54	9.80
5	20	4	1187.04	3007.07	259.95	899.78	5.06
5	20	4	1246.41	3460.92	274.04	777.32	4.36
		Ortalama	1403.80	3061.21	312.55	809.55	6.41

Çizelge B.17 (a) : Çamurtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	305.89	778.21	63.84	117.73	13.34
1	469.35	1195.60	73.99	229.77	7.29
Ortalama	387.62	986.90	68.92	173.75	10.32
3	607.85	1390.70	124.05	321.69	6.64
3	494.73	1295.30	115.40	311.25	3.28
3	642.54	1254.84	130.85	362.80	7.10
Ortalama	581.71	1313.61	123.43	331.91	5.68
5	664.95	1471.83	181.96	402.07	3.35
5	1226.86	2419.06	335.62	768.63	7.46
5	887.95	1950.06	198.64	531.36	4.68
Ortalama	926.59	1946.98	238.74	567.35	5.16

Çizelge B.17 (b) : Çamurtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	406.54	1012.29	61.60	156.07	30.73
1	334.92	1067.17	47.93	141.79	14.54
1	370.73	1039.73	54.76	148.93	22.63
Ortalama	701.49	1435.43	162.91	378.16	10.93
3	770.43	1632.43	185.73	423.09	4.47
3	620.68	1798.85	179.98	880.75	6.56
3	697.53	1622.24	176.20	560.66	7.32
Ortalama	780.55	1678.97	242.74	571.48	6.28
5	995.39	2389.48	280.54	760.93	7.68
5	887.97	2034.22	261.64	666.20	6.98
5	406.54	1012.29	61.60	156.07	30.73
Ortalama	334.92	1067.17	47.93	141.79	14.54

Çizelge B.18 (a) : Çamurtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	574.44	1366.16	84.19	242.18	14.61
1	20	20	307.99	768.07	48.38	134.06	4.67
1	20	20	307.71	920.14	45.62	123.54	5.11
		Ortalama	396.71	1018.12	59.40	166.59	8.13
3	20	6.7	694.92	1743.10	142.69	405.97	5.15
3	20	6.7	415.72	1508.21	83.47	350.37	2.79
3	20	6.7	590.96	1581.74	112.98	404.01	6.80
		Ortalama	567.20	1611.02	113.05	386.79	4.92
5	20	4	1057.38	2293.08	279.20	776.30	5.21
5	20	4	681.71	1710.16	136.72	414.54	4.59
5	20	4	529.99	1292.78	133.27	359.99	3.99
		Ortalama	756.36	1765.34	183.06	516.94	4.59

Çizelge B.18 (b) : Çamurtaşı numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	256.94	870.31	47.60	207.75	8.37
1	20	20	198.58	787.43	33.30	109.24	28.62
1	20	20	348.97	1465.95	62.74	310.27	19.30
		Ortalama	268.16	1041.23	47.88	209.09	18.76
3	20	6.7	736.41	1416.11	175.58	425.99	4.79
3	20	6.7	458.73	1530.06	103.05	324.46	3.27
3	20	6.7	686.99	1866.48	171.01	592.57	11.07
		Ortalama	627.38	1604.22	149.88	447.67	6.38
5	20	4	610.96	1563.16	171.65	546.62	3.48
5	20	4	533.96	1248.87	131.40	345.55	5.01
5	20	4	482.25	1206.50	113.77	343.73	5.18
		Ortalama	542.39	1339.51	138.94	411.97	4.56

Çizelge B.19 (a) : Konglomera numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	1053.12	1774.31	163.42	324.58	19.31
1	777.46	1480.31	73.18	189.53	14.22
1	747.88	1302.88	96.84	240.30	16.69
Ortalama	859.49	1519.16	111.14	251.47	16.74
3	1750.47	2318.42	352.38	524.69	15.37
3	1412.30	2467.20	284.49	556.11	13.53
3	1608.52	2371.61	338.21	546.64	14.78
Ortalama	1590.43	2385.74	325.03	542.48	14.56
5	1255.21	2356.50	337.52	576.32	10.48
5	2259.59	3478.51	572.61	1039.58	16.49
5	1922.99	2591.42	472.08	811.24	15.88
Ortalama	1812.60	2808.81	460.74	809.05	14.28

Çizelge B.19 (b) : Konglomera numunesi üzerinde PLCLM kazı deney setinde yapılan yardımsız kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	697.93	1779.43	114.43	407.88	18.08
1	630.19	1548.80	104.28	215.46	19.03
1	916.02	1596.96	127.84	262.25	19.84
Ortalama	748.05	1641.73	115.52	295.20	18.98
3	888.60	1702.48	185.89	368.62	8.34
3	1186.08	2534.74	283.09	928.59	10.62
3	960.17	1651.80	184.01	375.22	24.46
Ortalama	1011.62	1963.01	217.67	557.48	14.47
5	1436.02	2513.69	324.78	537.96	12.55
5	1841.86	3554.63	517.00	1112.36	12.08
5	1535.73	2751.96	425.28	837.65	11.12
Ortalama	1604.54	2940.09	422.35	829.32	11.92

Çizelge B.20 (a) : Konglomera numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (CCS - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	576.25	1081.56	69.16	181.89	15.90
1	20	20	934.92	1525.93	120.78	230.67	17.34
		Ortalama	755.59	1303.75	94.97	206.28	16.62
3	20	6.7	1539.81	2563.46	279.15	547.62	15.87
3	20	6.7	1054.41	1949.31	178.76	358.07	14.91
3	20	6.7	1164.66	2367.51	244.62	585.84	12.61
		Ortalama	1252.96	2293.43	234.18	497.18	14.47
5	20	4	1207.59	2348.94	329.32	649.03	9.05
5	20	4	1867.72	3314.68	492.84	1022.41	13.54
5	20	4	1413.52	2330.31	376.31	639.55	12.03
		Ortalama	1496.28	2664.64	399.49	770.33	11.54

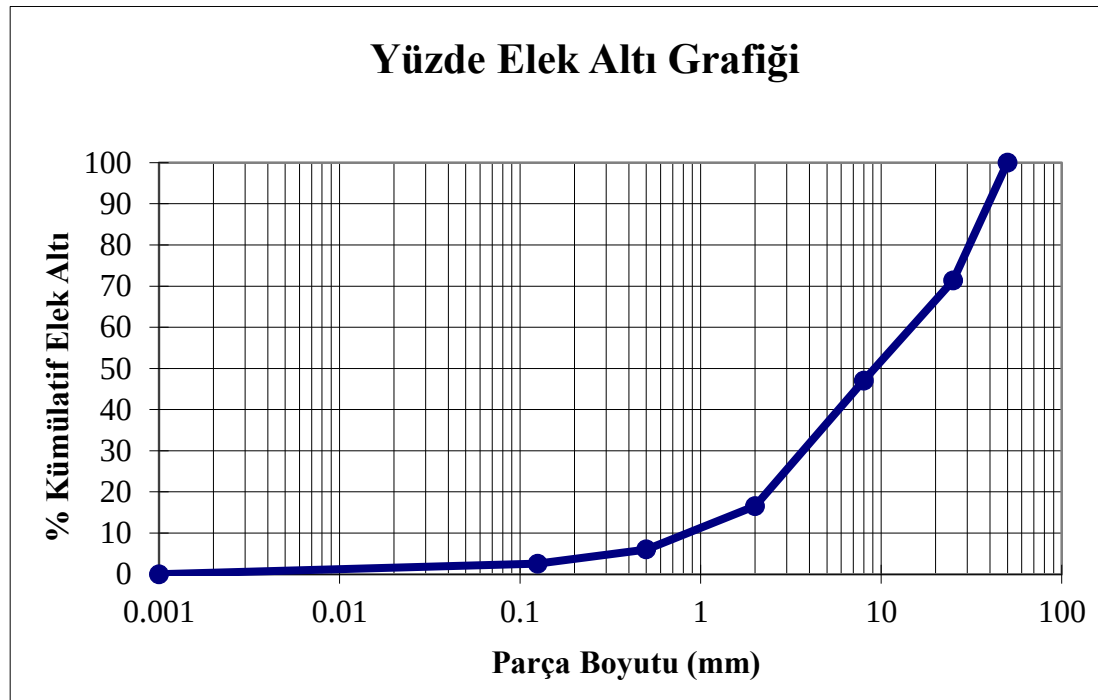
Çizelge B.20 (b) : Konglomera numunesi üzerinde PLCM kazı deney setinde yapılan yardımcı kesme deney sonuçları (V - Tip).

d (mm)	s (mm)	s/d	FN (kgf)	F'N (kgf)	FR (kgf)	F'R (kgf)	SE (kWh/m3)
1	20	20	342.21	483.24	47.47	87.10	10.71
1	20	20	477.82	1695.02	73.30	301.45	18.48
1	20	20	606.56	1179.51	73.31	159.86	14.46
		Ortalama	475.53	1119.26	64.69	182.80	14.55
3	20	6.7	780.30	1499.69	140.07	345.55	6.97
3	20	6.7	833.46	1440.57	158.02	343.73	8.23
3	20	6.7	808.68	1863.05	176.59	447.13	8.69
		Ortalama	807.48	1601.10	158.22	378.80	7.96
5	20	4	1460.46	2934.37	500.92	1152.68	7.85
5	20	4	1129.04	2354.82	276.18	694.02	7.85
5	20	4	1667.69	3004.54	574.50	1176.53	10.31
		Ortalama	1419.06	2764.58	450.53	1007.74	8.67

EK – C : Elek Analizi Sonuçları

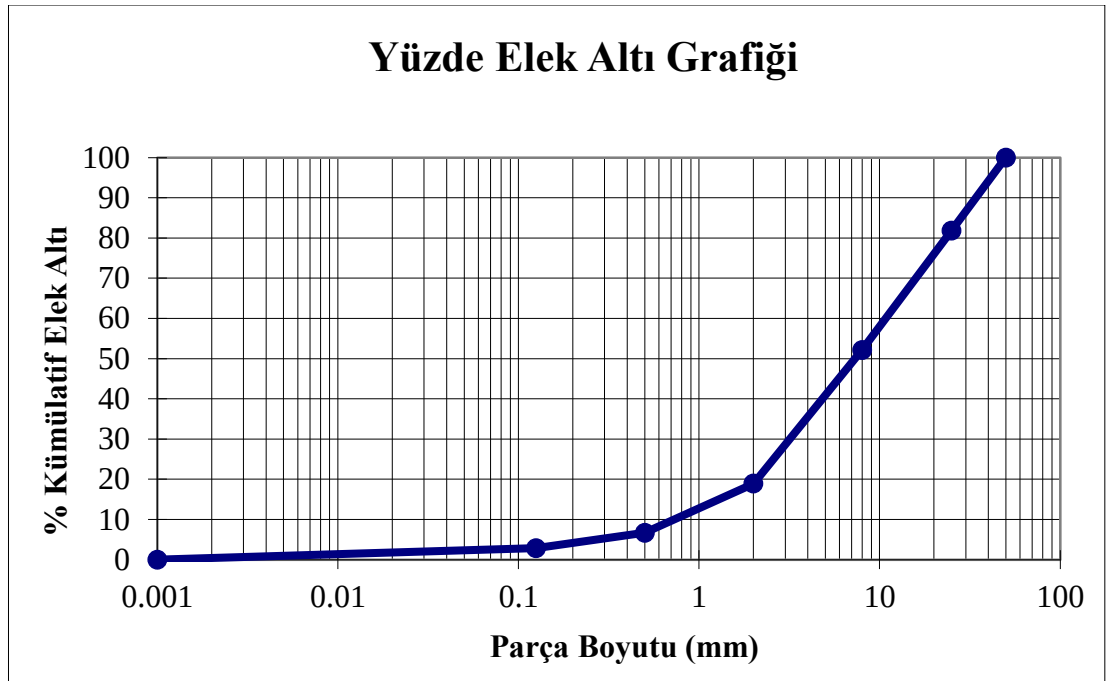
Çizelge C.1 : Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	200.18	28.64	200.18	28.6	456
2	-25 +8	170.01	24.32	370.19	53.0	
3	-8 +2	213.02	30.47	583.21	83.4	
4	-2 +0.5	73.92	10.58	657.13	94.0	
5	-0.5 +0.125	23.95	3.43	681.08	97.4	
6	-0.125	17.92	2.56	699.00	100.0	



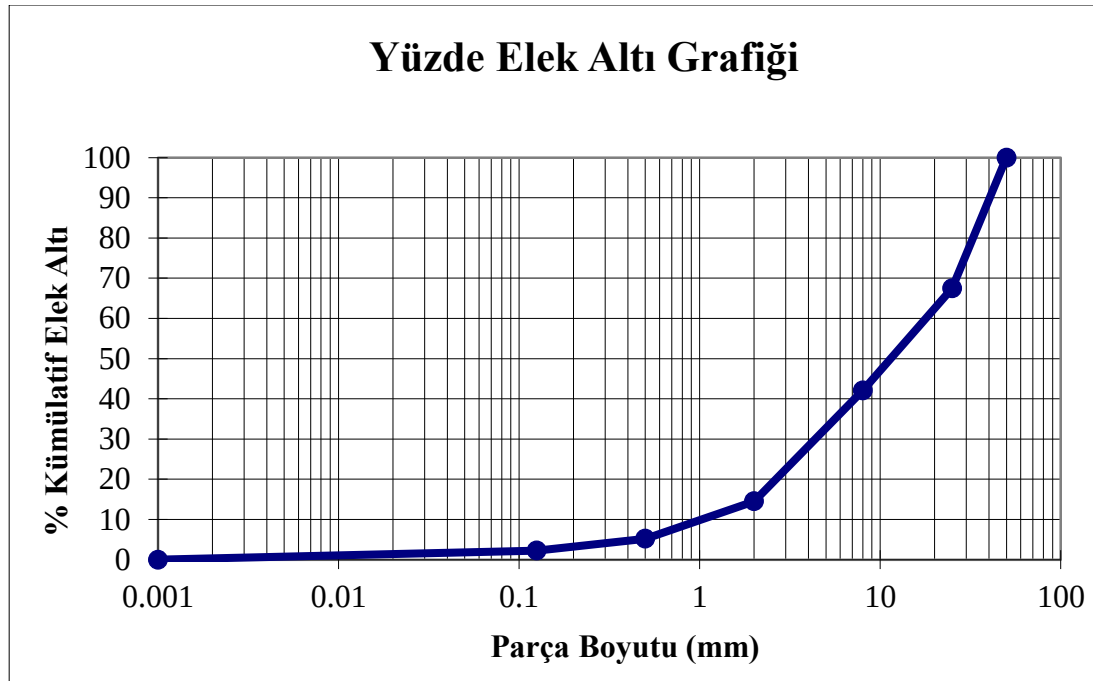
Çizelge C.2 : Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	117.1	18.20	117.10	18.2	438
2	-25 + 8	190.92	29.67	308.02	47.9	
3	-8 + 2	213.9	33.24	521.92	81.1	
4	-2 + 0.5	78.41	12.19	600.33	93.3	
5	-0.5 + 0.125	24.59	3.82	624.92	97.1	
6	-0.125	18.53	2.88	643.45	100.0	



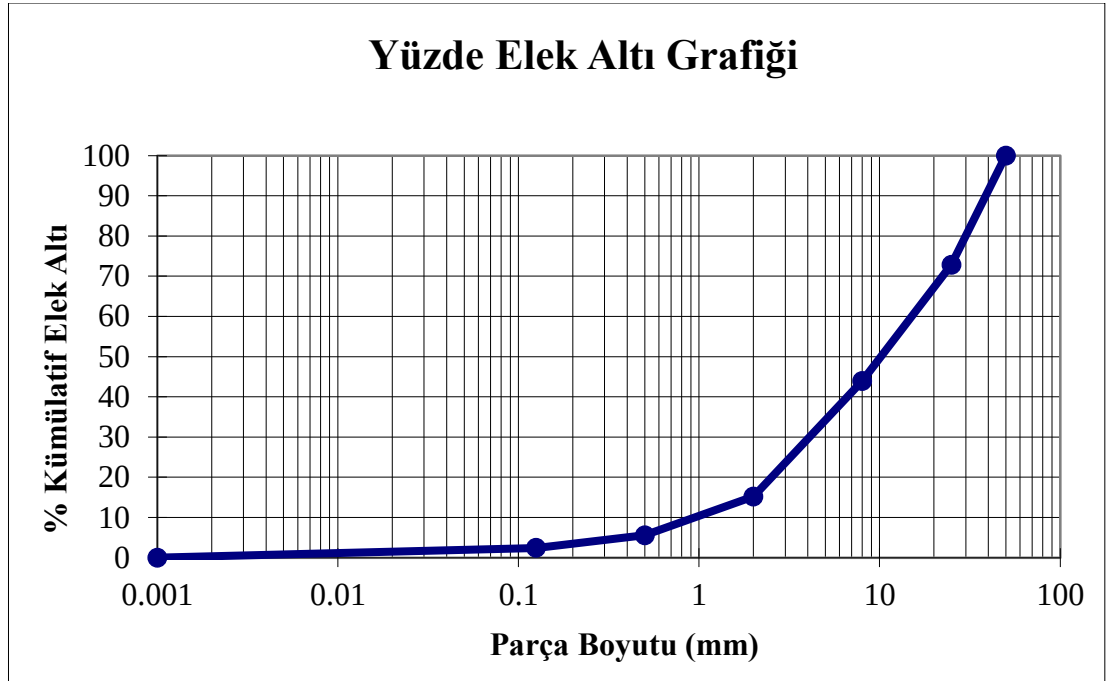
Çizelge C.3 : Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	458.2	32.53	458.20	32.5	468
2	-25 + 8	357.84	25.40	816.04	57.9	
3	-8 + 2	387.88	27.53	1203.92	85.5	
4	-2 + 0.5	131.35	9.32	1335.27	94.8	
5	-0.5 + 0.125	41.39	2.94	1376.66	97.7	
6	-0.125	32.03	2.27	1408.69	100.0	



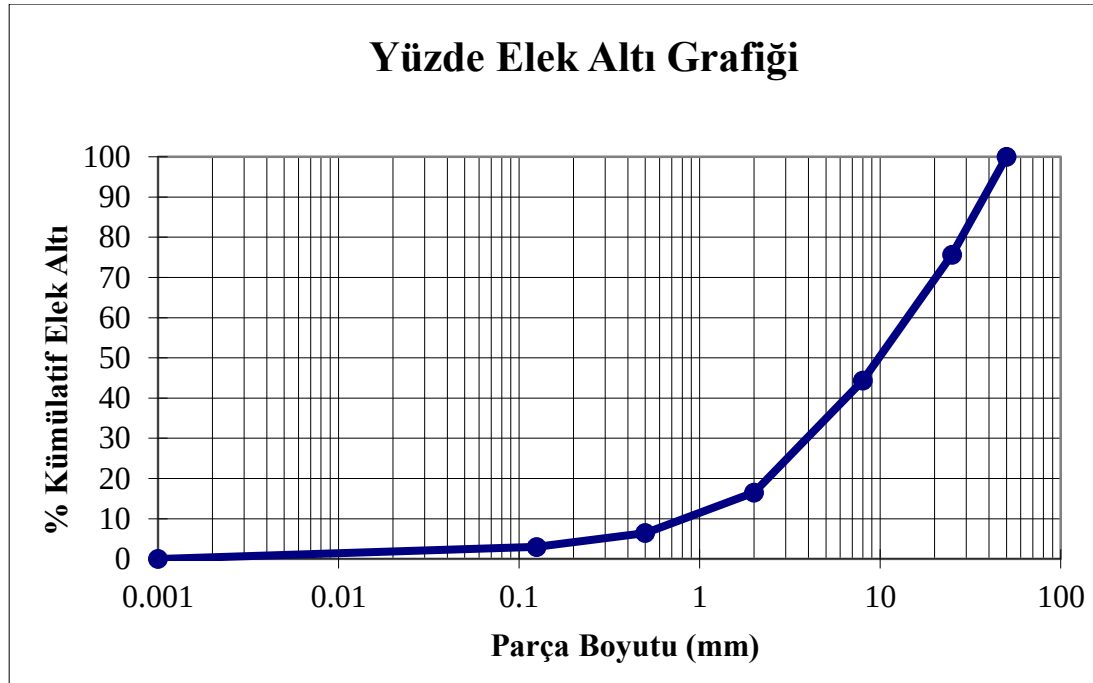
Çizelge C.4 : Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	603.63	27.15	603.63	27.2	460
2	-25 + 8	643.23	28.93	1246.86	56.1	
3	-8 + 2	638.57	28.73	1885.43	84.8	
4	-2 + 0.5	213.48	9.60	2098.91	94.4	
5	-0.5 + 0.125	69.97	3.15	2168.88	97.6	
6	-0.125	54.15	2.44	2223.03	100.0	



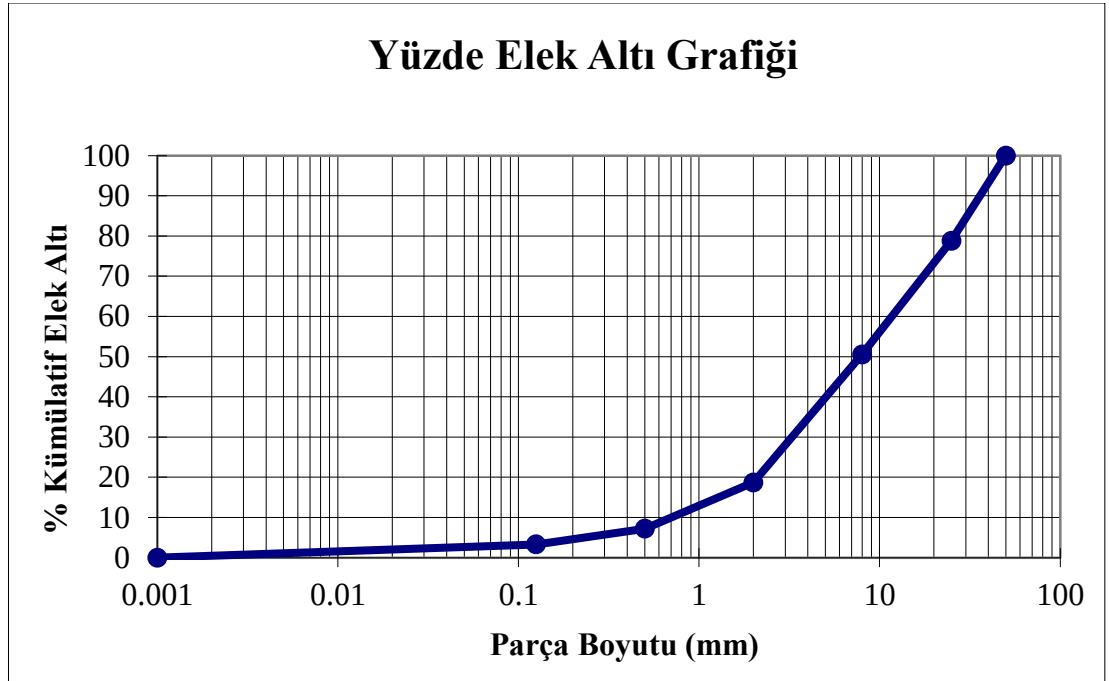
Çizelge C.5 : Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	566.87	24.32	566.87	24.3	454
2	-25 + 8	730.89	31.36	1297.76	55.7	
3	-8 + 2	647.96	27.80	1945.72	83.5	
4	-2 + 0.5	234.84	10.08	2180.56	93.6	
5	-0.5 + 0.125	81.13	3.48	2261.69	97.0	
6	-0.125	69.1	2.96	2330.79	100.0	



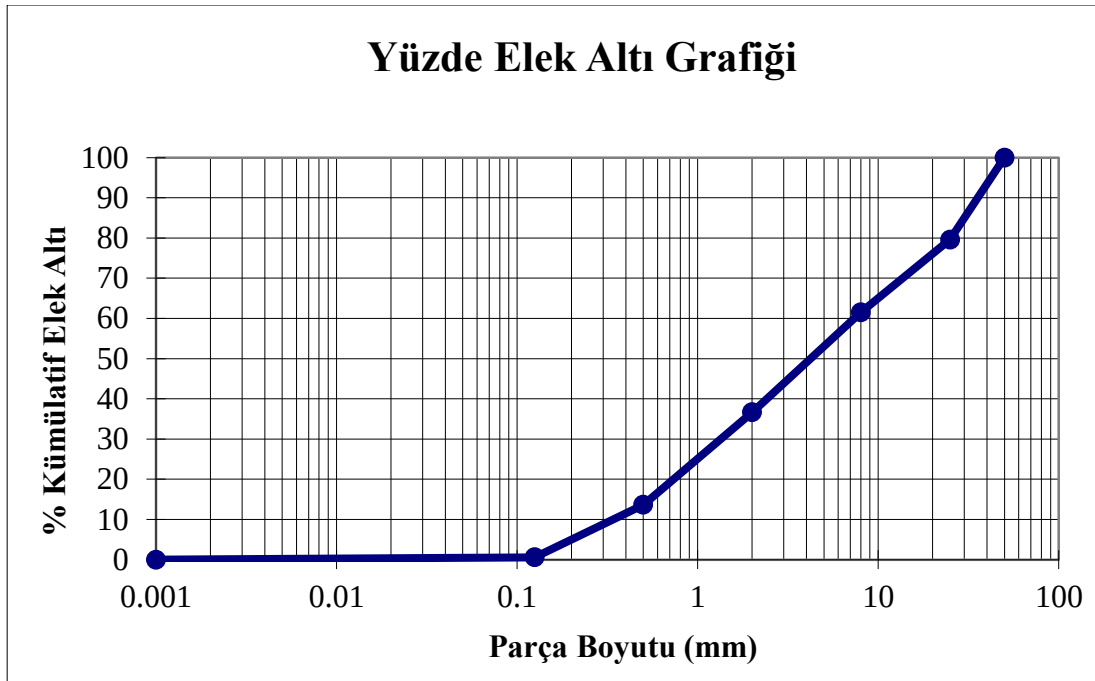
Çizelge C.6 : Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	375.05	21.19	375.05	21.2	441
2	-25 + 8	499.95	28.25	875.00	49.4	
3	-8 + 2	563.39	31.84	1438.39	81.3	
4	-2 + 0.5	203.73	11.51	1642.12	92.8	
5	-0.5 + 0.125	69.36	3.92	1711.48	96.7	
6	-0.125	58.2	3.29	1769.68	100.0	



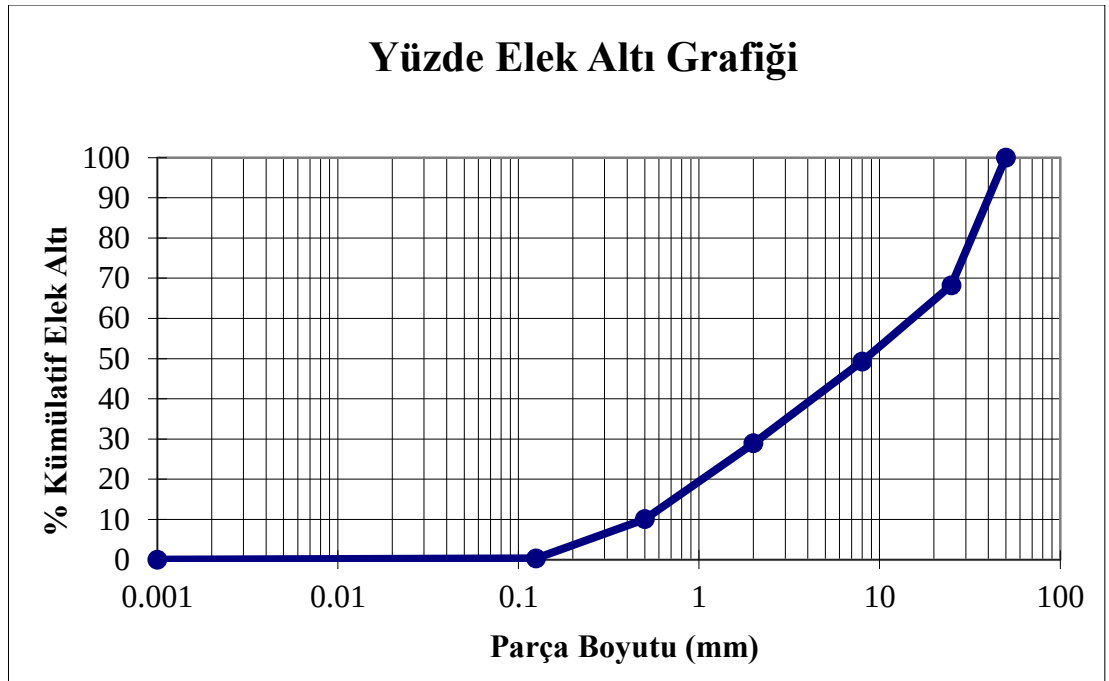
Çizelge C.7 : Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	259.95	20.39	259.95	20.4	408
2	-25 + 8	230.82	18.10	490.77	38.5	
3	-8 + 2	316.96	24.86	807.73	63.4	
4	-2 + 0.5	293.33	23.01	1101.06	86.4	
5	-0.5 + 0.125	166.5	13.06	1267.56	99.4	
6	-0.125	7.37	0.58	1274.93	100.0	



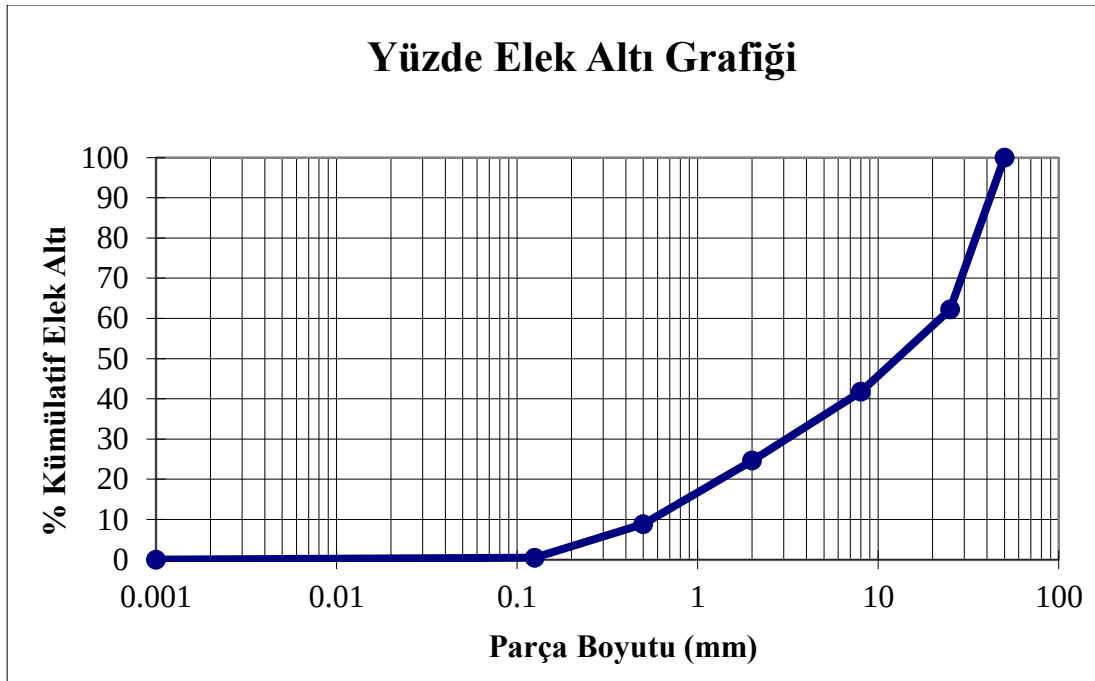
Çizelge C.8 : Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	784.43	31.77	784.43	31.8	443
2	-25 + 8	468.27	18.96	1252.70	50.7	
3	-8 + 2	502.55	20.35	1755.25	71.1	
4	-2 + 0.5	465.09	18.83	2220.34	89.9	
5	-0.5 + 0.125	240.86	9.75	2461.20	99.7	
6	-0.125	8.16	0.33	2469.36	100.0	



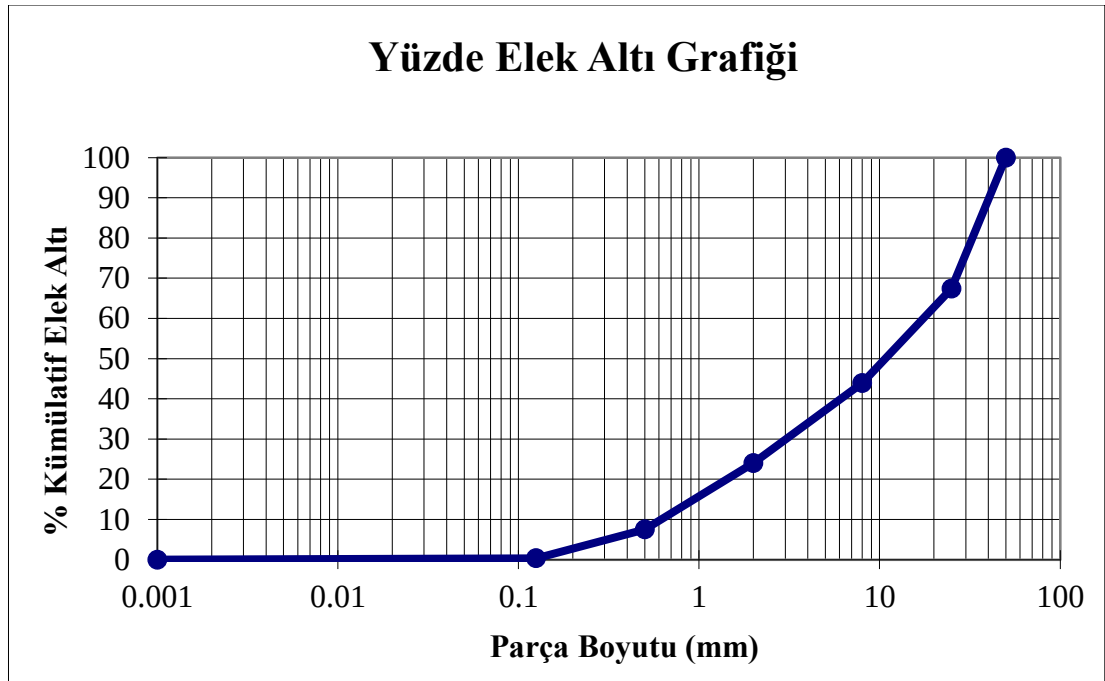
Çizelge C.9 : Traverten için 7 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	1301.29	37.80	1301.29	37.8	462
2	-25 + 8	703.61	20.44	2004.90	58.2	
3	-8 + 2	590.18	17.14	2595.08	75.4	
4	-2 + 0.5	543.46	15.79	3138.54	91.2	
5	-0.5 + 0.125	287.41	8.35	3425.95	99.5	
6	-0.125	16.62	0.48	3442.57	100.0	



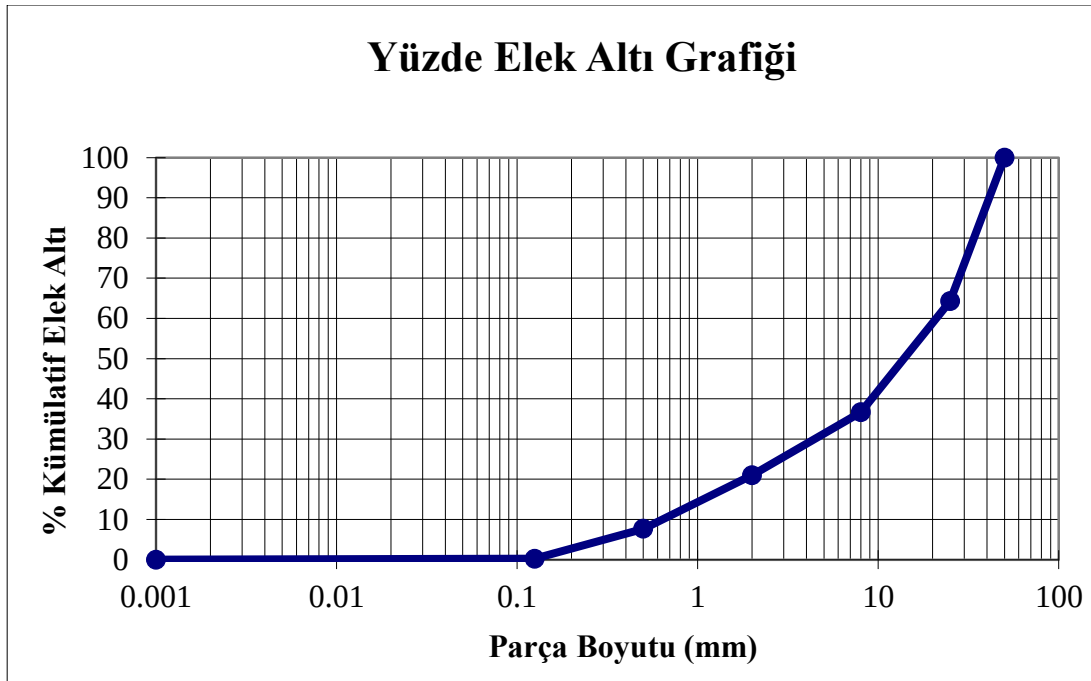
Çizelge C.10 : Traverten için 7 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	1182.23	32.60	1182.23	32.6	457
2	-25 + 8	852.06	23.50	2034.29	56.1	
3	-8 + 2	720.3	19.86	2754.59	76.0	
4	-2 + 0.5	599.22	16.52	3353.81	92.5	
5	-0.5 + 0.125	259.45	7.15	3613.26	99.6	
6	-0.125	13	0.36	3626.26	100.0	



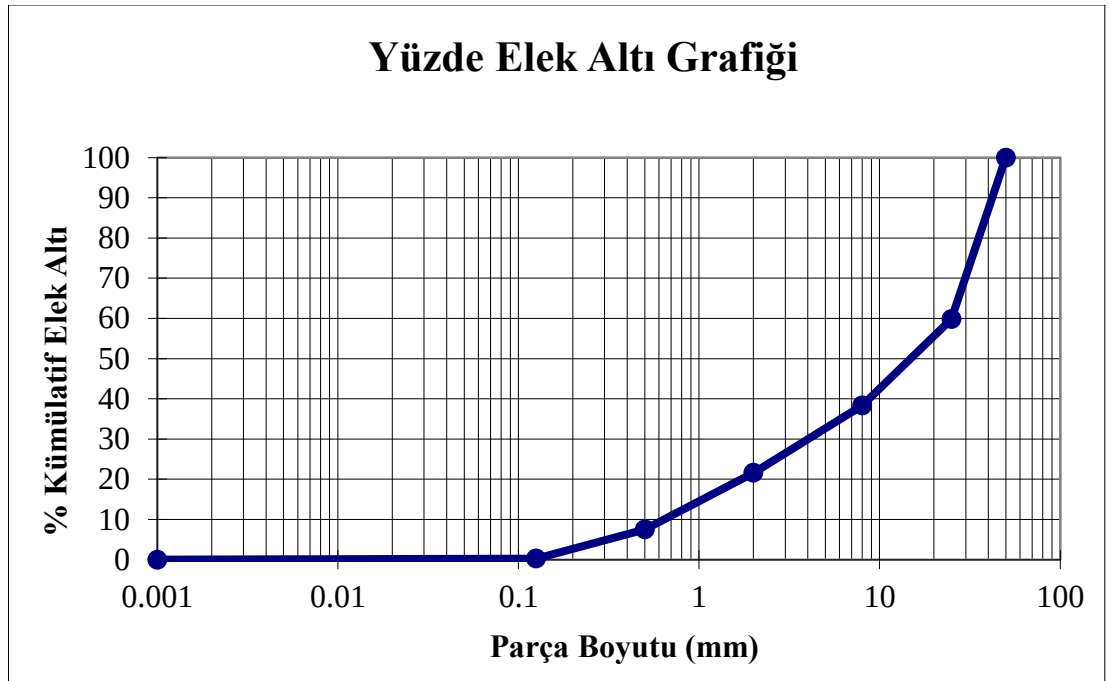
Çizelge C.11 : Traverten için 9 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	1458.15	35.73	1458.15	35.7	470
2	-25 + 8	1127.48	27.63	2585.63	63.4	
3	-8 + 2	637.08	15.61	3222.71	79.0	
4	-2 + 0.5	545.03	13.35	3767.74	92.3	
5	-0.5 + 0.125	303.1	7.43	4070.84	99.7	
6	-0.125	10.3	0.25	4081.14	100.0	



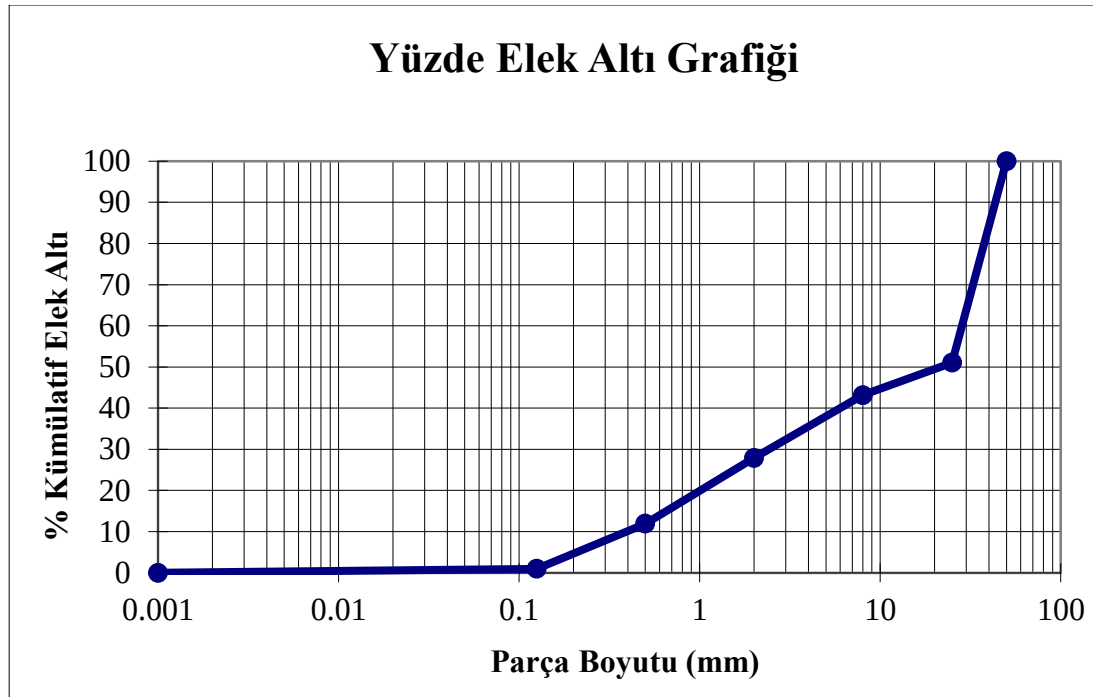
Çizelge C.12 : Traverten için 9 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	2114.74	40.16	2114.74	40.2	472
2	-25 + 8	1133.26	21.52	3248.00	61.7	
3	-8 + 2	879.9	16.71	4127.90	78.4	
4	-2 + 0.5	741.6	14.08	4869.50	92.5	
5	-0.5 + 0.125	380.98	7.24	5250.48	99.7	
6	-0.125	15.04	0.29	5265.52	100.0	



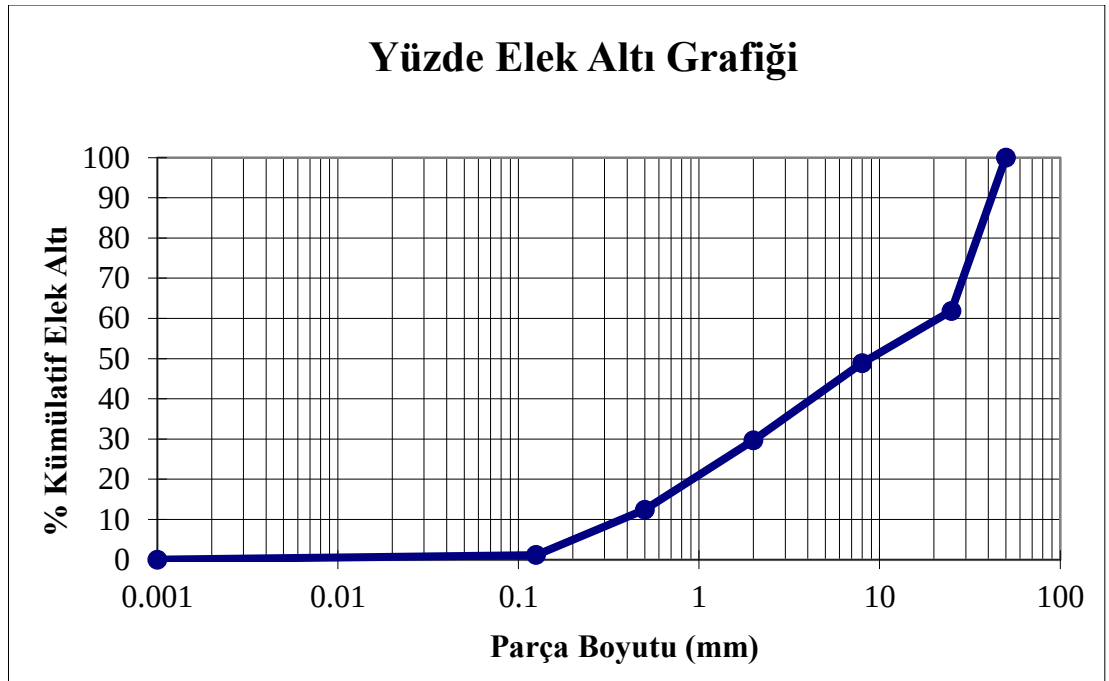
Çizelge C.13 : Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	866.1	48.94	866.10	48.9	465
2	-25 + 8	139.72	7.89	1005.82	56.8	
3	-8 + 2	269.77	15.24	1275.59	72.1	
4	-2 + 0.5	283.11	16.00	1558.70	88.1	
5	-0.5 + 0.125	194.13	10.97	1752.83	99.0	
6	-0.125	16.92	0.96	1769.75	100.0	



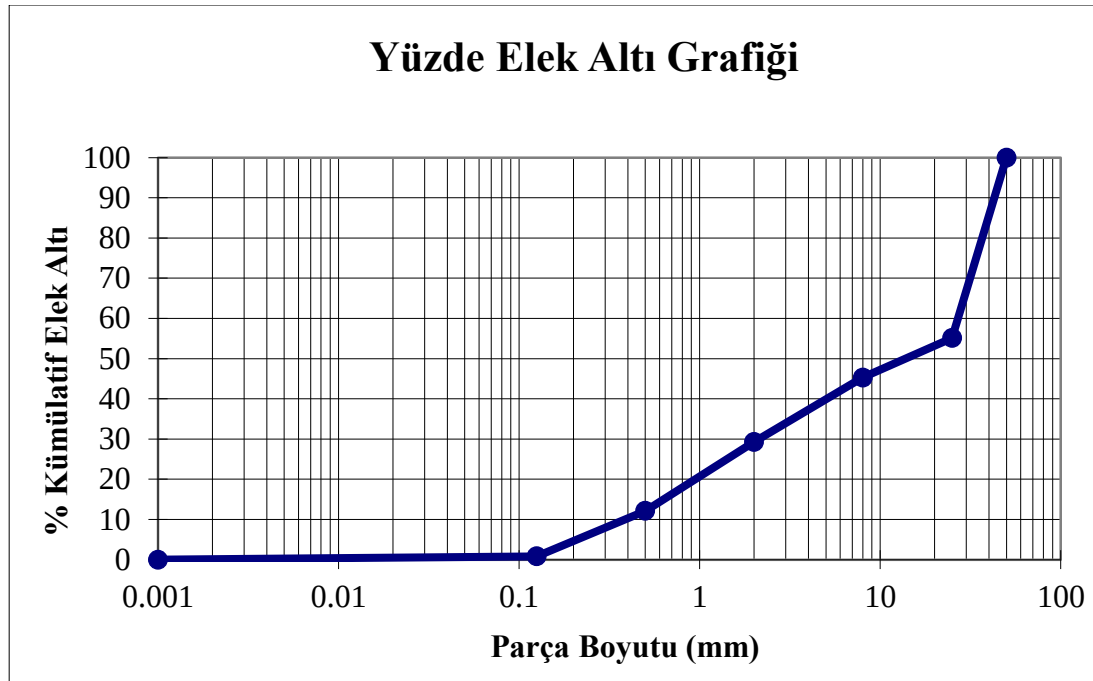
Çizelge C.14 : Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	943.74	38.15	943.74	38.2	466
2	-25 + 8	320.95	12.98	1264.69	51.1	
3	-8 + 2	474.03	19.16	1738.72	70.3	
4	-2 + 0.5	427.59	17.29	2166.31	87.6	
5	-0.5 + 0.125	278.63	11.26	2444.94	98.8	
6	-0.125	28.65	1.16	2473.59	100.0	



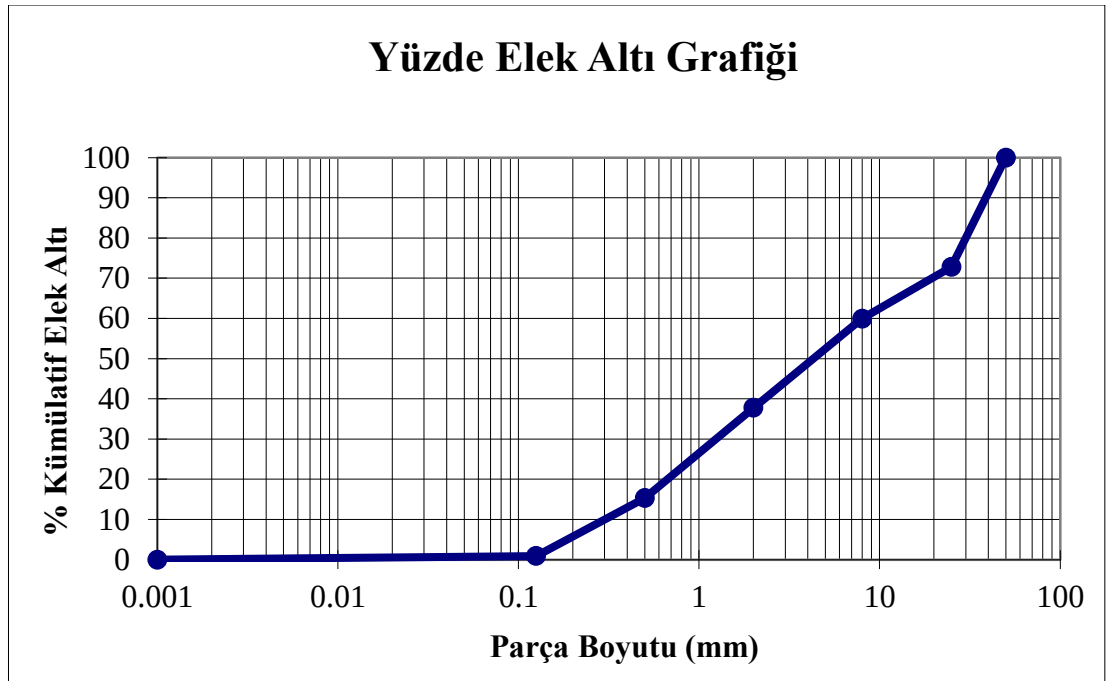
Çizelge C.15 : Küfeki kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	1366.14	44.88	1366.14	44.9	457
2	-25 + 8	299.14	9.83	1665.28	54.7	
3	-8 + 2	486.43	15.98	2151.71	70.7	
4	-2 + 0.5	522.8	17.18	2674.51	87.9	
5	-0.5 + 0.125	343.52	11.29	3018.03	99.2	
6	-0.125	25.86	0.85	3043.89	100.0	



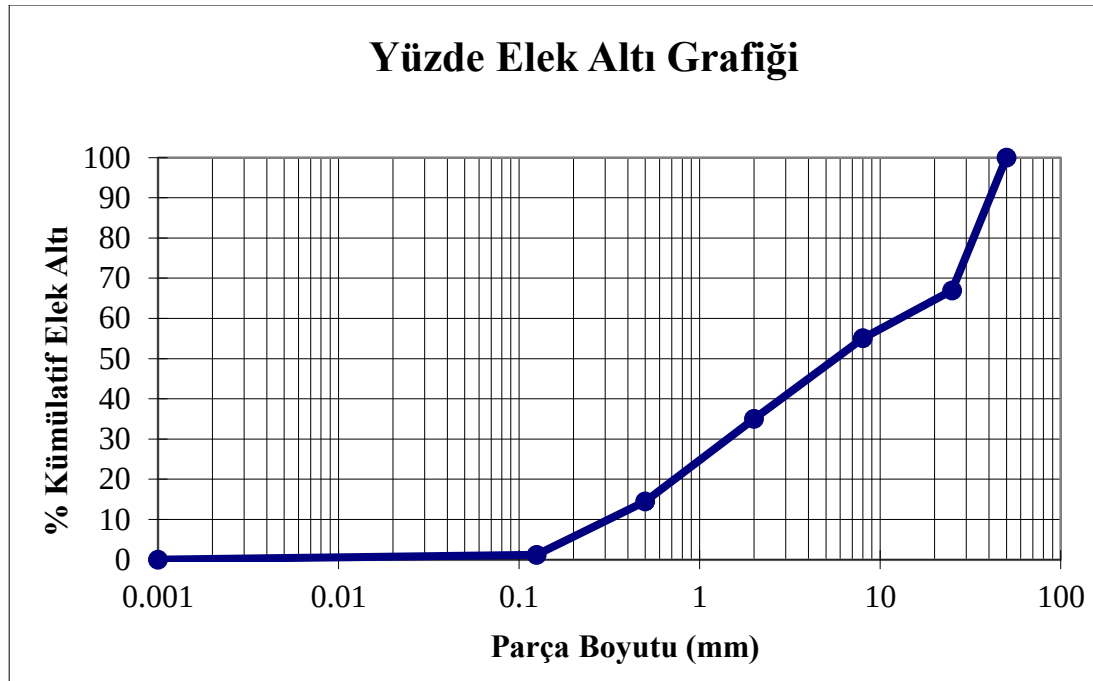
Çizelge C.16 : Küfeki kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	500.89	27.19	500.89	27.2	413
2	-25 + 8	236.63	12.85	737.52	40.0	
3	-8 + 2	408.55	22.18	1146.07	62.2	
4	-2 + 0.5	413.89	22.47	1559.96	84.7	
5	-0.5 + 0.125	265.01	14.39	1824.97	99.1	
6	-0.125	17.09	0.93	1842.06	100.0	



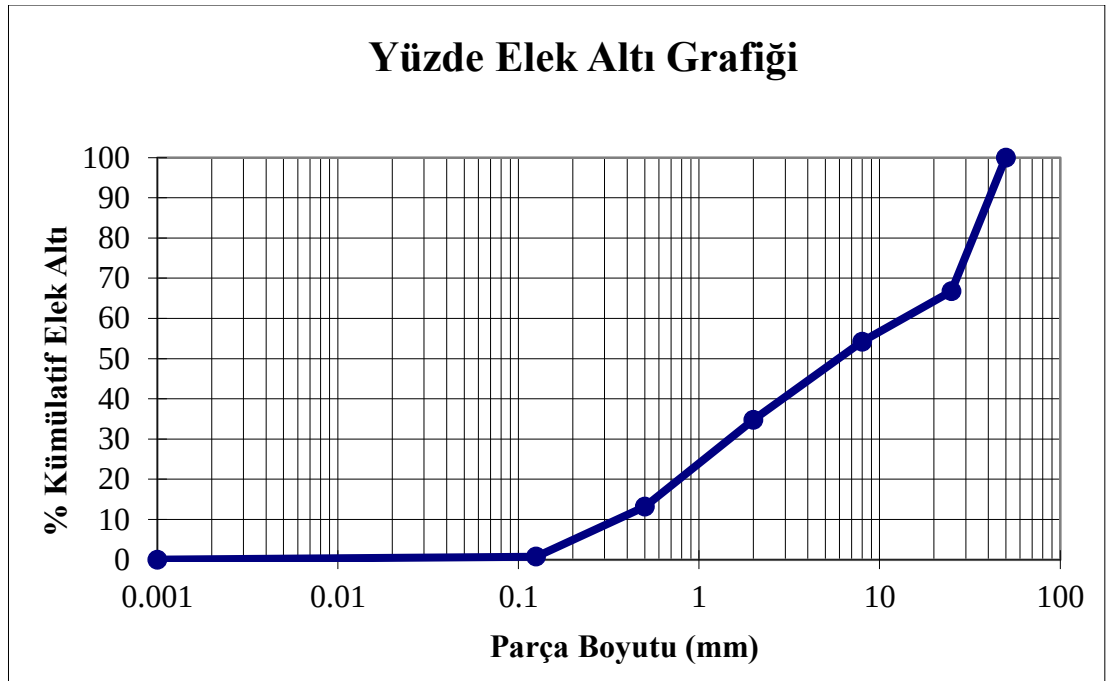
Çizelge C.17 : Küfeki kireçtaşı için 9 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	978.07	33.06	978.07	33.1	427
2	-25 + 8	352.24	11.91	1330.31	45.0	
3	-8 + 2	592.23	20.02	1922.54	65.0	
4	-2 + 0.5	607.71	20.54	2530.25	85.5	
5	-0.5 + 0.125	393.29	13.29	2923.54	98.8	
6	-0.125	35.03	1.18	2958.57	100.0	



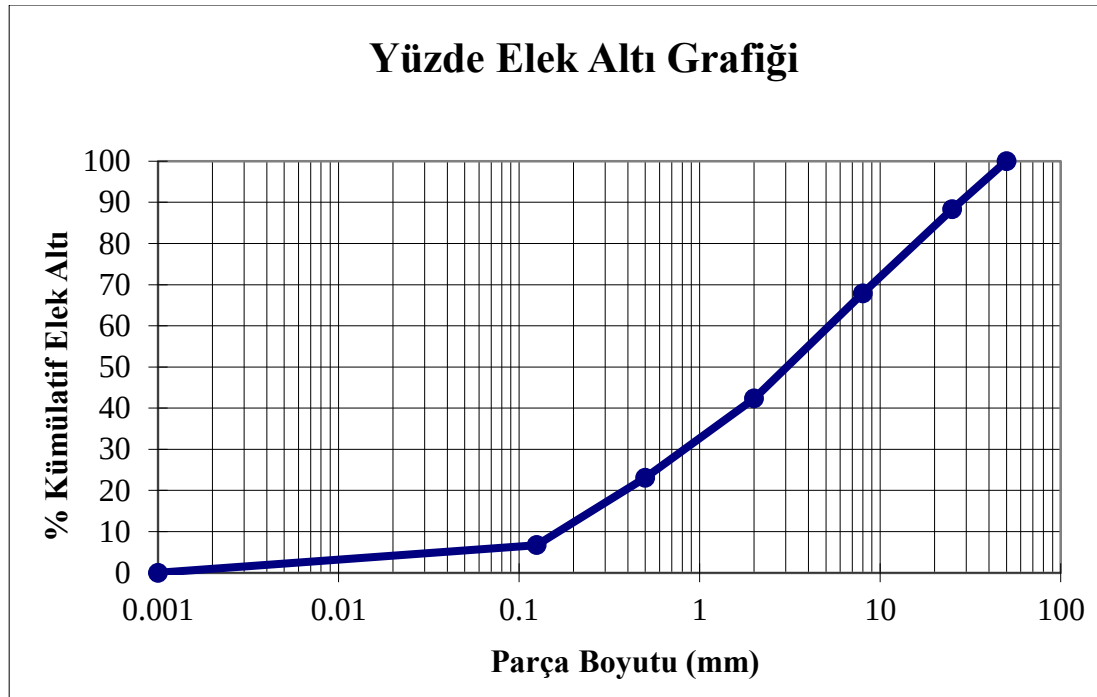
Çizelge C.18 : Küfeki kireçtaşı için 9 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	1134.62	33.24	1134.62	33.2	430
2	-25 + 8	428.24	12.55	1562.86	45.8	
3	-8 + 2	662.74	19.42	2225.60	65.2	
4	-2 + 0.5	738.24	21.63	2963.84	86.8	
5	-0.5 + 0.125	423.47	12.41	3387.31	99.2	
6	-0.125	26.2	0.77	3413.51	100.0	



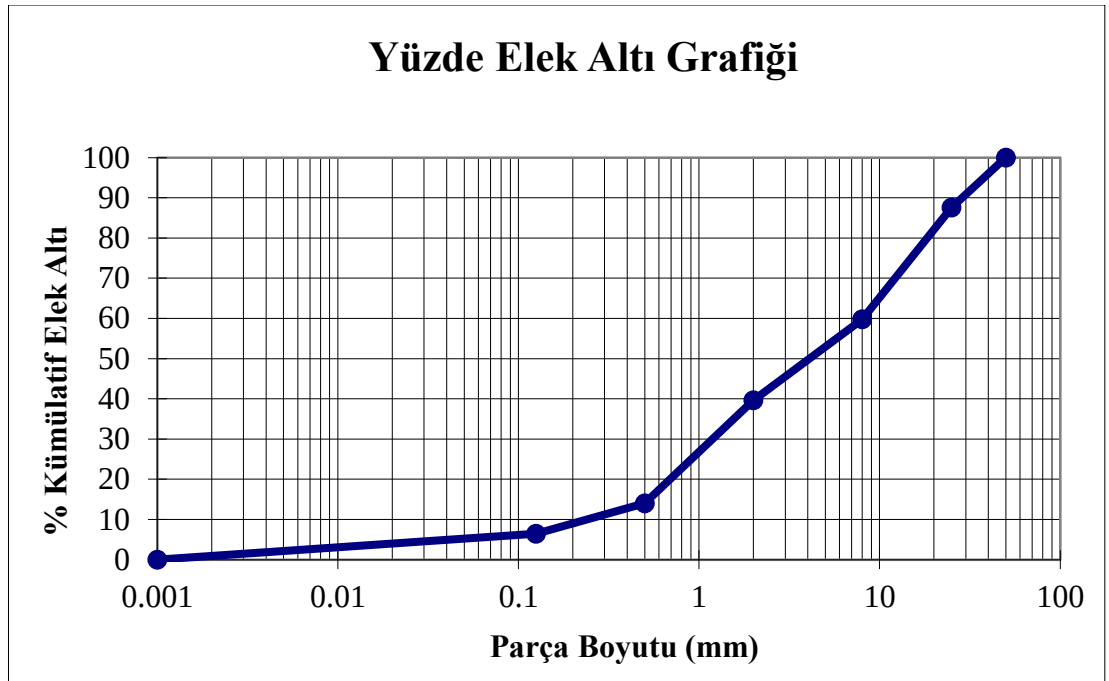
Çizelge C.19 : Kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	120.25	11.68	120.25	11.7	372
2	-25 + 8	210.23	20.42	330.48	32.1	
3	-8 + 2	263.02	25.55	593.50	57.7	
4	-2 + 0.5	198.36	19.27	791.86	76.9	
5	-0.5 + 0.125	168.2	16.34	960.06	93.3	
6	-0.125	69.25	6.73	1029.31	100.0	



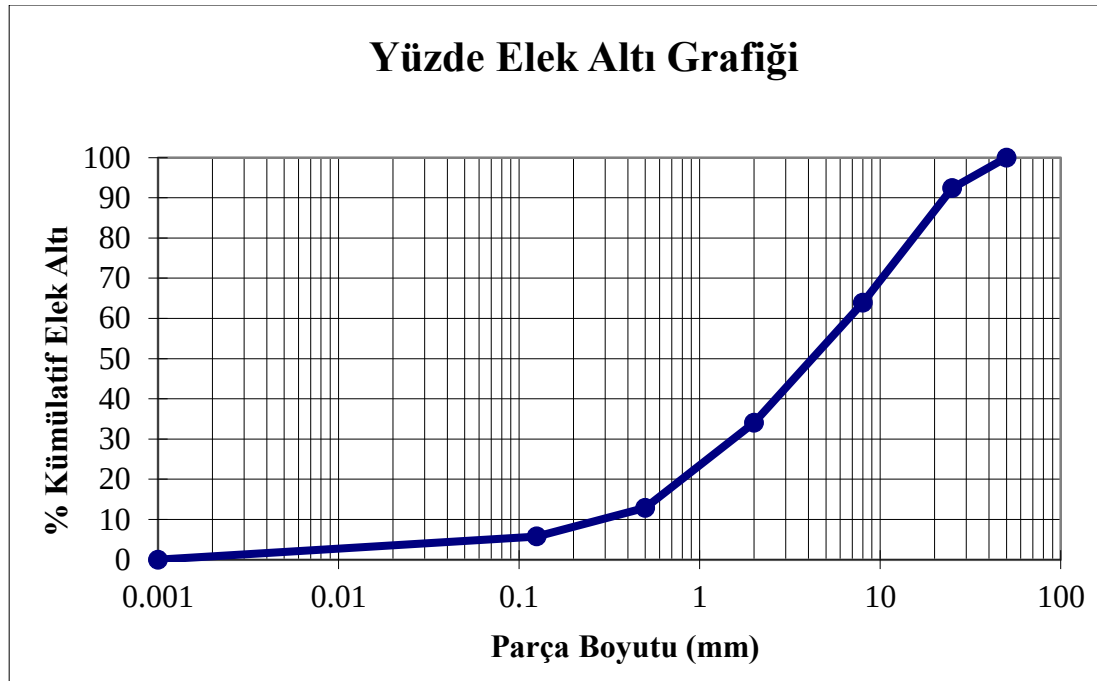
Çizelge C.20 : Kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	128.14	12.48	128.14	12.5	393
2	-25 + 8	285.26	27.79	413.40	40.3	
3	-8 + 2	206.28	20.09	619.68	60.4	
4	-2 + 0.5	262.95	25.62	882.63	86.0	
5	-0.5 + 0.125	77.63	7.56	960.26	93.5	
6	-0.125	66.28	6.46	1026.54	100.0	



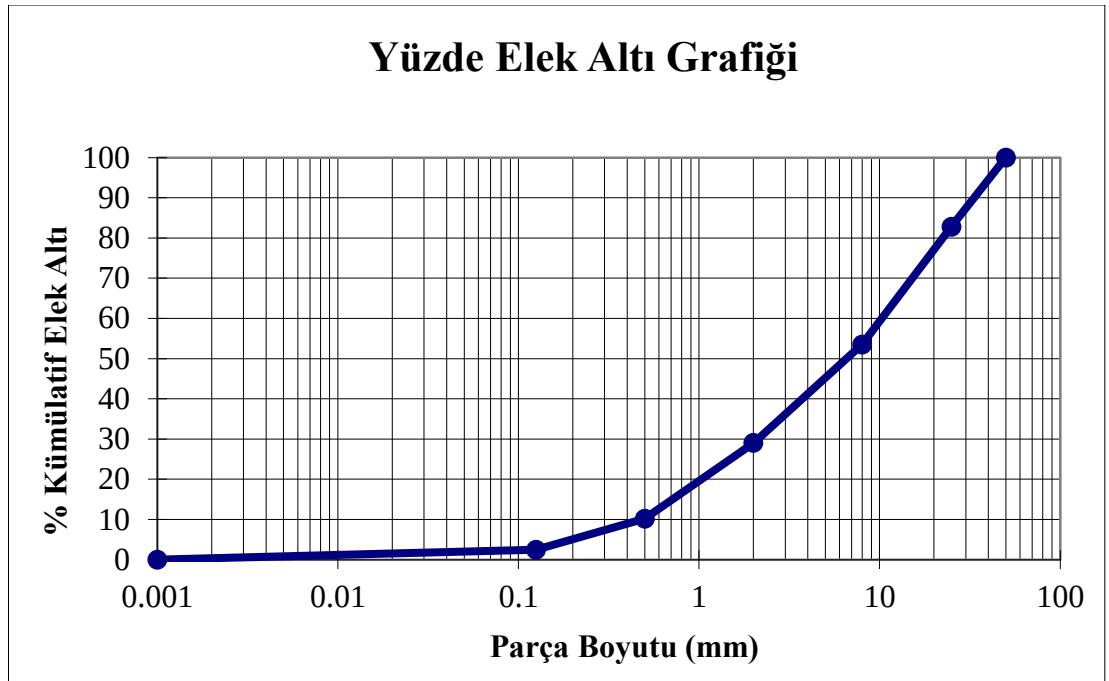
Çizelge C.21 : Kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	108.63	7.63	108.63	7.6	391
2	-25 + 8	405.63	28.50	514.26	36.1	
3	-8 + 2	424.25	29.81	938.51	65.9	
4	-2 + 0.5	301.35	21.17	1239.86	87.1	
5	-0.5 + 0.125	101.39	7.12	1341.25	94.2	
6	-0.125	82.03	5.76	1423.28	100.0	



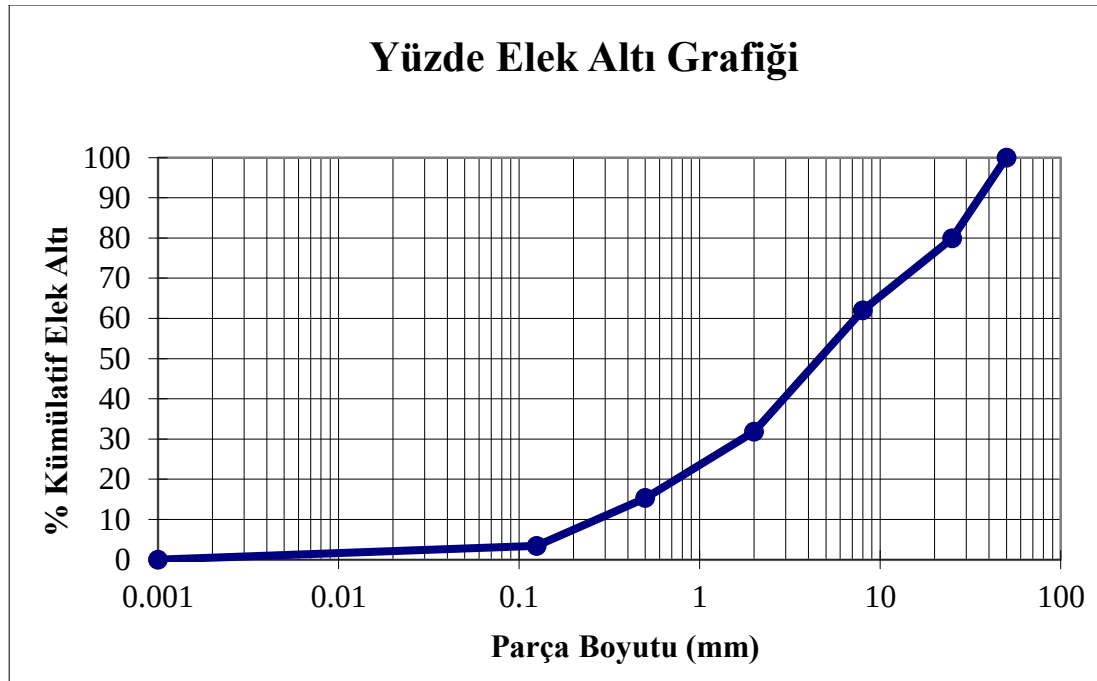
Çizelge C.22 : Kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	378.56	17.22	378.56	17.2	422
2	-25 + 8	643.23	29.26	1021.79	46.5	
3	-8 + 2	538.57	24.50	1560.36	71.0	
4	-2 + 0.5	413.48	18.81	1973.84	89.8	
5	-0.5 + 0.125	169.97	7.73	2143.81	97.5	
6	-0.125	54.15	2.46	2197.96	100.0	



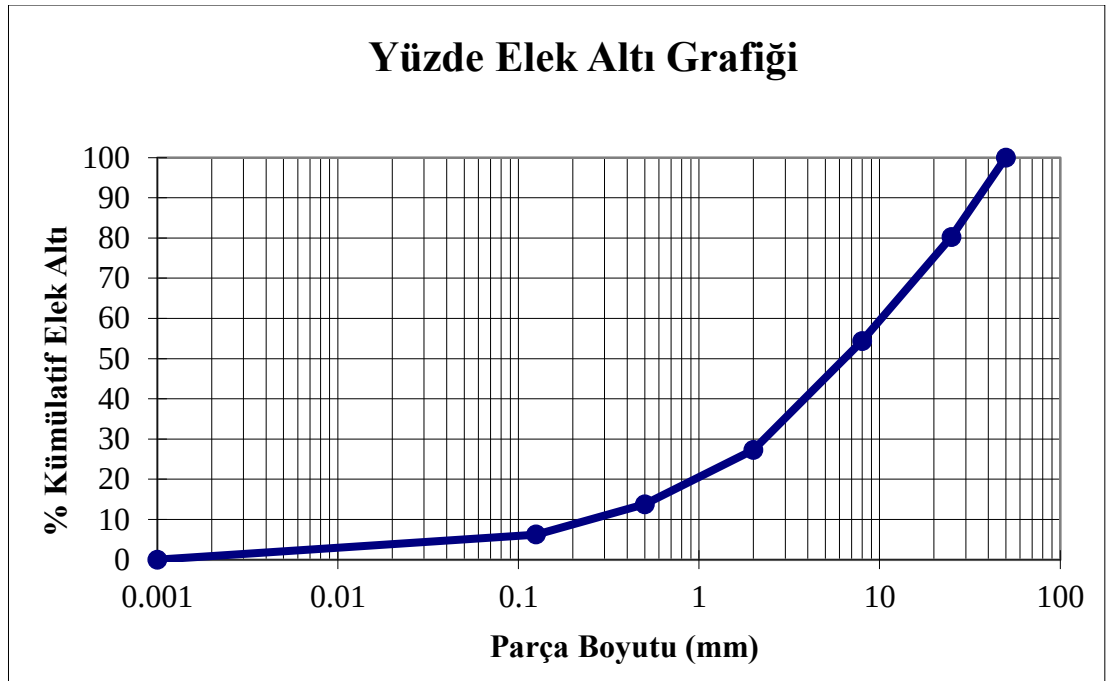
Çizelge C.23 : Kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	408.23	20.12	408.23	20.1	408
2	-25 + 8	362.36	17.86	770.59	38.0	
3	-8 + 2	612.25	30.18	1382.84	68.2	
4	-2 + 0.5	334.84	16.50	1717.68	84.7	
5	-0.5 + 0.125	241.96	11.93	1959.64	96.6	
6	-0.125	69.1	3.41	2028.74	100.0	



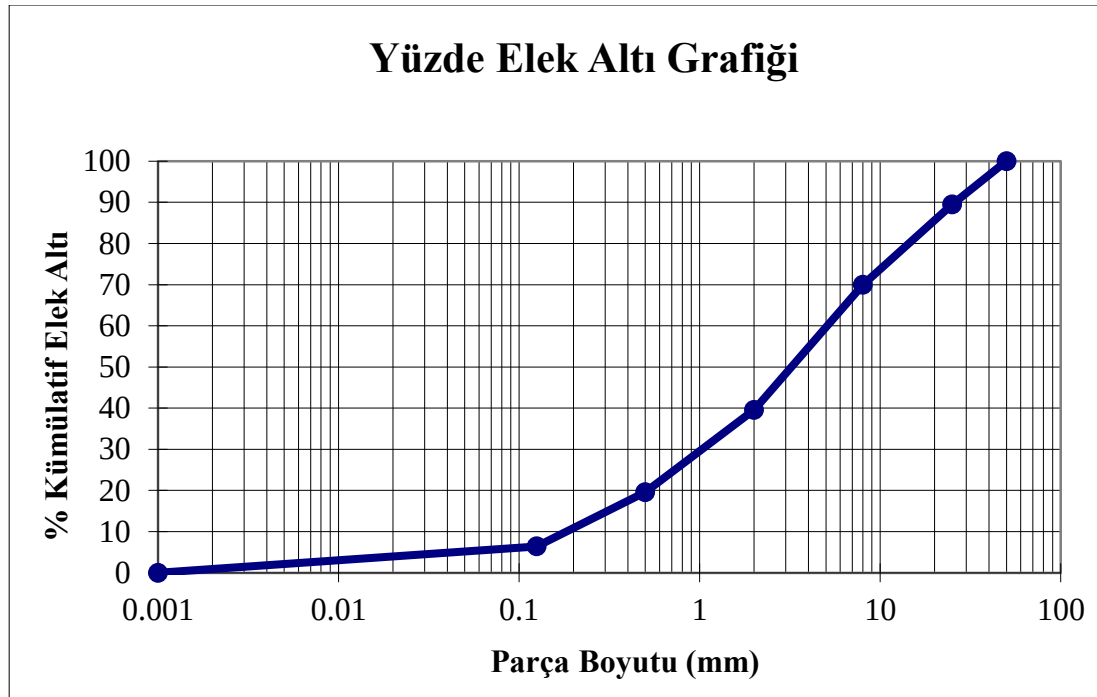
Çizelge C.24 : Kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	587.63	19.75	587.63	19.8	418
2	-25 + 8	769.58	25.87	1357.21	45.6	
3	-8 + 2	805.25	27.07	2162.46	72.7	
4	-2 + 0.5	403.21	13.55	2565.67	86.2	
5	-0.5 + 0.125	223.25	7.50	2788.92	93.7	
6	-0.125	186.32	6.26	2975.24	100.0	



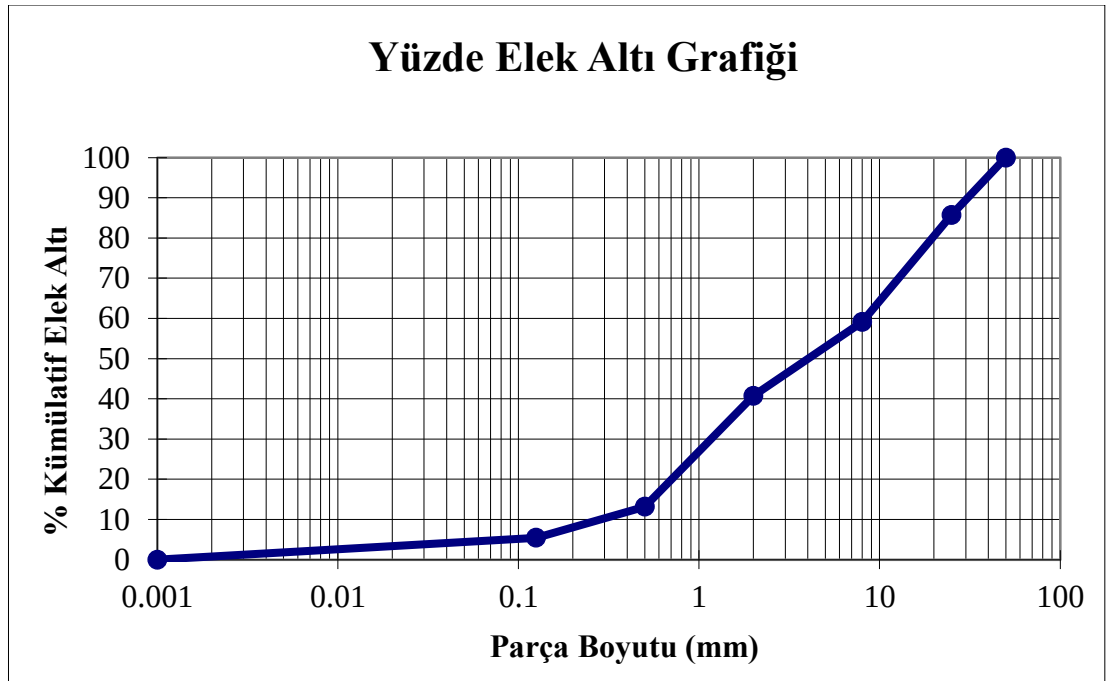
Çizelge C.25 : Kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	100.25	10.52	100.25	10.5	375
2	-25 + 8	186.36	19.55	286.61	30.1	
3	-8 + 2	289.45	30.37	576.06	60.4	
4	-2 + 0.5	190.62	20.00	766.68	80.4	
5	-0.5 + 0.125	125.63	13.18	892.31	93.6	
6	-0.125	60.85	6.38	953.16	100.0	



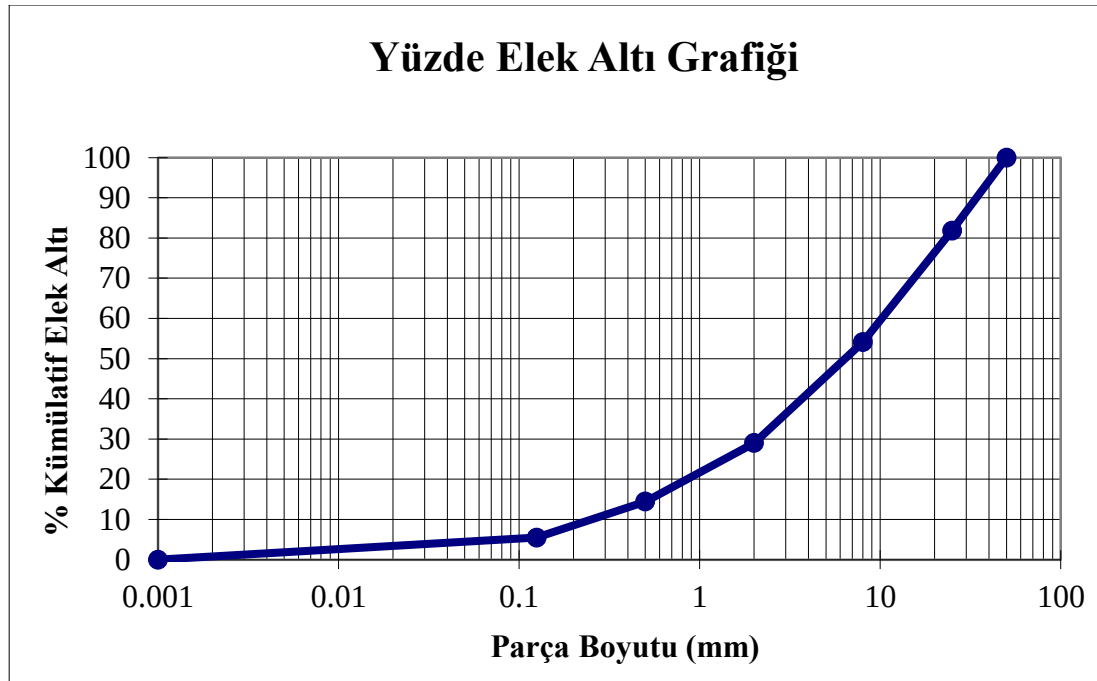
Çizelge C.26 : Kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	159.21	14.31	159.21	14.3	396
2	-25 + 8	295.63	26.57	454.84	40.9	
3	-8 + 2	204.21	18.35	659.05	59.2	
4	-2 + 0.5	307.21	27.61	966.26	86.8	
5	-0.5 + 0.125	85.63	7.70	1051.89	94.5	
6	-0.125	60.74	5.46	1112.63	100.0	



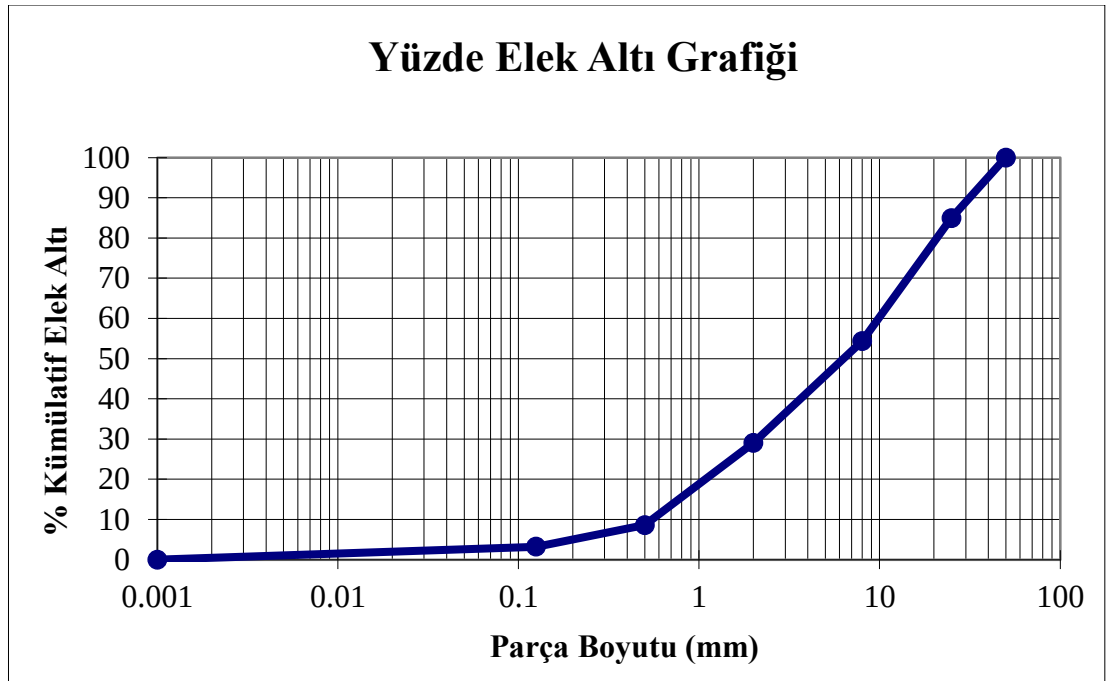
Çizelge C.27 : Kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	259.65	18.16	259.65	18.2	415
2	-25 + 8	396.56	27.74	656.21	45.9	
3	-8 + 2	358.52	25.08	1014.73	71.0	
4	-2 + 0.5	208.41	14.58	1223.14	85.6	
5	-0.5 + 0.125	127.58	8.93	1350.72	94.5	
6	-0.125	78.69	5.51	1429.41	100.0	



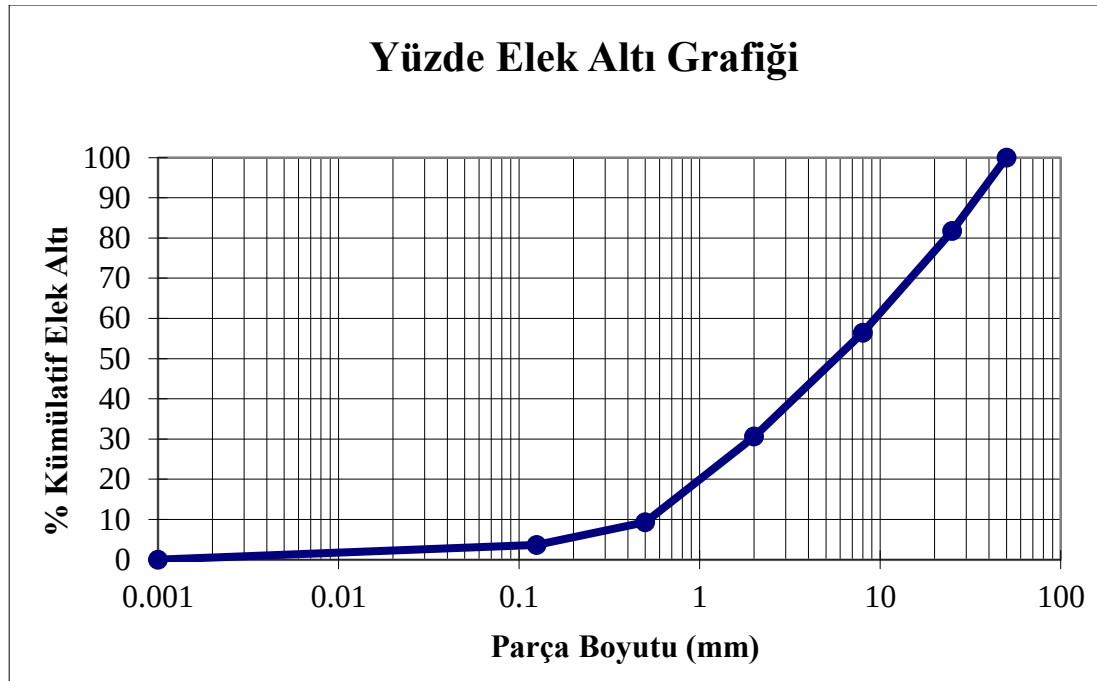
Çizelge C.28 : Kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	388.69	15.06	388.69	15.1	420
2	-25 + 8	789.653	30.60	1178.34	45.7	
3	-8 + 2	652.78	25.30	1831.12	71.0	
4	-2 + 0.5	527.94	20.46	2359.06	91.4	
5	-0.5 + 0.125	138.52	5.37	2497.58	96.8	
6	-0.125	82.89	3.21	2580.47	100.0	



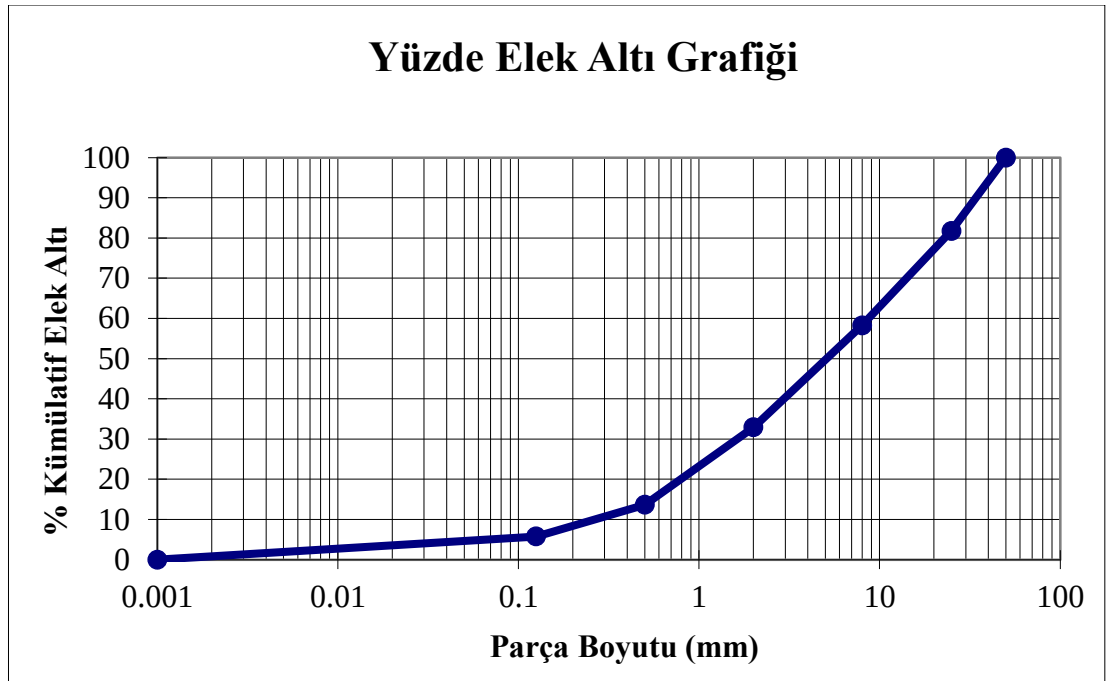
Çizelge C.29 : Kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımsız LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	628.96	18.28	628.96	18.3	418
2	-25 + 8	869.54	25.27	1498.50	43.6	
3	-8 + 2	889.62	25.85	2388.12	69.4	
4	-2 + 0.5	732.12	21.28	3120.24	90.7	
5	-0.5 + 0.125	195.23	5.67	3315.47	96.4	
6	-0.125	125.36	3.64	3440.83	100.0	



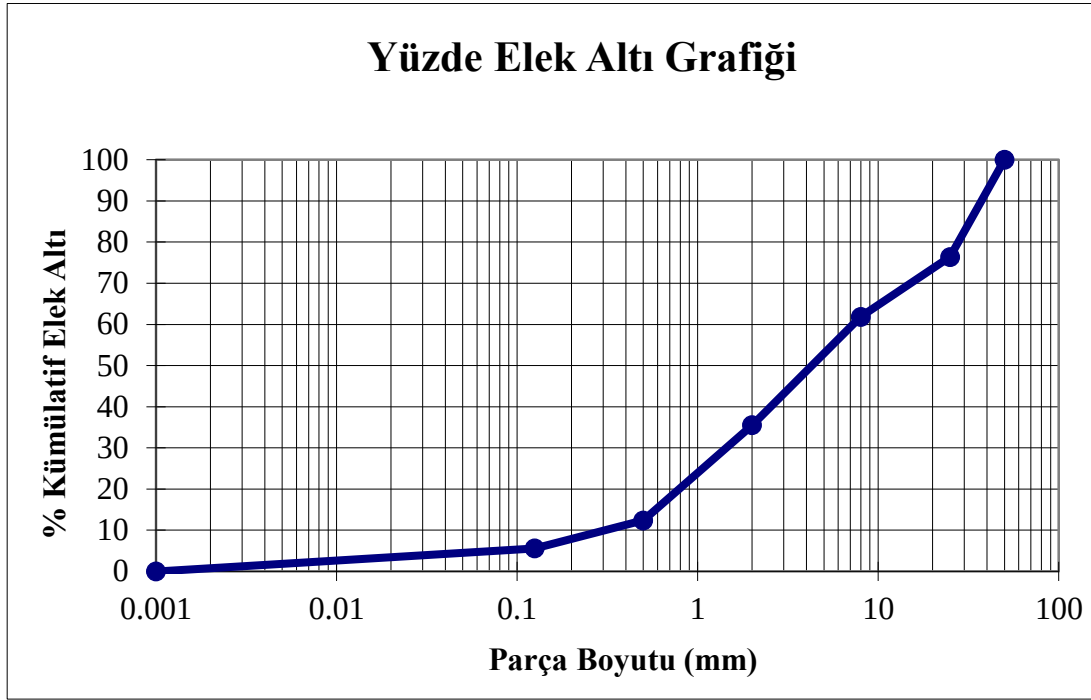
Çizelge C.30 : Kireçtaşı için 7 mm kesme derinliğinde yardımcı LCM kaya kesme deneyi elek analizi.

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+25	286.32	18.23	286.32	18.2	408
2	-25 + 8	369.21	23.51	655.53	41.7	
3	-8 + 2	398.14	25.35	1053.67	67.1	
4	-2 + 0.5	302.52	19.26	1356.19	86.4	
5	-0.5 + 0.125	123.69	7.88	1479.88	94.2	
6	-0.125	90.63	5.77	1570.51	100.0	



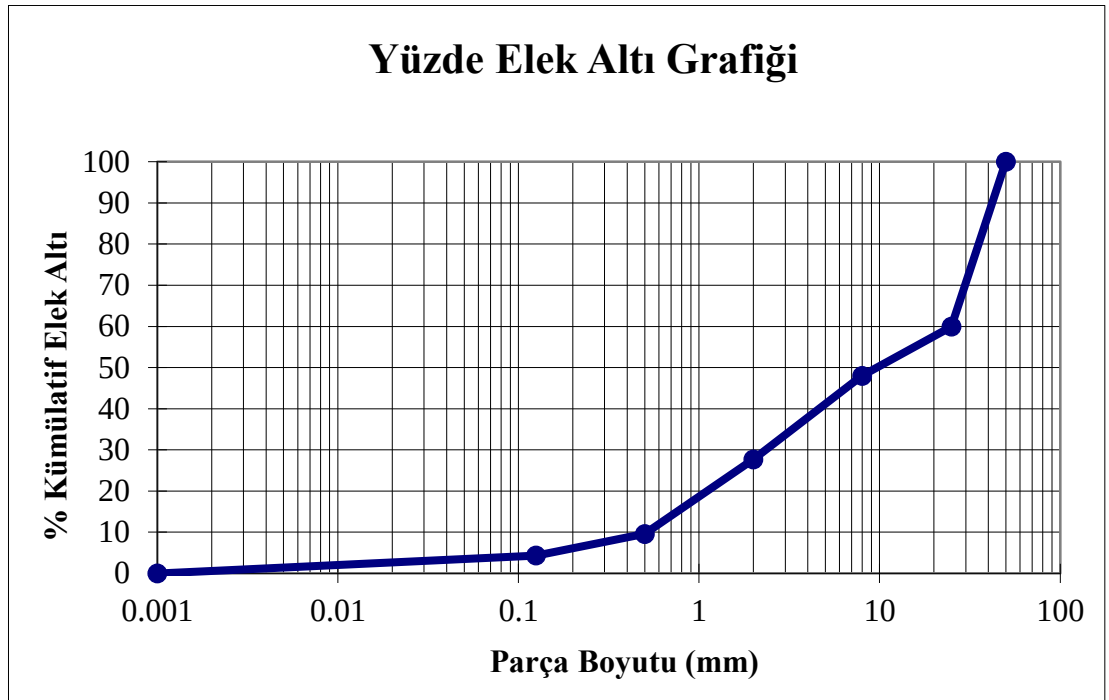
Çizelge C.31 : Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	7.8	23.59	7.80	23.6	507
2	-5.6 + 4	4.82	14.58	12.62	38.2	
3	-4 + 2	8.7	26.31	21.32	64.5	
4	-2 + 1	7.65	23.13	28.97	87.6	
5	-1 + 0.5	2.25	6.80	31.22	94.4	
6	-0.5 + 0.125	3.63	10.98	32.60	98.6	
7	-0.125	1.85	5.59	33.07	100.0	



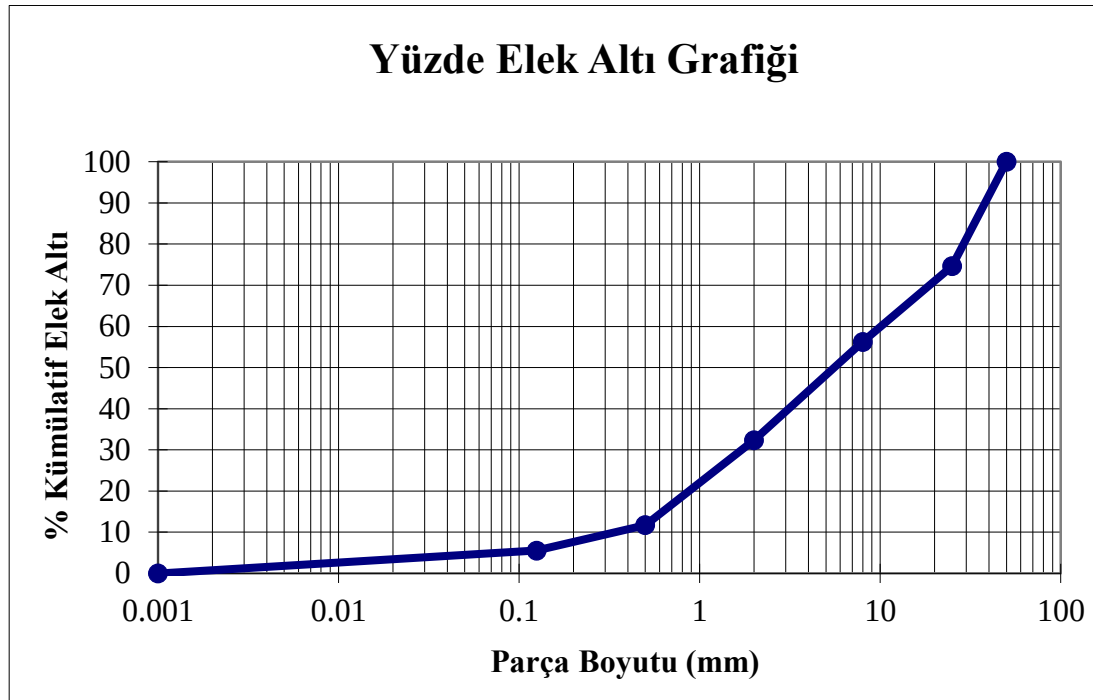
Çizelge C.32 : Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	18.46	40.05	18.46	40.1	549
2	-5.6 + 4	5.51	11.95	23.97	52.0	
3	-4 + 2	9.34	20.26	33.31	72.3	
4	-2 + 1	8.36	18.14	41.67	90.4	
5	-1 + 0.5	2.42	5.25	44.09	95.7	
6	-0.5 + 0.125	3.9	8.46	45.57	98.9	
7	-0.125	2	4.34	46.09	100.0	



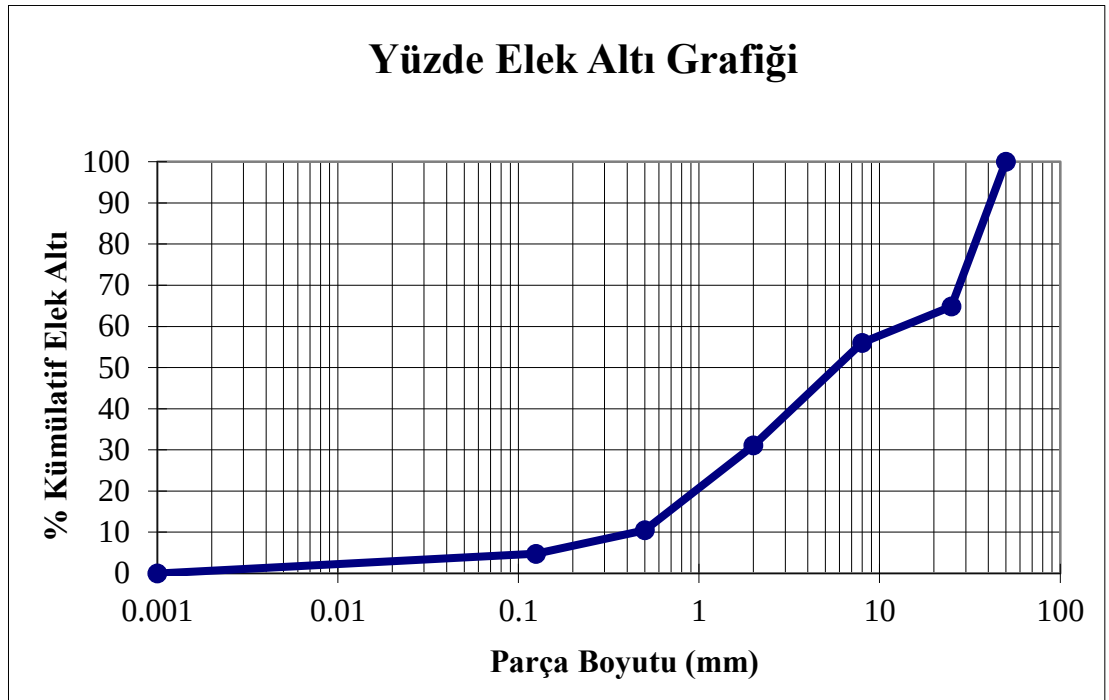
Çizelge C.33 : Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	37.19	25.33	37.19	25.3	517
2	-5.6 + 4	27.03	18.41	64.22	43.7	
3	-4 + 2	35.09	23.90	99.31	67.6	
4	-2 + 1	30.3	20.64	129.61	88.3	
5	-1 + 0.5	9.09	6.19	138.70	94.5	
6	-0.5 + 0.125	13.55	9.23	143.16	97.5	
7	-0.125	8.12	5.53	146.82	100.0	



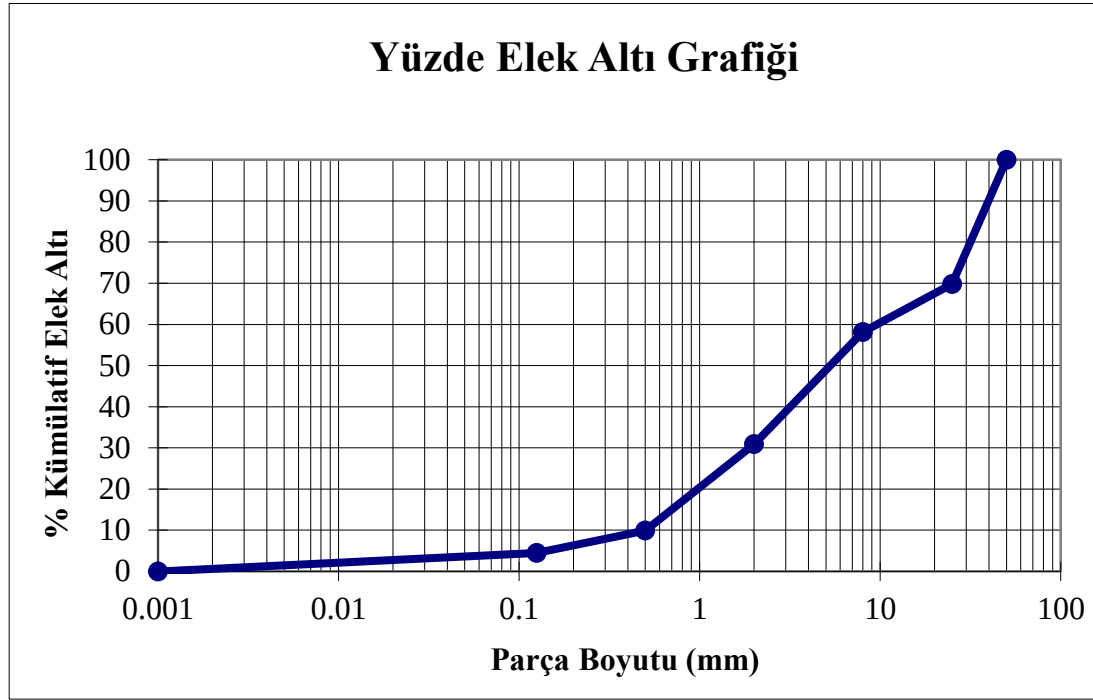
Çizelge C.34 : Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	36.91	35.15	36.91	35.1	530
2	-5.6 + 4	9.28	8.84	46.19	44.0	
3	-4 + 2	26.16	24.91	72.35	68.9	
4	-2 + 1	21.64	20.61	93.99	89.5	
5	-1 + 0.5	6.01	5.72	100.00	95.2	
6	-0.5 + 0.125	8.6	8.19	102.59	97.7	
7	-0.125	5.02	4.78	105.02	100.0	



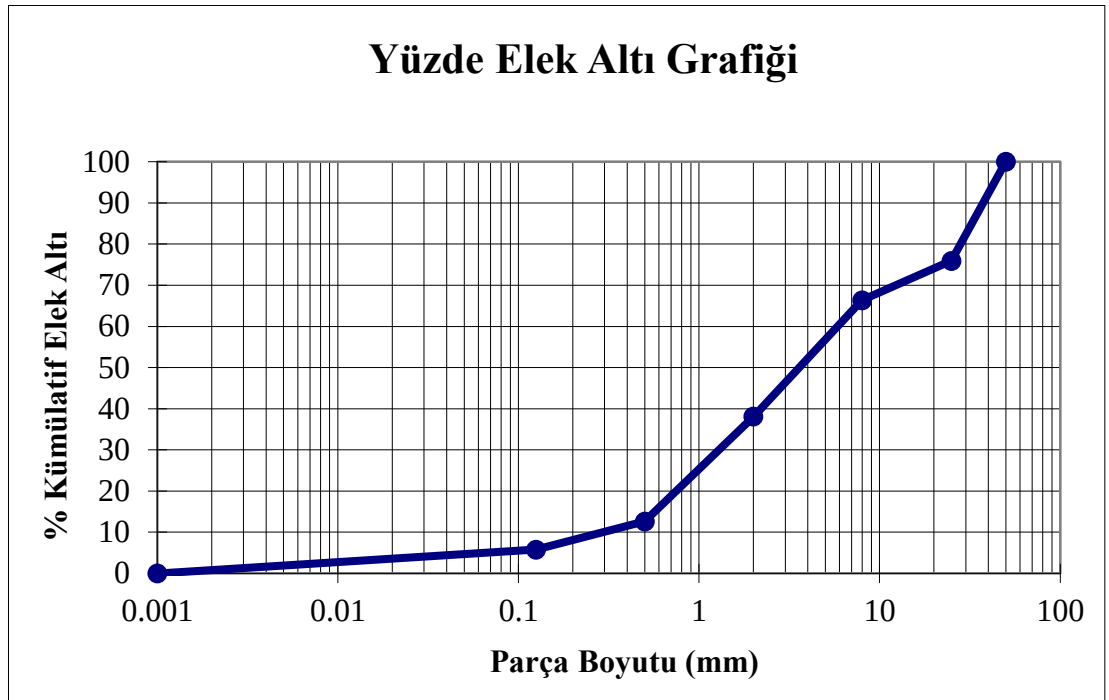
Çizelge C.35 : Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	52.79	30.17	52.79	30.2	524
2	-5.6 + 4	20.45	11.69	73.24	41.9	
3	-4 + 2	47.59	27.20	120.83	69.0	
4	-2 + 1	36.74	21.00	157.57	90.0	
5	-1 + 0.5	9.54	5.45	167.11	95.5	
6	-0.5 + 0.125	12.96	7.41	170.53	97.5	
7	-0.125	7.88	4.50	174.99	100.0	



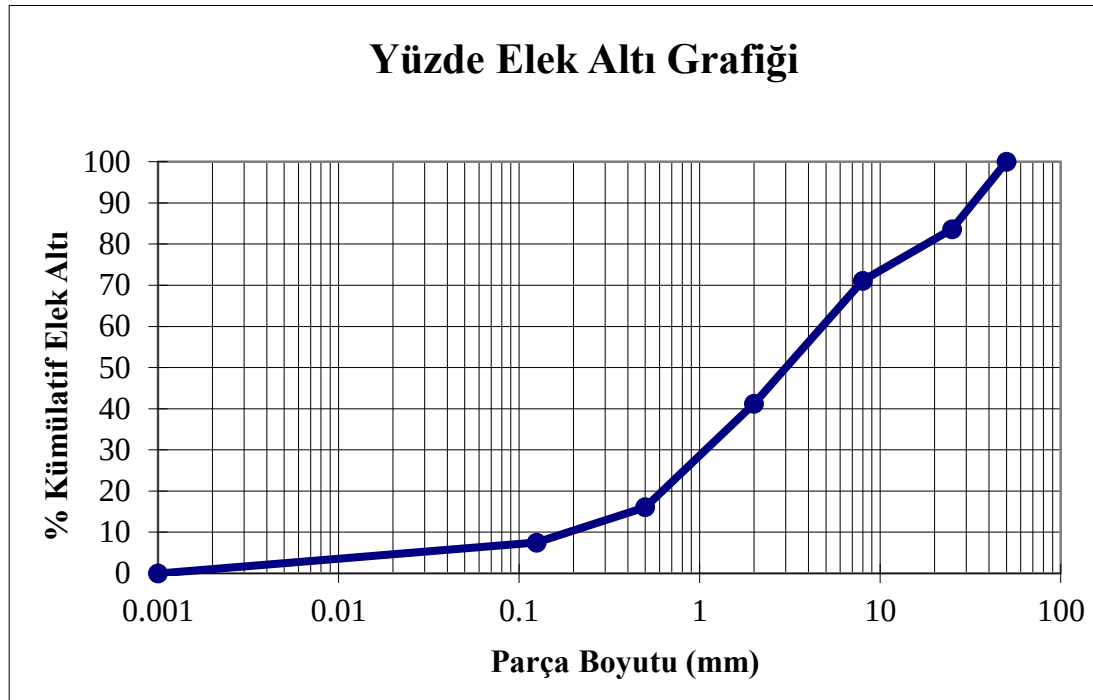
Çizelge C.36 : Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	34.78	24.07	34.78	24.1	499
2	-5.6 + 4	13.8	9.55	48.58	33.6	
3	-4 + 2	40.88	28.29	89.46	61.9	
4	-2 + 1	36.8	25.47	126.26	87.4	
5	-1 + 0.5	9.89	6.84	136.15	94.2	
6	-0.5 + 0.125	14.55	10.07	140.81	97.5	
7	-0.125	8.34	5.77	144.49	100.0	



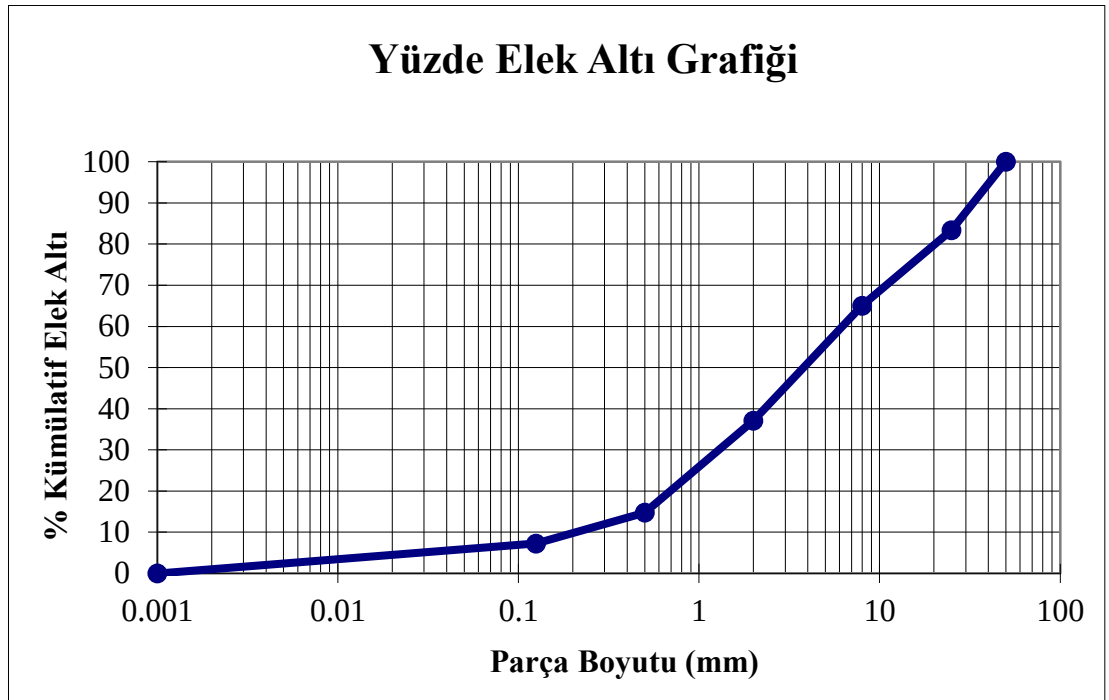
Çizelge C.37 : Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	1.75	16.37	1.75	16.4	479
2	-5.6 + 4	1.34	12.54	3.09	28.9	
3	-4 + 2	3.19	29.84	6.28	58.7	
4	-2 + 1	2.69	25.16	8.97	83.9	
5	-1 + 0.5	0.92	8.61	9.89	92.5	
6	-0.5 + 0.125	1.59	14.87	10.56	98.8	
7	-0.125	0.8	7.48	10.69	100.0	



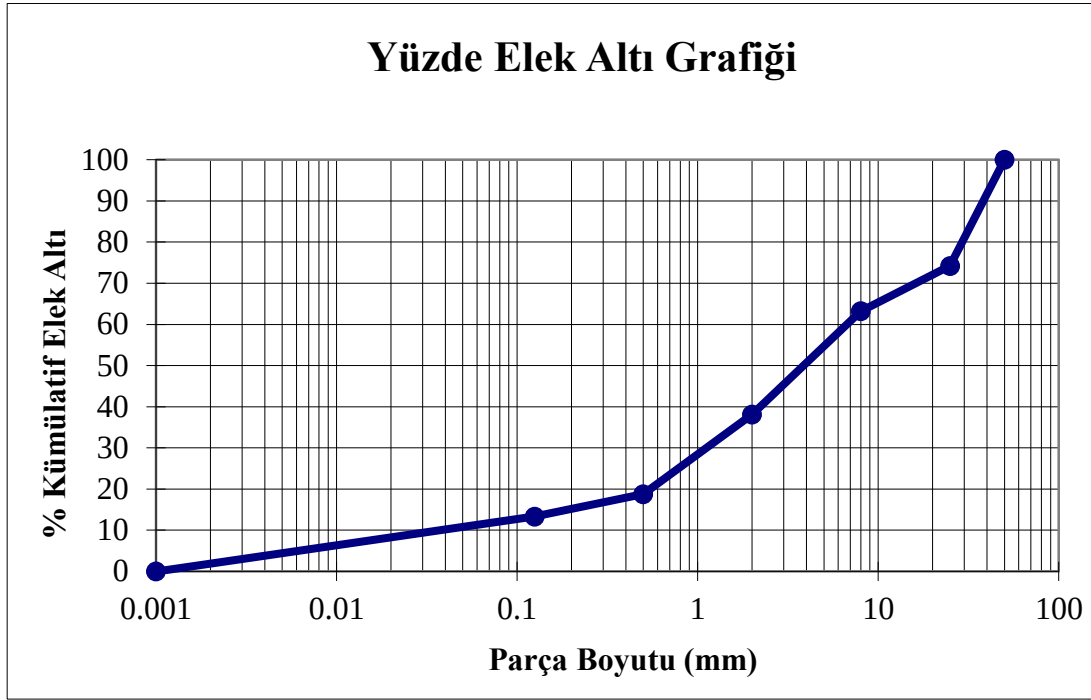
Çizelge C.38 : Bej mermer için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	2.29	16.64	2.29	16.6	489
2	-5.6 + 4	2.52	18.31	4.81	35.0	
3	-4 + 2	3.84	27.91	8.65	62.9	
4	-2 + 1	3.08	22.38	11.73	85.2	
5	-1 + 0.5	1.03	7.49	12.76	92.7	
6	-0.5 + 0.125	1.57	11.41	13.30	96.7	
7	-0.125	1	7.27	13.76	100.0	



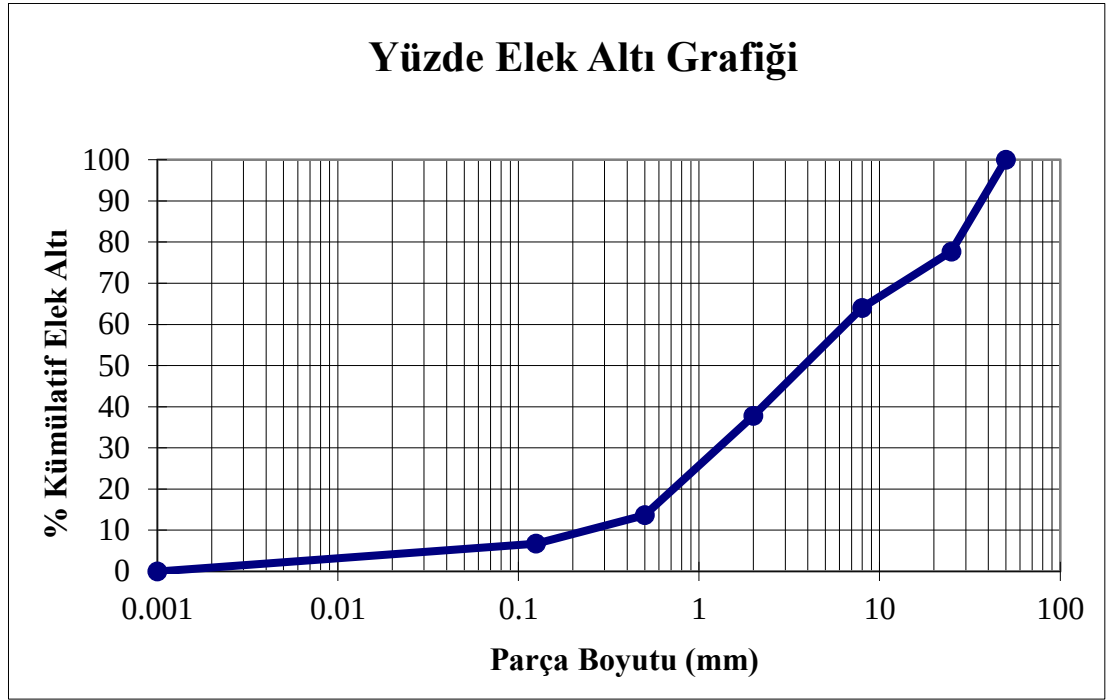
Çizelge C.39 : Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	14.62	25.77	14.62	25.8	483
2	-5.6 + 4	6.26	11.03	20.88	36.8	
3	-4 + 2	14.23	25.08	35.11	61.9	
4	-2 + 1	10.98	19.35	46.09	81.2	
5	-1 + 0.5	3.08	5.43	49.17	86.7	
6	-0.5 + 0.125	5.29	9.32	51.38	90.6	
7	-0.125	7.57	13.34	56.74	100.0	



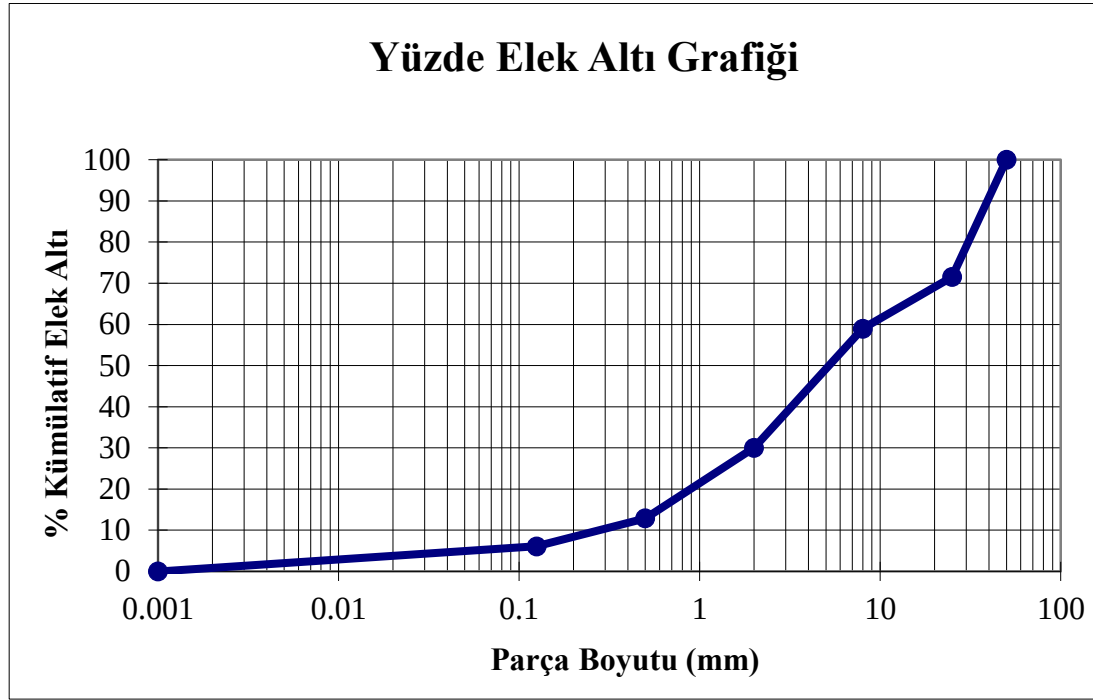
Çizelge C.40 : Bej mermer için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	16.71	22.29	16.71	22.3	496
2	-5.6 + 4	10.24	13.66	26.95	36.0	
3	-4 + 2	19.67	26.24	46.62	62.2	
4	-2 + 1	18.09	24.13	64.71	86.3	
5	-1 + 0.5	5.19	6.92	69.90	93.2	
6	-0.5 + 0.125	7.26	9.69	71.97	96.0	
7	-0.125	5.06	6.75	74.96	100.0	



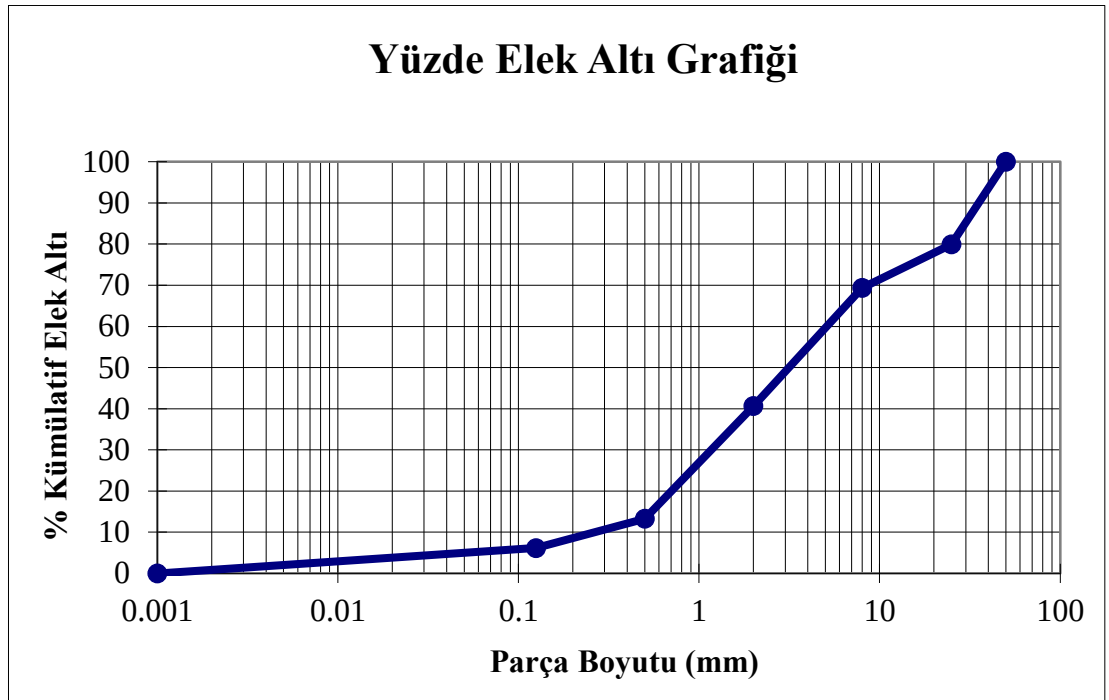
Çizelge C.41 : Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	33.48	28.46	33.48	28.5	516
2	-5.6 + 4	14.77	12.56	48.25	41.0	
3	-4 + 2	34.05	28.95	82.30	70.0	
4	-2 + 1	20.14	17.12	102.44	87.1	
5	-1 + 0.5	8.04	6.84	110.48	93.9	
6	-0.5 + 0.125	10.33	8.78	112.77	95.9	
7	-0.125	7.14	6.07	117.62	100.0	



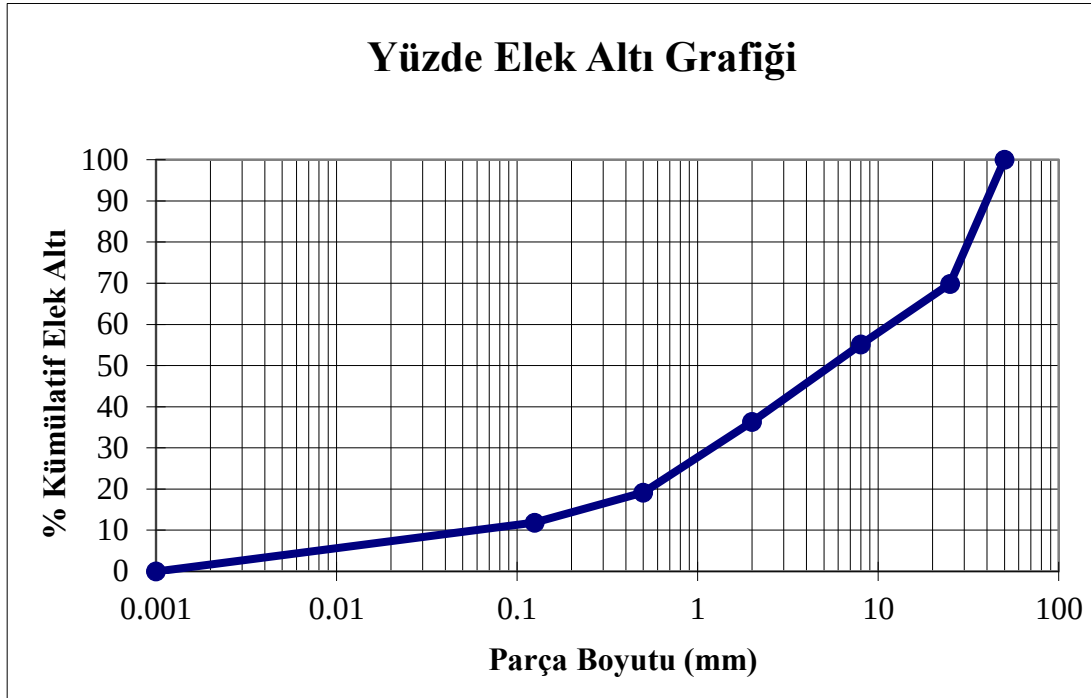
Çizelge C.42 : Bej mermer için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	19.12	20.07	19.12	20.1	487
2	-5.6 + 4	10.08	10.58	29.20	30.6	
3	-4 + 2	27.34	28.70	56.54	59.3	
4	-2 + 1	26.06	27.35	82.60	86.7	
5	-1 + 0.5	6.78	7.12	89.38	93.8	
6	-0.5 + 0.125	9.08	9.53	91.68	96.2	
7	-0.125	5.89	6.18	95.27	100.0	



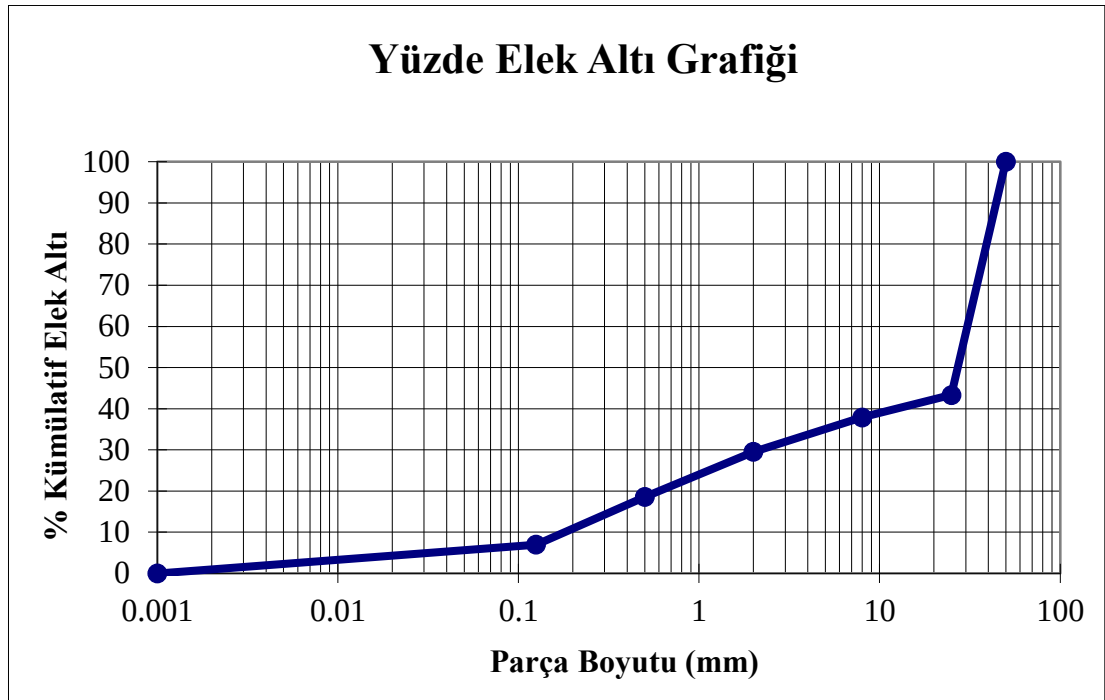
Çizelge C.43 : Traverten için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	3.05	30.14	3.05	30.1	507
2	-5.6 + 4	1.49	14.72	4.54	44.9	
3	-4 + 2	1.9	18.77	6.44	63.6	
4	-2 + 1	1.74	17.19	8.18	80.8	
5	-1 + 0.5	0.74	7.31	8.92	88.1	
6	-0.5 + 0.125	1.92	18.97	10.10	99.8	
7	-0.125	1.2	11.86	10.12	100.0	



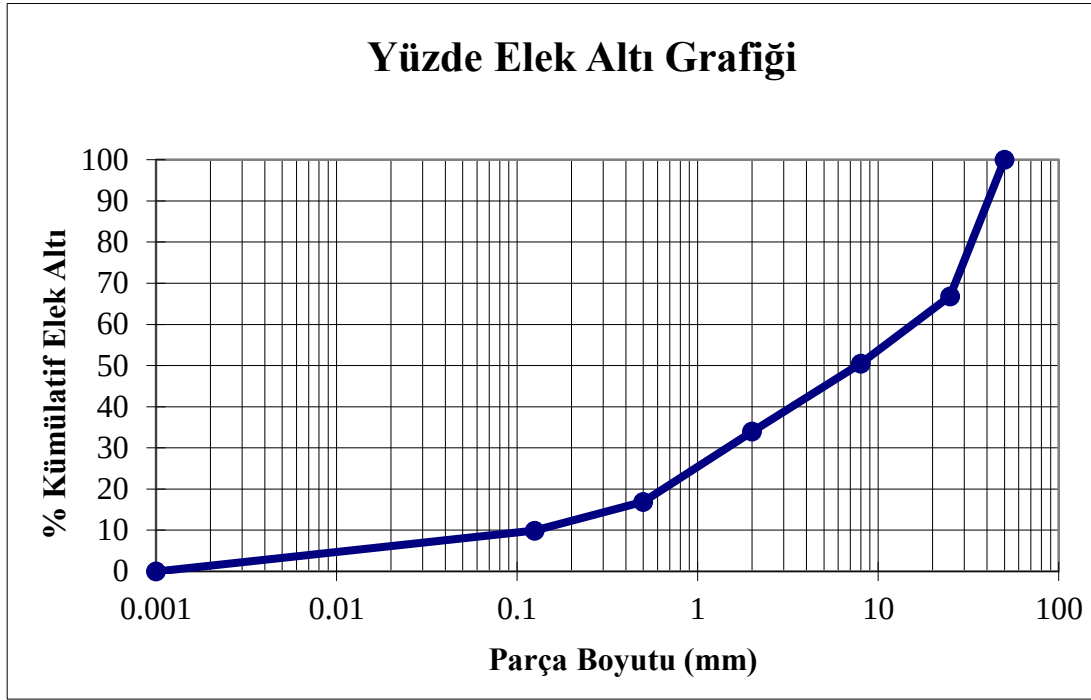
Çizelge C.44 : Traverten için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	13.26	56.67	13.26	56.7	555
2	-5.6 + 4	1.27	5.43	14.53	62.1	
3	-4 + 2	1.96	8.38	16.49	70.5	
4	-2 + 1	2.56	10.94	19.05	81.4	
5	-1 + 0.5	2.72	11.62	21.77	93.0	
6	-0.5 + 0.125	2.38	10.17	21.43	91.6	
7	-0.125	1.63	6.97	23.40	100.0	



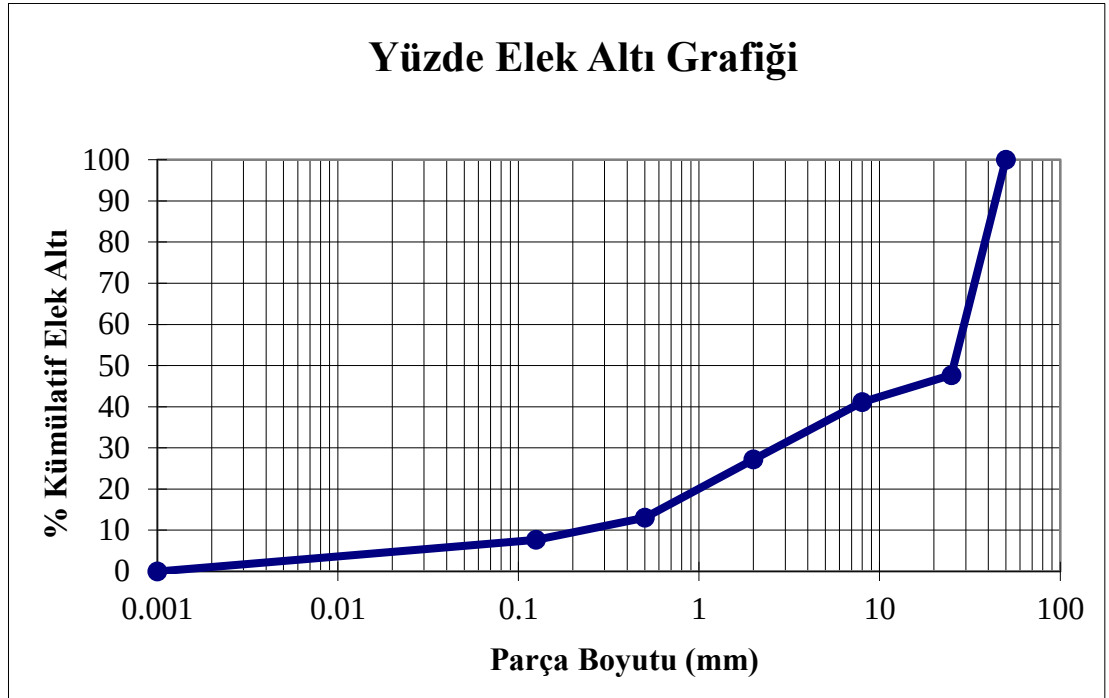
Çizelge C.45 : Traverten için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	20.16	33.18	20.16	33.2	517
2	-5.6 + 4	9.91	16.31	30.07	49.5	
3	-4 + 2	10.05	16.54	40.12	66.0	
4	-2 + 1	10.36	17.05	50.48	83.1	
5	-1 + 0.5	4.26	7.01	54.74	90.1	
6	-0.5 + 0.125	7.27	11.97	57.75	95.0	
7	-0.125	6.02	9.91	60.76	100.0	



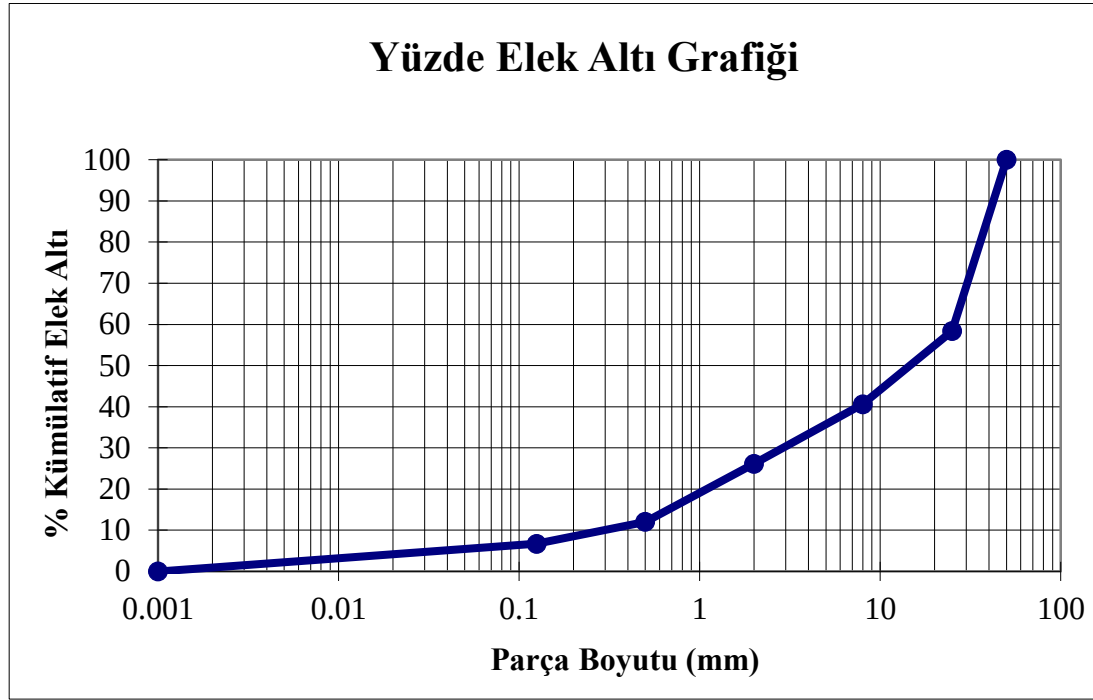
Çizelge C.46 : Traverten için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	39.97	52.30	39.97	52.3	559
2	-5.6 + 4	5.02	6.57	44.99	58.9	
3	-4 + 2	10.66	13.95	55.65	72.8	
4	-2 + 1	10.81	14.14	66.46	87.0	
5	-1 + 0.5	4.09	5.35	70.55	92.3	
6	-0.5 + 0.125	6.98	9.13	73.44	96.1	
7	-0.125	5.88	7.69	76.43	100.0	



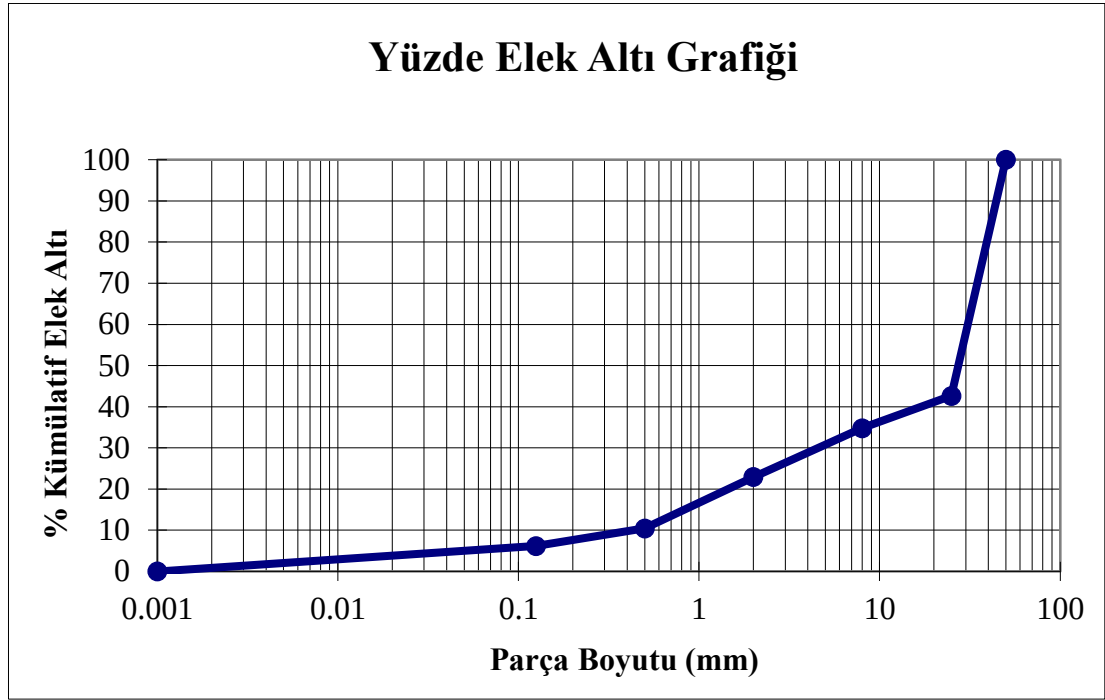
Çizelge C.47 : Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	49.23	41.61	49.23	41.6	552
2	-5.6 + 4	21.02	17.77	70.25	59.4	
3	-4 + 2	17.12	14.47	87.37	73.8	
4	-2 + 1	16.69	14.11	104.06	88.0	
5	-1 + 0.5	6.29	5.32	110.35	93.3	
6	-0.5 + 0.125	10	8.45	114.06	96.4	
7	-0.125	7.96	6.73	118.31	100.0	



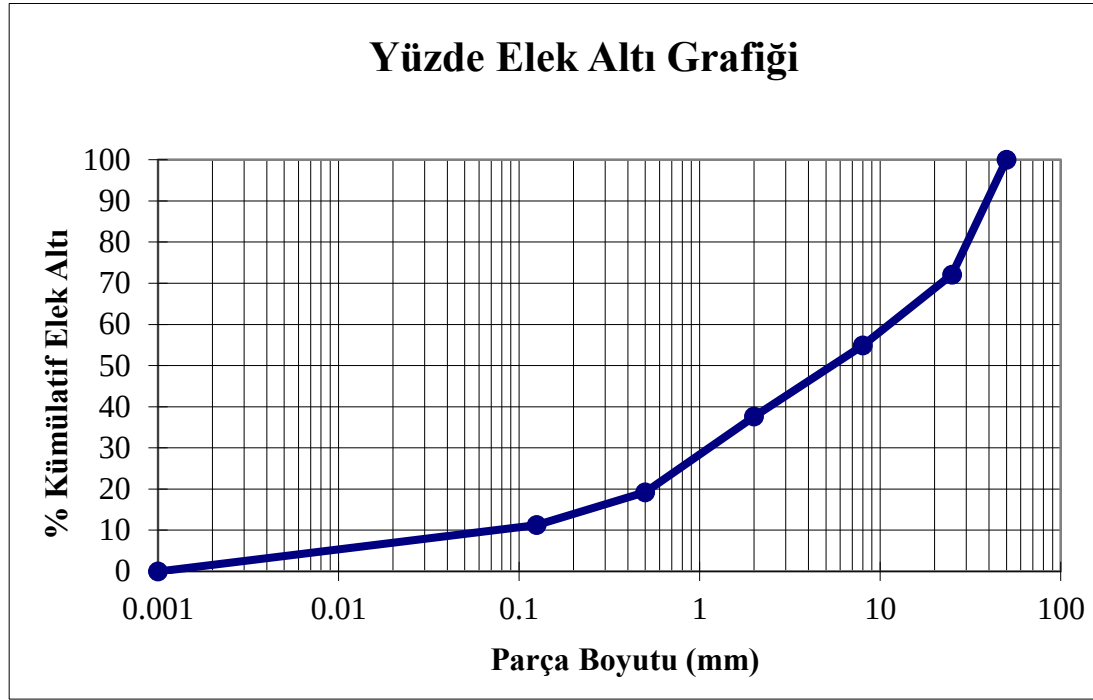
Çizelge C.48 : Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	74.59	57.36	74.59	57.4	579
2	-5.6 + 4	10.21	7.85	84.80	65.2	
3	-4 + 2	15.4	11.84	100.20	77.1	
4	-2 + 1	16.24	12.49	116.44	89.5	
5	-1 + 0.5	5.56	4.28	122.00	93.8	
6	-0.5 + 0.125	8.85	6.81	125.29	96.4	
7	-0.125	8.03	6.18	130.03	100.0	



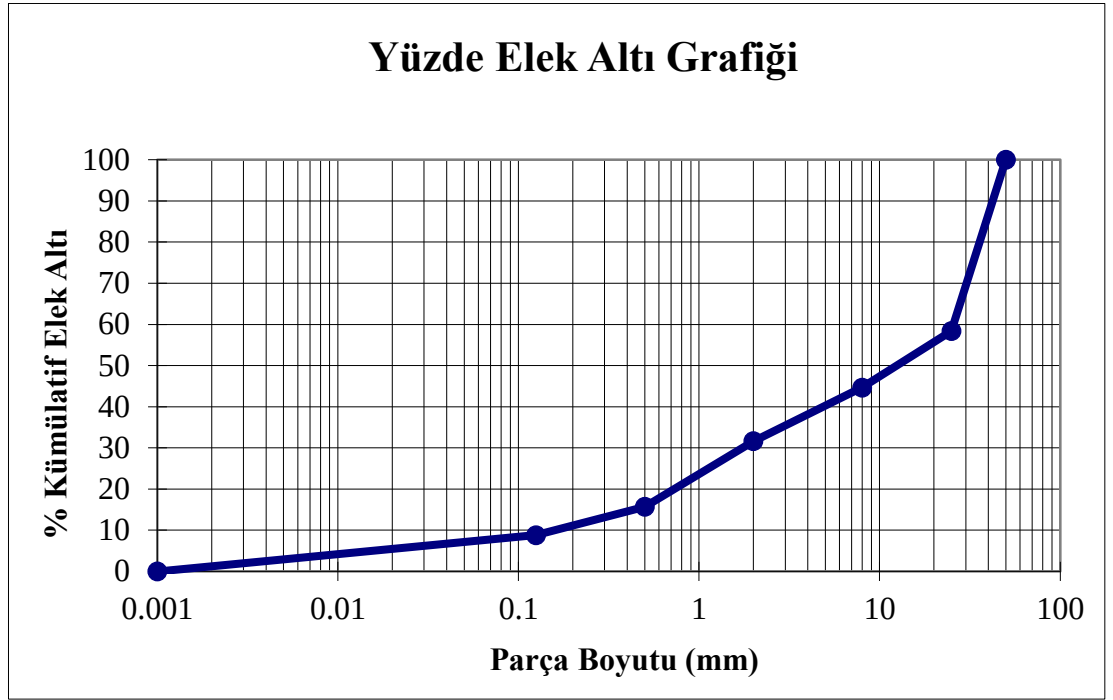
Çizelge C.49 : Traverten için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	3.91	27.87	3.91	27.9	504
2	-5.6 + 4	2.42	17.25	6.33	45.1	
3	-4 + 2	2.42	17.25	8.75	62.4	
4	-2 + 1	2.58	18.39	11.33	80.8	
5	-1 + 0.5	1.12	7.98	12.45	88.7	
6	-0.5 + 0.125	2.62	18.67	13.95	99.4	
7	-0.125	1.58	11.26	14.03	100.0	



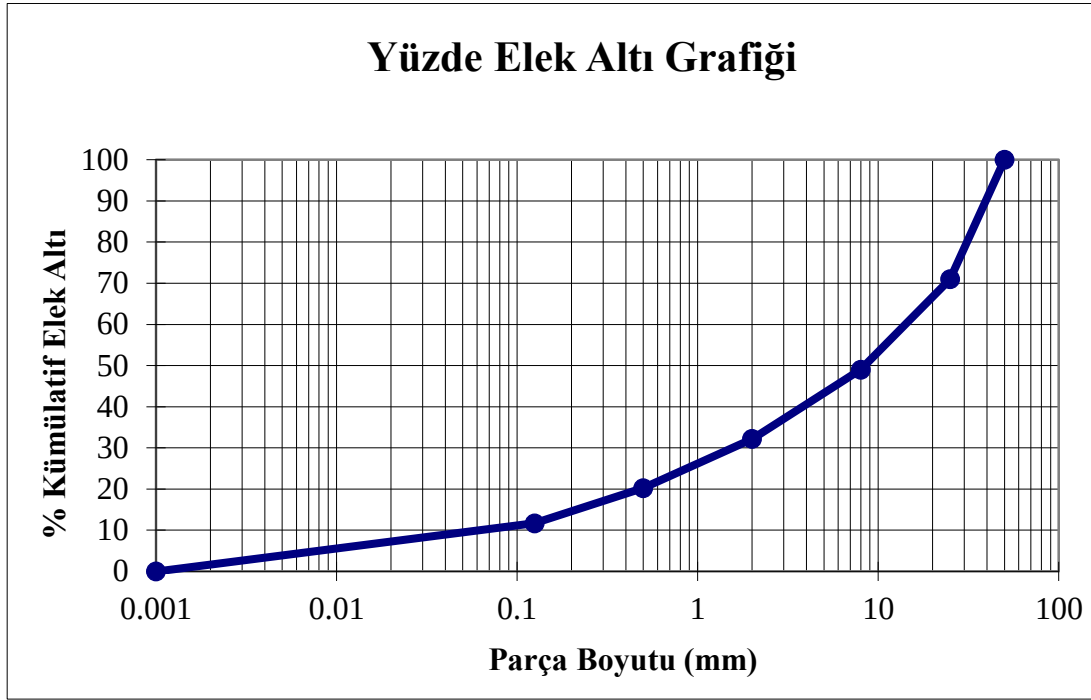
Çizelge C.50 : Traverten için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	5.43	41.61	5.43	41.6	543
2	-5.6 + 4	1.79	13.72	7.22	55.3	
3	-4 + 2	1.7	13.03	8.92	68.4	
4	-2 + 1	2.08	15.94	11.00	84.3	
5	-1 + 0.5	0.9	6.90	11.90	91.2	
6	-0.5 + 0.125	2.32	17.78	13.32	102.1	
7	-0.125	1.15	8.81	13.05	100.0	



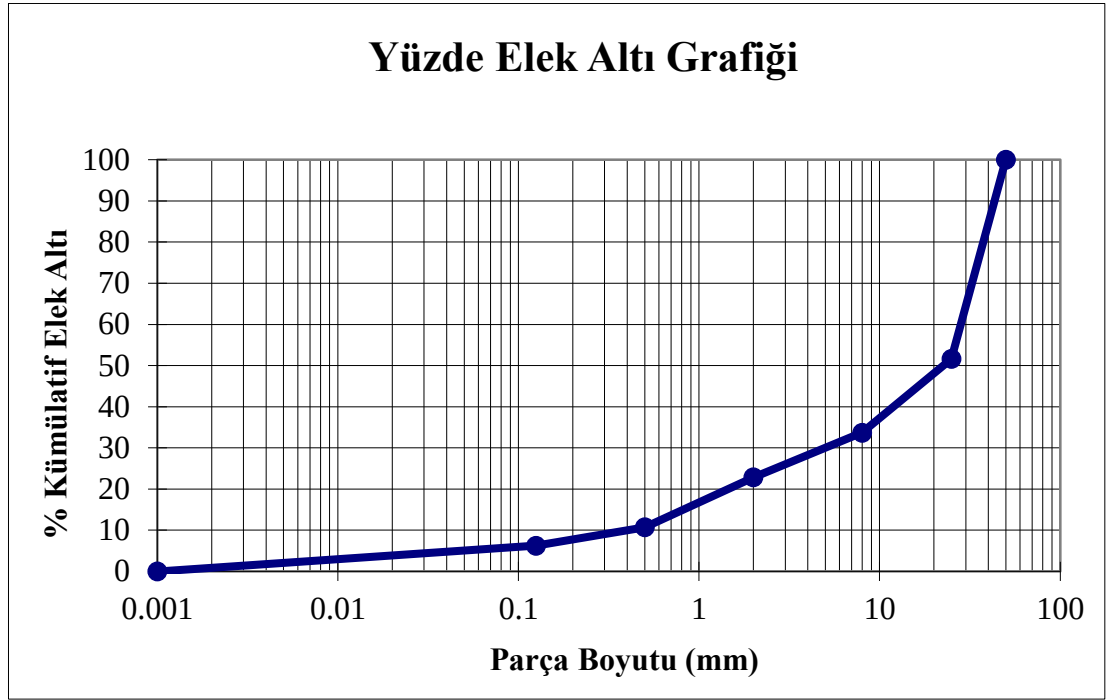
Çizelge C.51 : Traverten için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	11.76	29.01	11.76	29.0	511
2	-5.6 + 4	8.91	21.98	20.67	51.0	
3	-4 + 2	6.83	16.85	27.50	67.8	
4	-2 + 1	4.84	11.94	32.34	79.8	
5	-1 + 0.5	3.46	8.53	35.80	88.3	
6	-0.5 + 0.125	6.03	14.87	38.37	94.6	
7	-0.125	4.74	11.69	40.54	100.0	



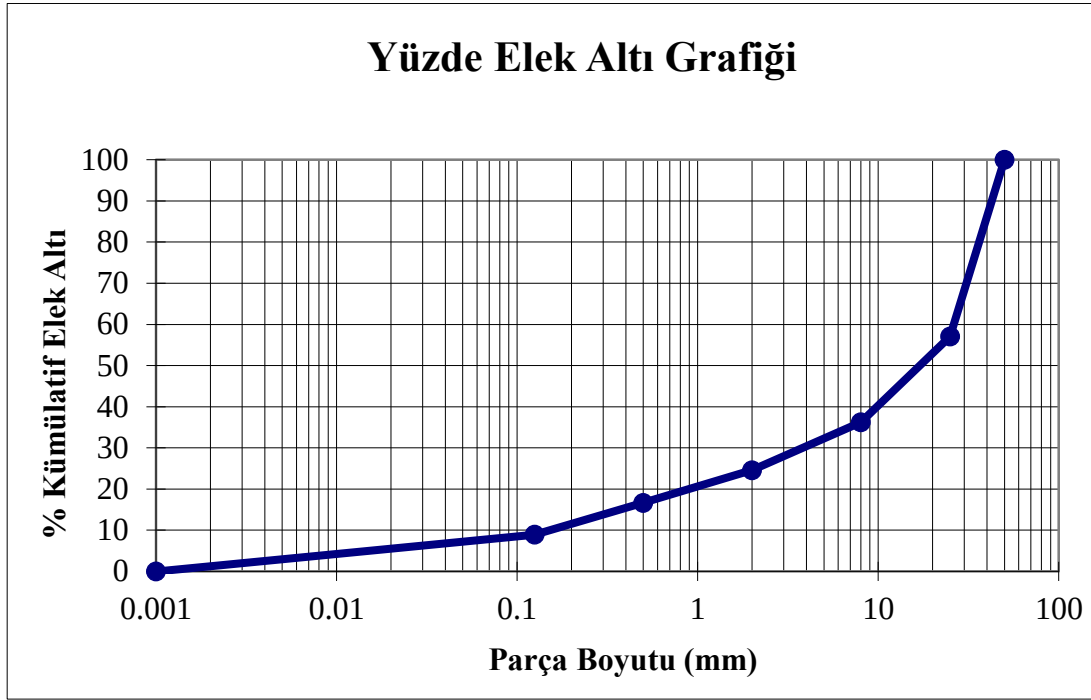
Çizelge C.52 : Traverten için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	47.45	48.39	47.45	48.4	571
2	-5.6 + 4	17.58	17.93	65.03	66.3	
3	-4 + 2	10.62	10.83	75.65	77.1	
4	-2 + 1	11.91	12.15	87.56	89.3	
5	-1 + 0.5	4.39	4.48	91.95	93.8	
6	-0.5 + 0.125	7.06	7.20	94.62	96.5	
7	-0.125	6.11	6.23	98.06	100.0	



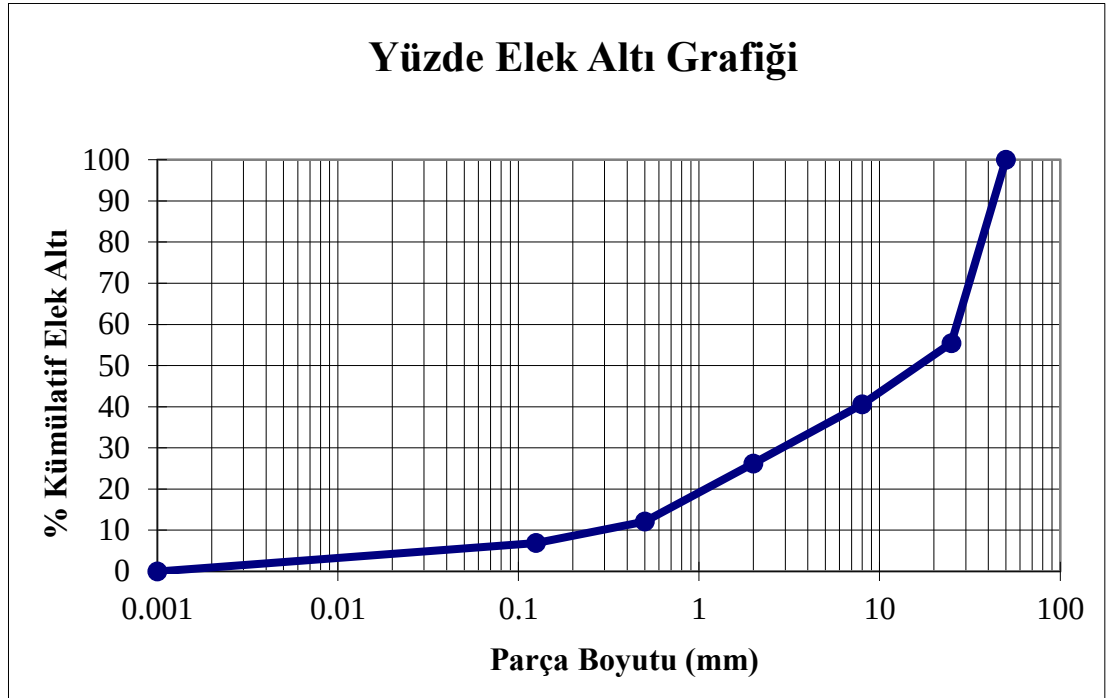
Çizelge C.53 : Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	33.62	42.92	33.62	42.9	553
2	-5.6 + 4	16.33	20.85	49.95	63.8	
3	-4 + 2	9.1	11.62	59.05	75.4	
4	-2 + 1	6.22	7.94	65.27	83.3	
5	-1 + 0.5	6.06	7.74	71.33	91.1	
6	-0.5 + 0.125	10.42	13.30	75.69	96.6	
7	-0.125	7	8.94	78.33	100.0	



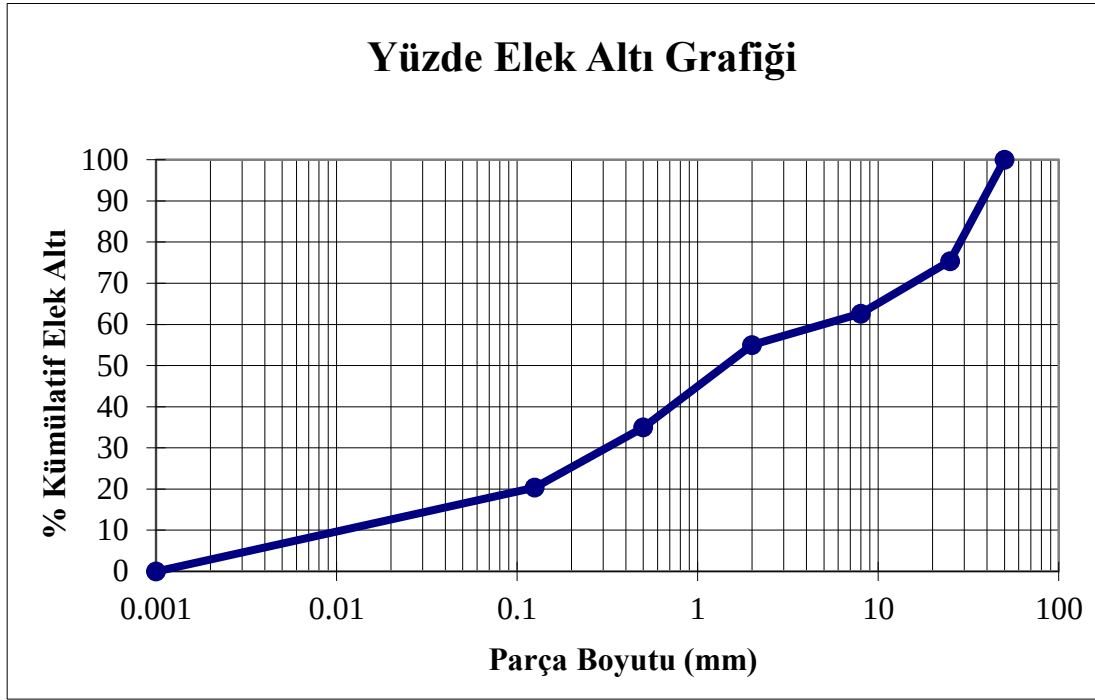
Çizelge C.54 : Traverten için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	50.36	44.51	50.36	44.5	555
2	-5.6 + 4	16.86	14.90	67.22	59.4	
3	-4 + 2	16.26	14.37	83.48	73.8	
4	-2 + 1	15.94	14.09	99.42	87.9	
5	-1 + 0.5	5.93	5.24	105.35	93.1	
6	-0.5 + 0.125	10.03	8.86	109.45	96.7	
7	-0.125	7.8	6.89	113.15	100.0	



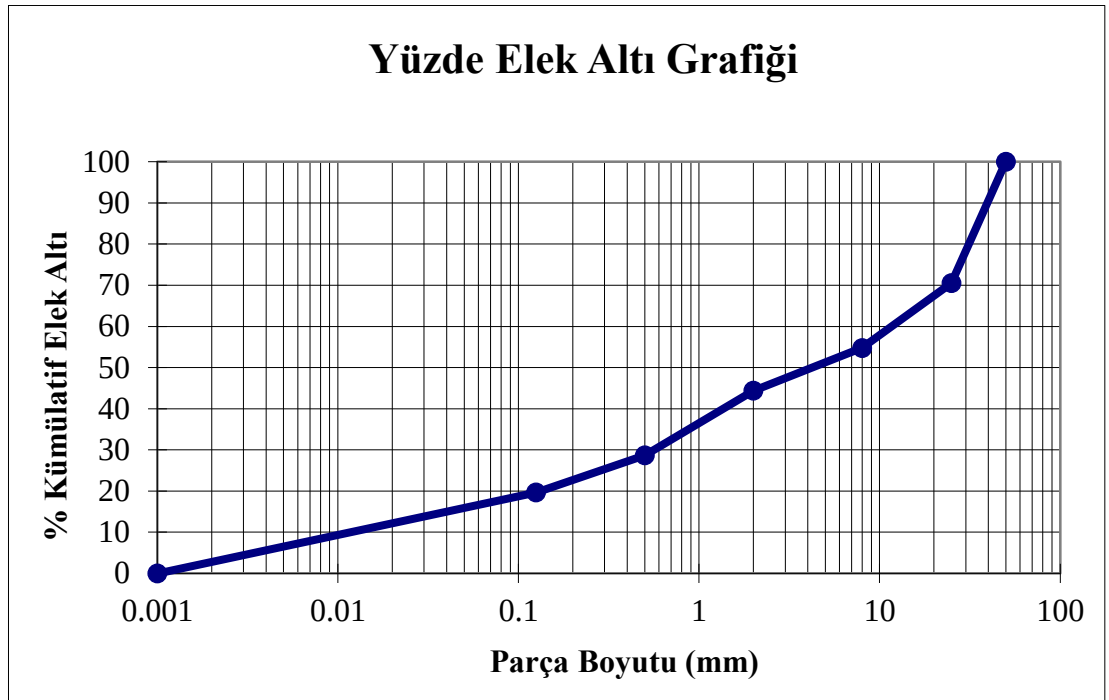
Çizelge C.55 : Küfeki kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	1.45	24.62	1.45	24.6	462
2	-5.6 + 4	0.75	12.73	2.20	37.4	
3	-4 + 2	0.45	7.64	2.65	45.0	
4	-2 + 1	1.18	20.03	3.83	65.0	
5	-1 + 0.5	0.86	14.60	4.69	79.6	
6	-0.5 + 0.125	2.66	45.16	6.49	110.2	
7	-0.125	1.2	20.37	5.89	100.0	



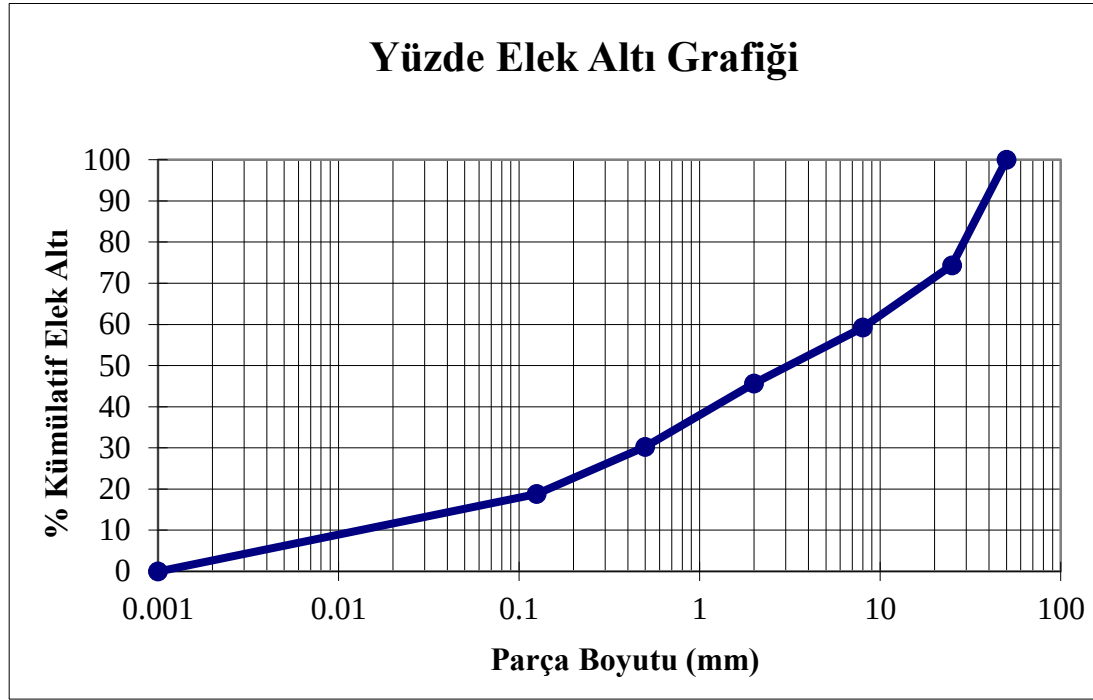
Çizelge C.56 : Küfeki kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	2.55	29.48	2.55	29.5	468
2	-5.6 + 4	1.36	15.72	3.91	45.2	
3	-4 + 2	0.9	10.40	4.81	55.6	
4	-2 + 1	1.36	15.72	6.17	71.3	
5	-1 + 0.5	0.78	9.02	6.95	80.3	
6	-0.5 + 0.125	1.25	14.45	7.42	85.8	
7	-0.125	1.7	19.65	8.65	100.0	



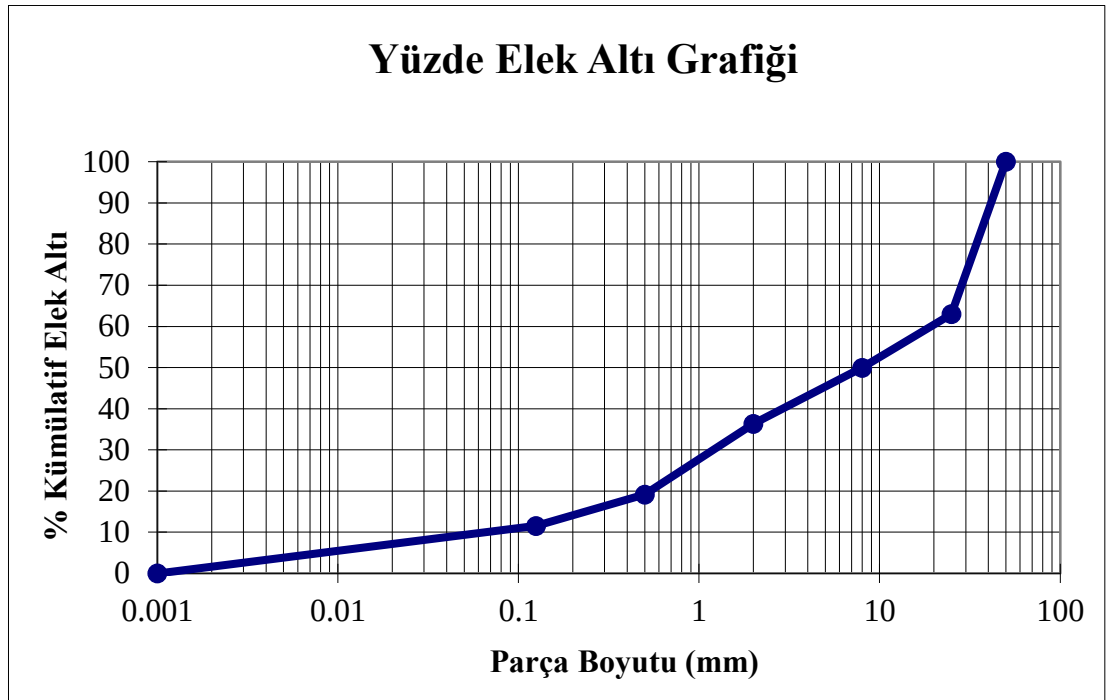
Çizelge C.57 : Küfeki kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	7.74	25.61	7.74	25.6	468
2	-5.6 + 4	4.58	15.16	12.32	40.8	
3	-4 + 2	4.1	13.57	16.42	54.3	
4	-2 + 1	4.65	15.39	21.07	69.7	
5	-1 + 0.5	3.47	11.48	24.54	81.2	
6	-0.5 + 0.125	8.1	26.80	29.17	96.5	
7	-0.125	5.68	18.80	30.22	100.0	



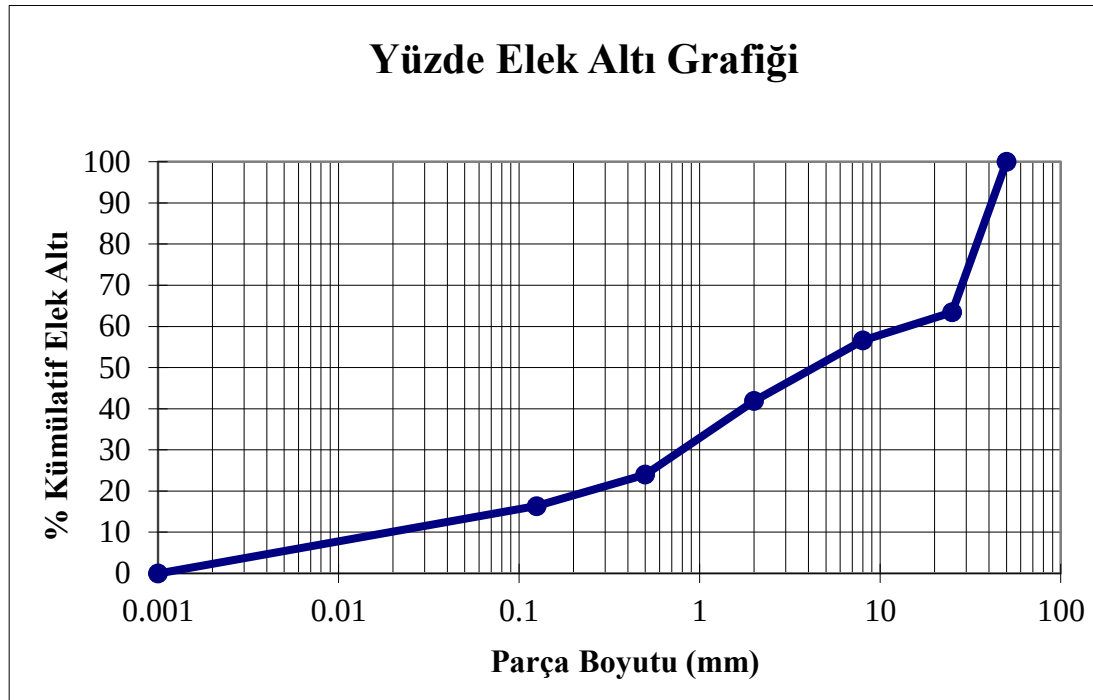
Çizelge C.58 : Küfeki kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	27.59	37.01	27.59	37.0	519
2	-5.6 + 4	9.71	13.02	37.30	50.0	
3	-4 + 2	10.16	13.63	47.46	63.7	
4	-2 + 1	12.82	17.20	60.28	80.9	
5	-1 + 0.5	5.67	7.61	65.95	88.5	
6	-0.5 + 0.125	13.56	18.19	73.84	99.0	
7	-0.125	8.6	11.54	74.55	100.0	



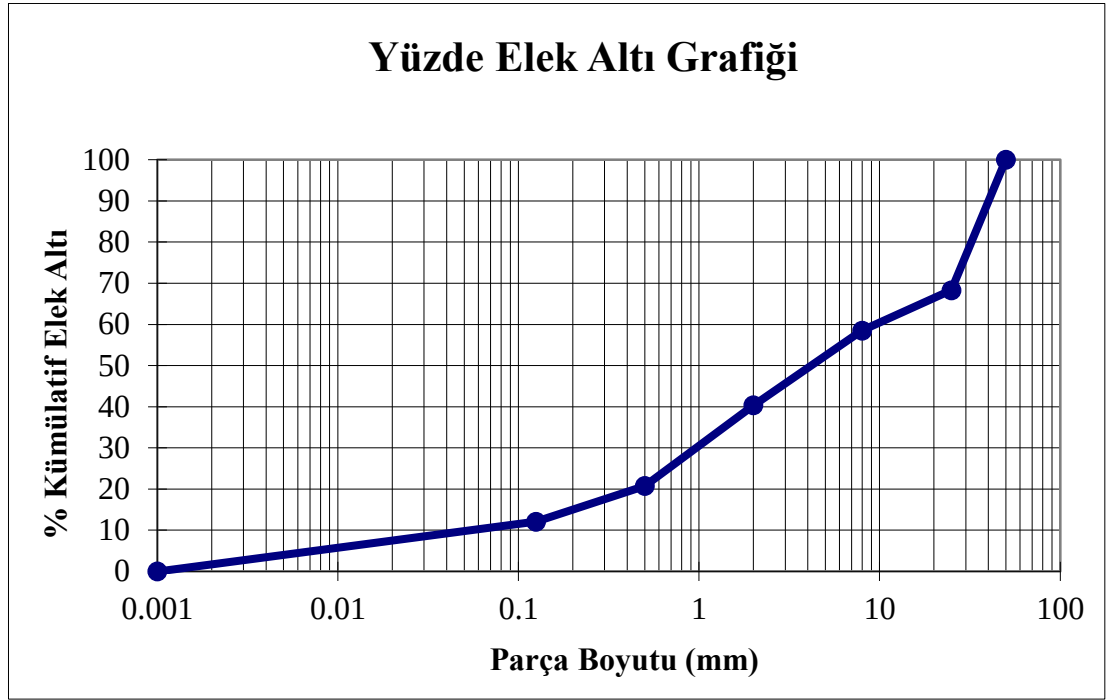
Çizelge C.59 : Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	43.97	36.56	43.97	36.6	491
2	-5.6 + 4	8.24	6.85	52.21	43.4	
3	-4 + 2	17.68	14.70	69.89	58.1	
4	-2 + 1	21.5	17.87	91.39	76.0	
5	-1 + 0.5	9.23	7.67	100.62	83.7	
6	-0.5 + 0.125	20.68	17.19	112.07	93.2	
7	-0.125	19.66	16.35	120.28	100.0	



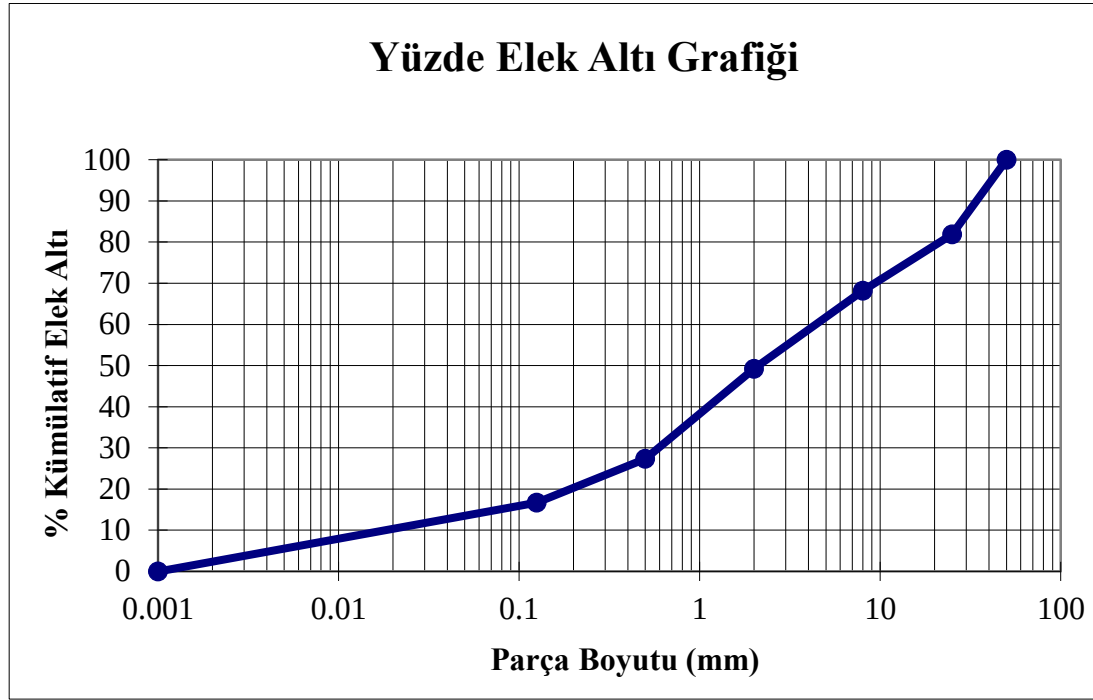
Çizelge C.60 : Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	35.05	31.69	35.05	31.7	498
2	-5.6 + 4	10.84	9.80	45.89	41.5	
3	-4 + 2	20.08	18.16	65.97	59.6	
4	-2 + 1	21.7	19.62	87.67	79.3	
5	-1 + 0.5	9.59	8.67	97.26	87.9	
6	-0.5 + 0.125	20.69	18.71	108.36	98.0	
7	-0.125	13.34	12.06	110.60	100.0	



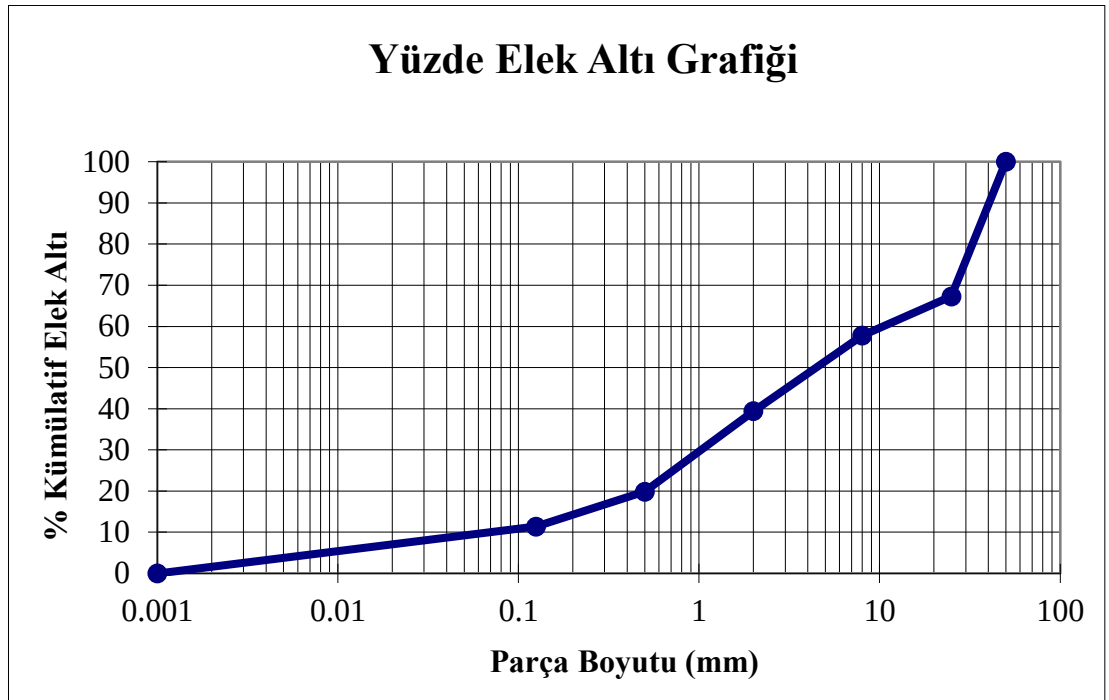
Çizelge C.61 : Küfeki kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	2.69	18.13	2.69	18.1	458
2	-5.6 + 4	2.03	13.68	4.72	31.8	
3	-4 + 2	2.81	18.94	7.53	50.7	
4	-2 + 1	3.25	21.90	10.78	72.6	
5	-1 + 0.5	1.58	10.65	12.36	83.3	
6	-0.5 + 0.125	4.29	28.91	15.07	101.5	
7	-0.125	2.48	16.71	14.84	100.0	



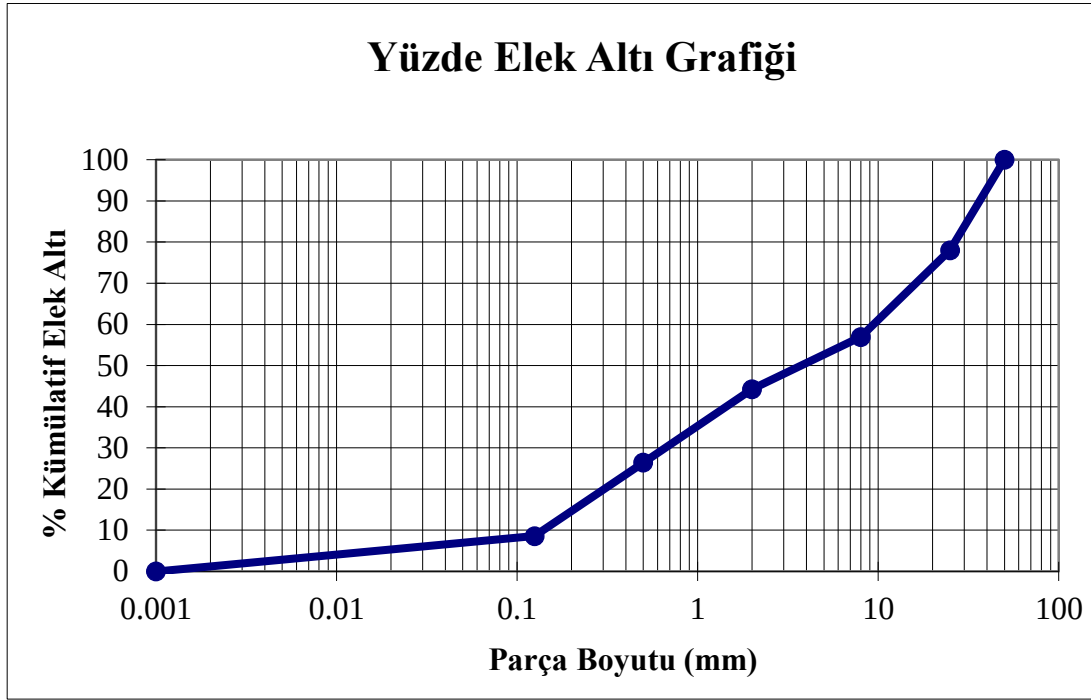
Çizelge C.62 : Küfeki kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	12.2	32.70	12.20	32.7	507
2	-5.6 + 4	3.56	9.54	15.76	42.2	
3	-4 + 2	6.85	18.36	22.61	60.6	
4	-2 + 1	7.29	19.54	29.90	80.1	
5	-1 + 0.5	3.16	8.47	33.06	88.6	
6	-0.5 + 0.125	8.25	22.11	38.15	102.3	
7	-0.125	4.25	11.39	37.31	100.0	



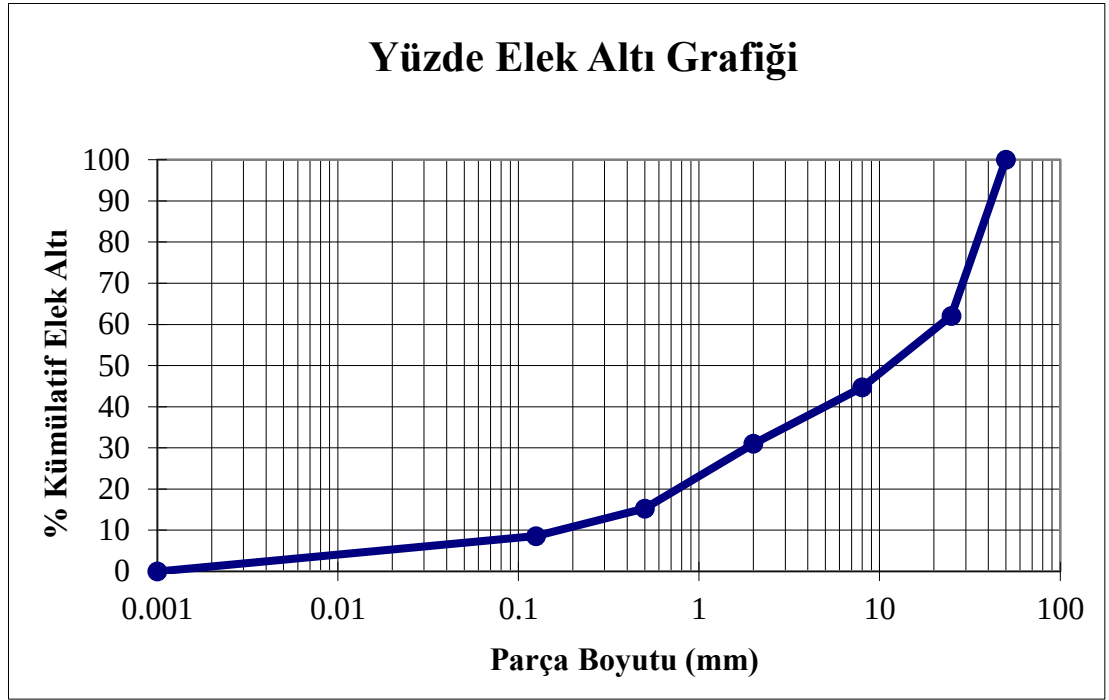
Çizelge C.63 : Küfeki kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	14.48	21.95	14.48	22.0	476
2	-5.6 + 4	13.92	21.10	28.40	43.1	
3	-4 + 2	8.36	12.67	36.76	55.7	
4	-2 + 1	11.76	17.83	48.52	73.6	
5	-1 + 0.5	11.79	17.87	60.31	91.4	
6	-0.5 + 0.125	10.92	16.56	59.44	90.1	
7	-0.125	5.65	8.57	65.96	100.0	



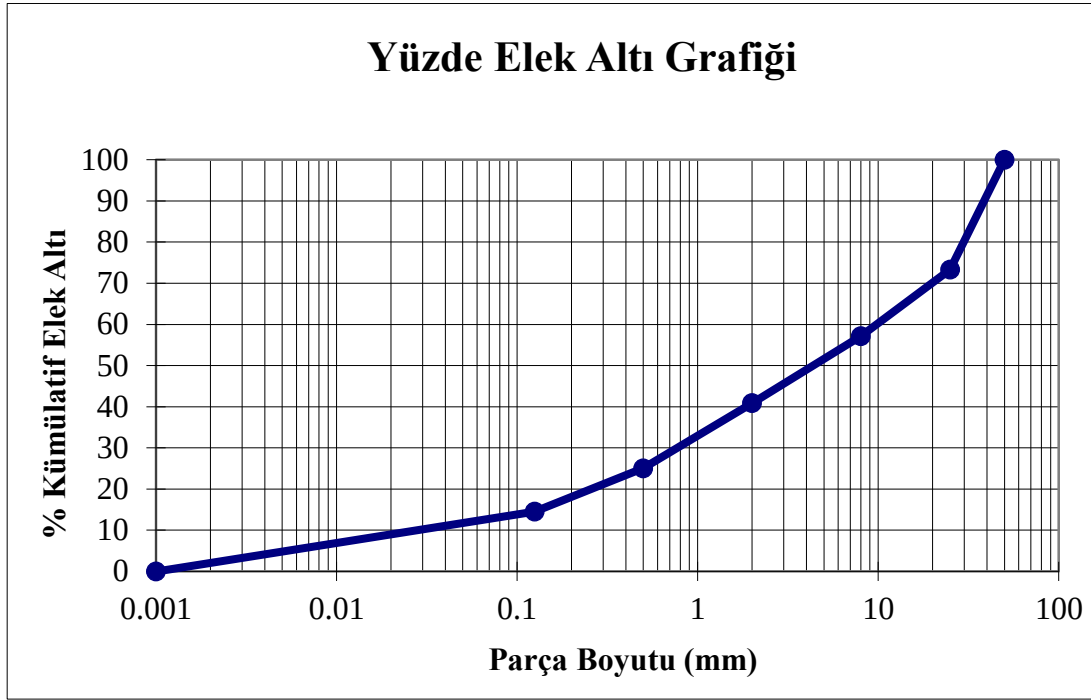
Çizelge C.64 : Küfeki kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	39.47	37.92	39.47	37.9	541
2	-5.6 + 4	18.09	17.38	57.56	55.3	
3	-4 + 2	14.24	13.68	71.80	69.0	
4	-2 + 1	16.39	15.75	88.19	84.7	
5	-1 + 0.5	6.96	6.69	95.15	91.4	
6	-0.5 + 0.125	19.12	18.37	107.31	103.1	
7	-0.125	8.94	8.59	104.09	100.0	



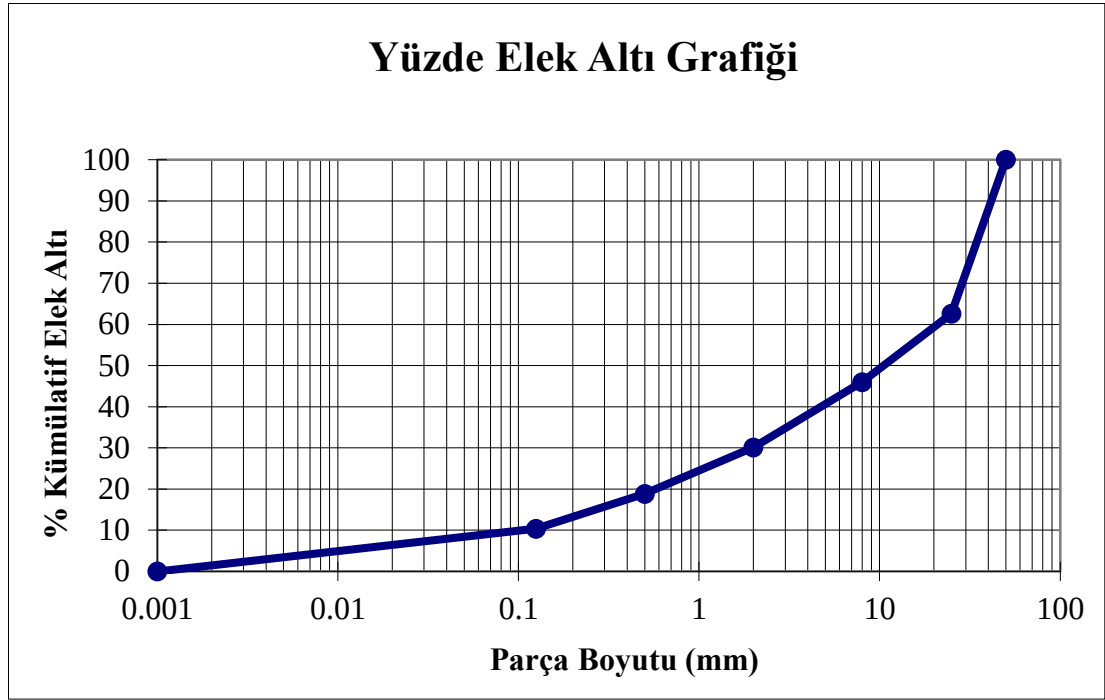
Çizelge C.65 : Küfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	28.22	26.67	28.22	26.7	487
2	-5.6 + 4	17.13	16.19	45.35	42.9	
3	-4 + 2	17.17	16.23	62.52	59.1	
4	-2 + 1	16.76	15.84	79.28	74.9	
5	-1 + 0.5	11.16	10.55	90.44	85.5	
6	-0.5 + 0.125	24.18	22.85	103.46	97.8	
7	-0.125	15.36	14.52	105.80	100.0	



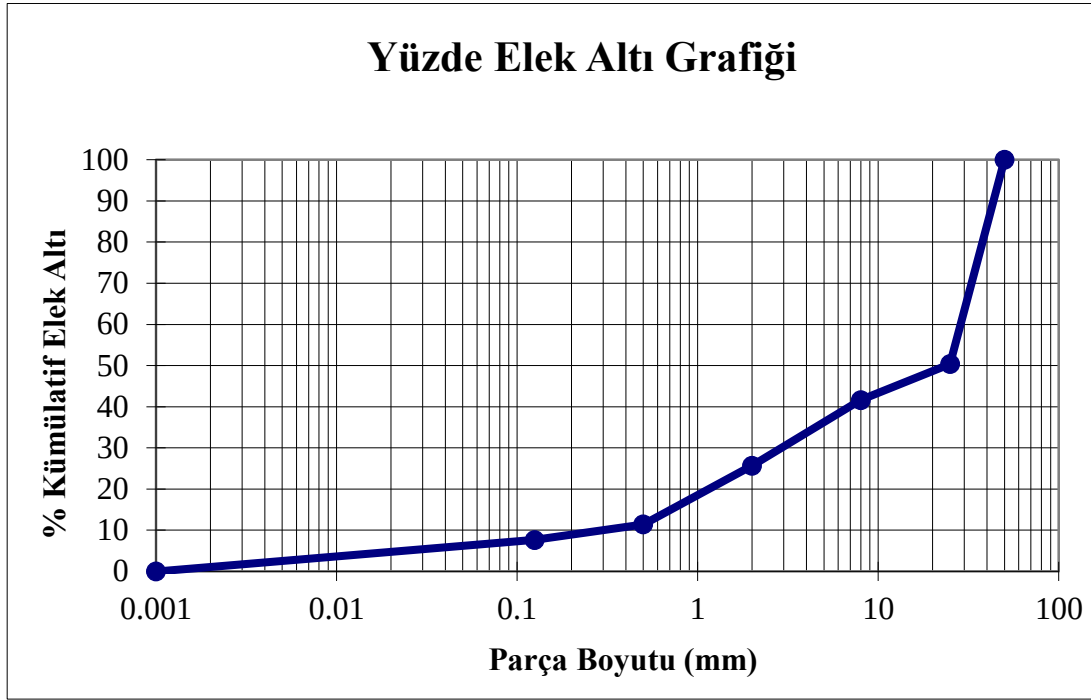
Çizelge C.66 : Kûfeki kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLÇM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	36.52	37.42	36.52	37.4	431
2	-5.6 + 4	16.18	16.58	52.70	54.0	
3	-4 + 2	15.5	15.88	68.20	69.9	
4	-2 + 1	10.99	11.26	79.19	81.1	
5	-1 + 0.5	8.29	8.49	87.48	89.6	
6	-0.5 + 0.125	17.03	17.45	96.22	98.6	
7	-0.125	10.11	10.36	97.59	100.0	



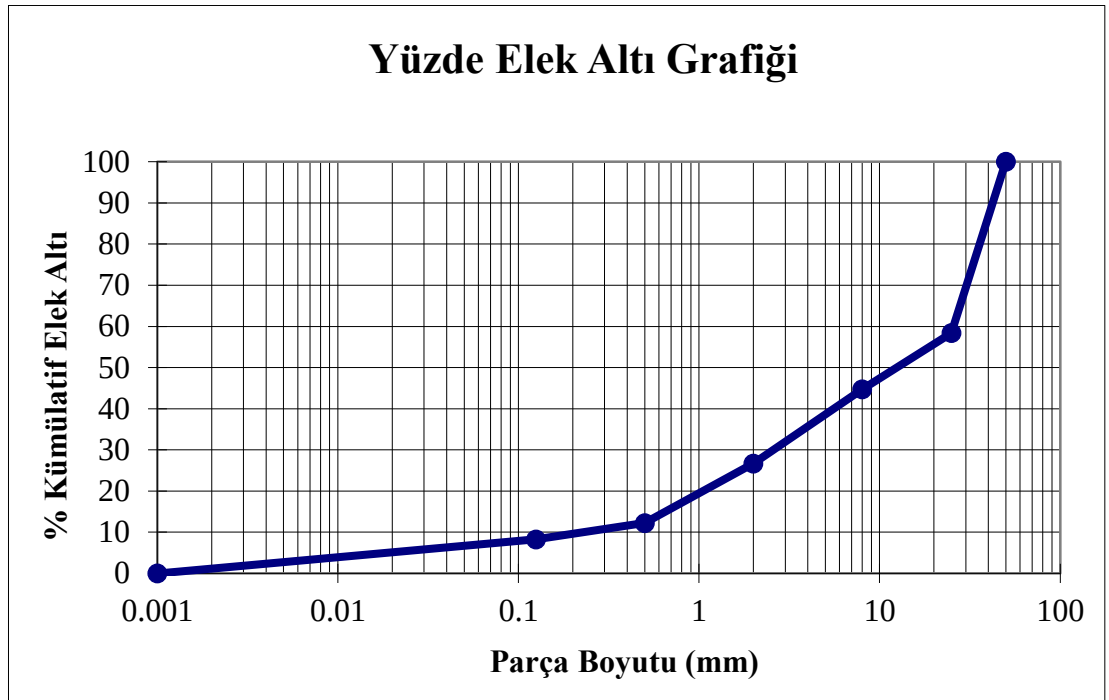
Çizelge C.67 : Kumtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	7.22	49.62	7.22	49.6	559
2	-5.6 + 4	1.27	8.73	8.49	58.4	
3	-4 + 2	2.32	15.95	10.81	74.3	
4	-2 + 1	2.08	14.30	12.89	88.6	
5	-1 + 0.5	0.55	3.78	13.44	92.4	
6	-0.5 + 0.125	0.98	6.74	13.87	95.3	
7	-0.125	1.11	7.63	14.55	100.0	



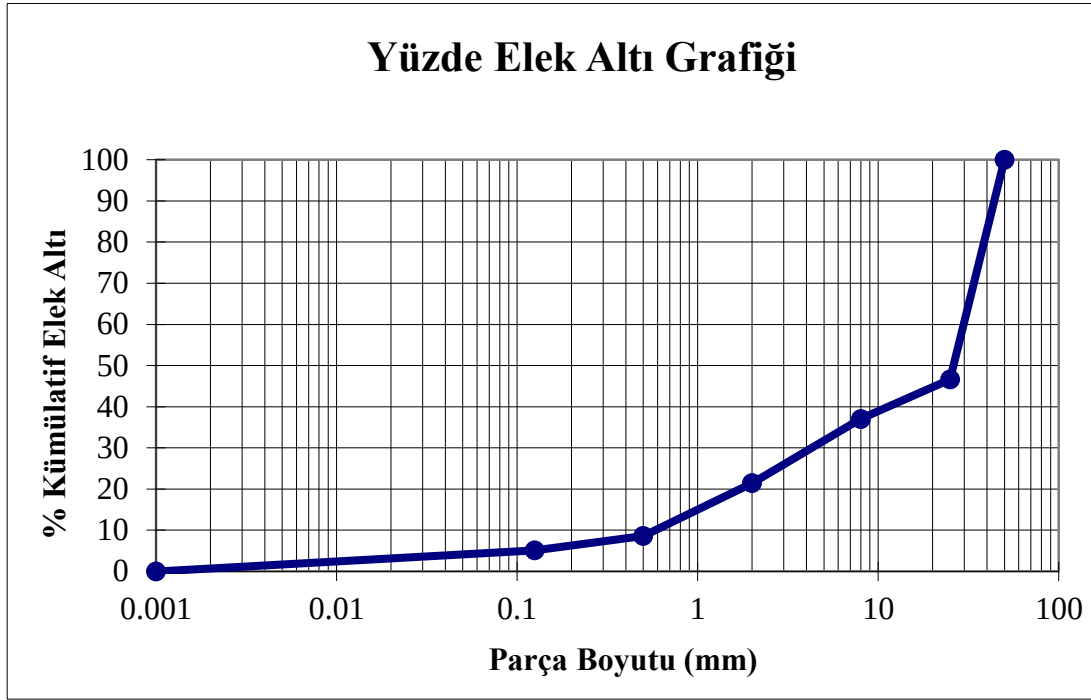
Çizelge C.68 : Kumtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	5.34	41.59	5.34	41.6	539
2	-5.6 + 4	1.76	13.71	7.10	55.3	
3	-4 + 2	2.31	17.99	9.41	73.3	
4	-2 + 1	1.86	14.49	11.27	87.8	
5	-1 + 0.5	0.51	3.97	11.78	91.7	
6	-0.5 + 0.125	0.2	1.56	11.47	89.3	
7	-0.125	1.06	8.26	12.84	100.0	



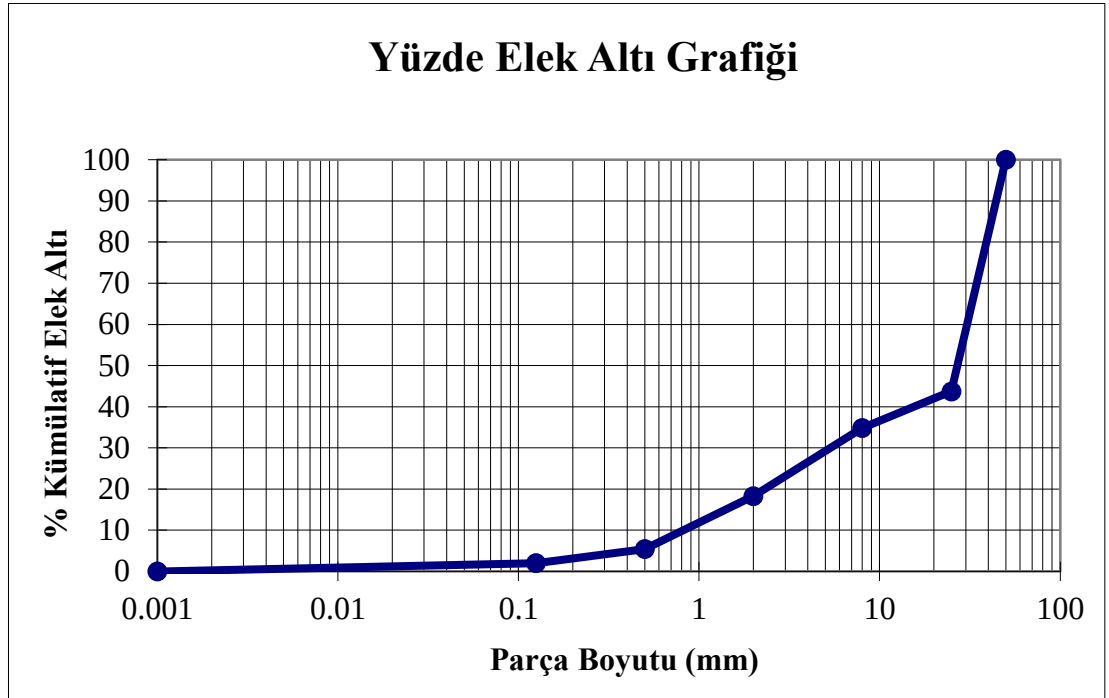
Çizelge C.69 : Kumtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	21.42	53.34	21.42	53.3	578
2	-5.6 + 4	3.87	9.64	25.29	63.0	
3	-4 + 2	6.25	15.56	31.54	78.5	
4	-2 + 1	5.16	12.85	36.70	91.4	
5	-1 + 0.5	1.4	3.49	38.10	94.9	
6	-0.5 + 0.125	2.19	5.45	38.89	96.8	
7	-0.125	2.06	5.13	40.16	100.0	



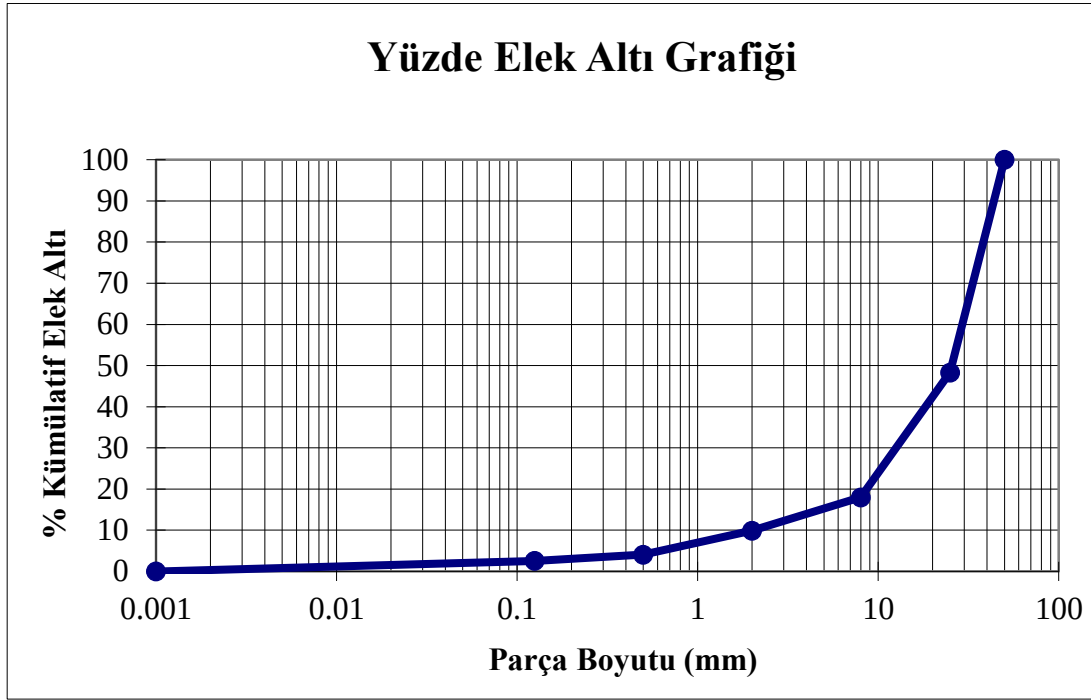
Çizelge C.70 : Kumtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	22.86	56.26	22.86	56.3	596
2	-5.6 + 4	3.62	8.91	26.48	65.2	
3	-4 + 2	6.72	16.54	33.20	81.7	
4	-2 + 1	5.22	12.85	38.42	94.6	
5	-1 + 0.5	1.4	3.45	39.82	98.0	
6	-0.5 + 0.125	2.22	5.46	40.64	100.0	
7	-0.125	0.81	1.99	40.63	100.0	



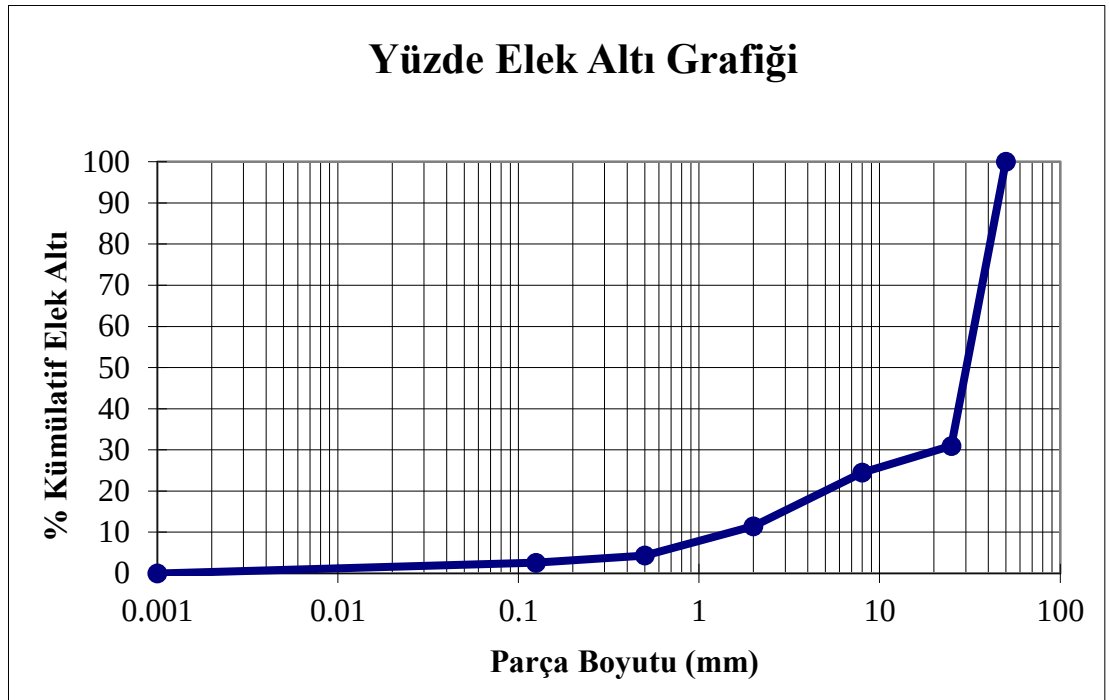
Çizelge C.71 : Kumtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	63.72	51.66	63.72	51.7	615
2	-5.6 + 4	37.42	30.34	101.14	82.0	
3	-4 + 2	10	8.11	111.14	90.1	
4	-2 + 1	7.21	5.85	118.35	95.9	
5	-1 + 0.5	1.86	1.51	120.21	97.5	
6	-0.5 + 0.125	2.75	2.23	121.10	98.2	
7	-0.125	3.14	2.55	123.35	100.0	



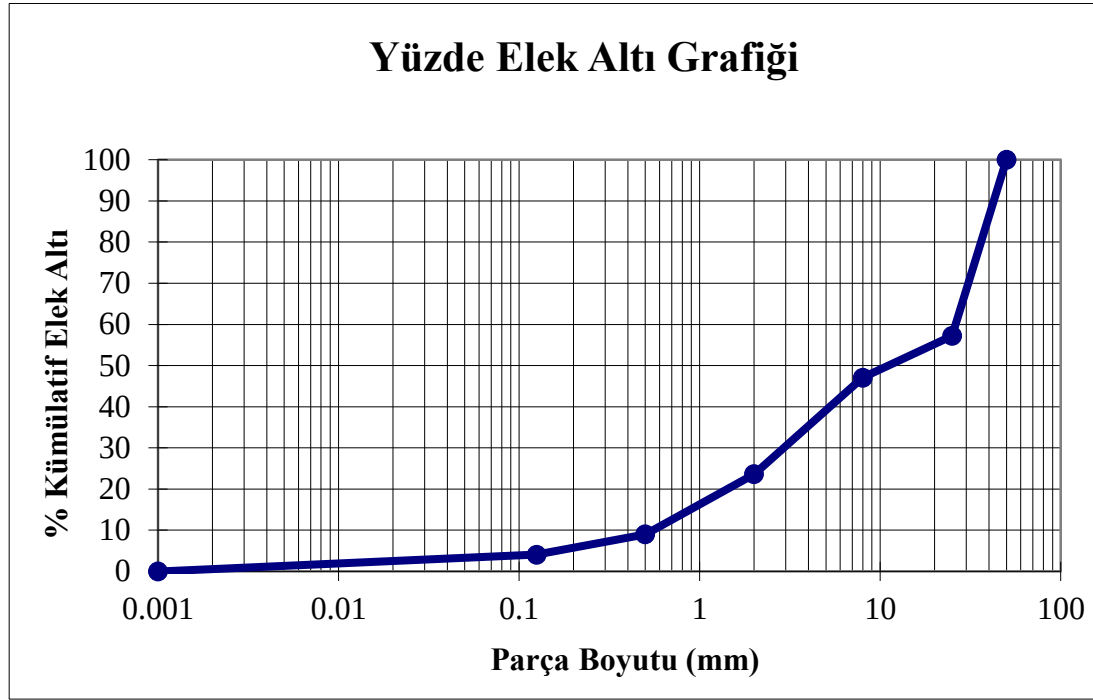
Çizelge C.72 : Kumtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	87.36	69.02	87.36	69.0	624
2	-5.6 + 4	8.23	6.50	95.59	75.5	
3	-4 + 2	16.49	13.03	112.08	88.6	
4	-2 + 1	9.01	7.12	121.09	95.7	
5	-1 + 0.5	2.21	1.75	123.30	97.4	
6	-0.5 + 0.125	3.1	2.45	124.19	98.1	
7	-0.125	3.27	2.58	126.57	100.0	



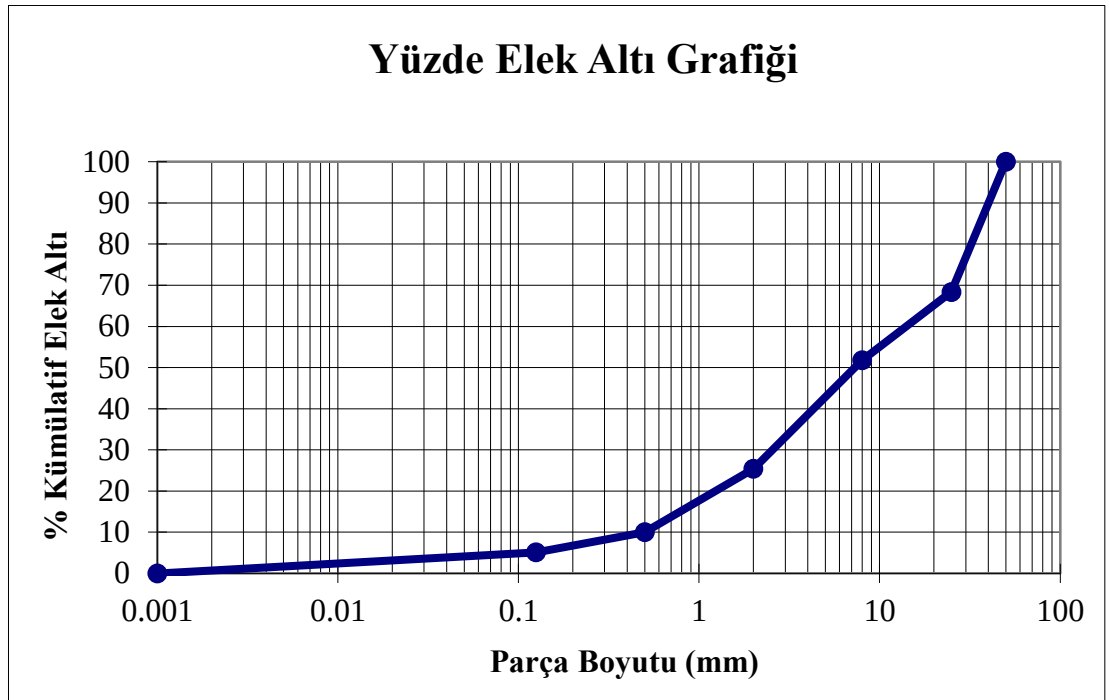
Çizelge C.73 : Kumtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	3.46	42.77	3.46	42.8	558
2	-5.6 + 4	0.82	10.14	4.28	52.9	
3	-4 + 2	1.9	23.49	6.18	76.4	
4	-2 + 1	1.18	14.59	7.36	91.0	
5	-1 + 0.5	0.4	4.94	7.76	95.9	
6	-0.5 + 0.125	0.63	7.79	7.99	98.8	
7	-0.125	0.33	4.08	8.09	100.0	



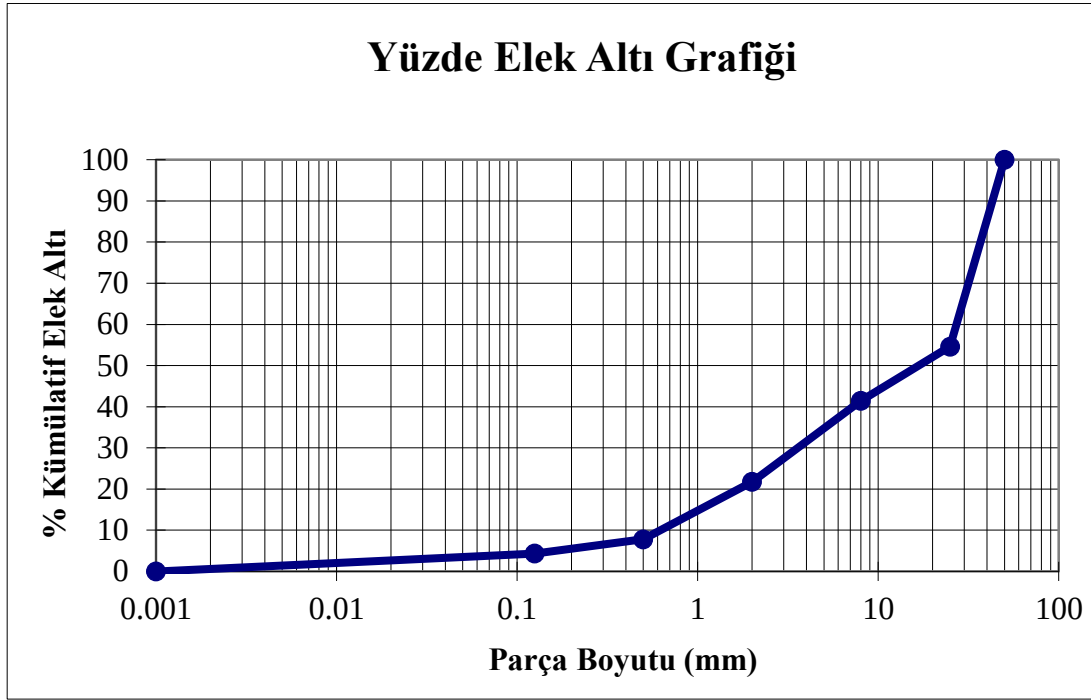
Çizelge C.74 : Kumtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	2.9	31.62	2.90	31.6	537
2	-5.6 + 4	1.52	16.58	4.42	48.2	
3	-4 + 2	2.42	26.39	6.84	74.6	
4	-2 + 1	1.41	15.38	8.25	90.0	
5	-1 + 0.5	0.45	4.91	8.70	94.9	
6	-0.5 + 0.125	0.73	7.96	8.98	97.9	
7	-0.125	0.47	5.13	9.17	100.0	



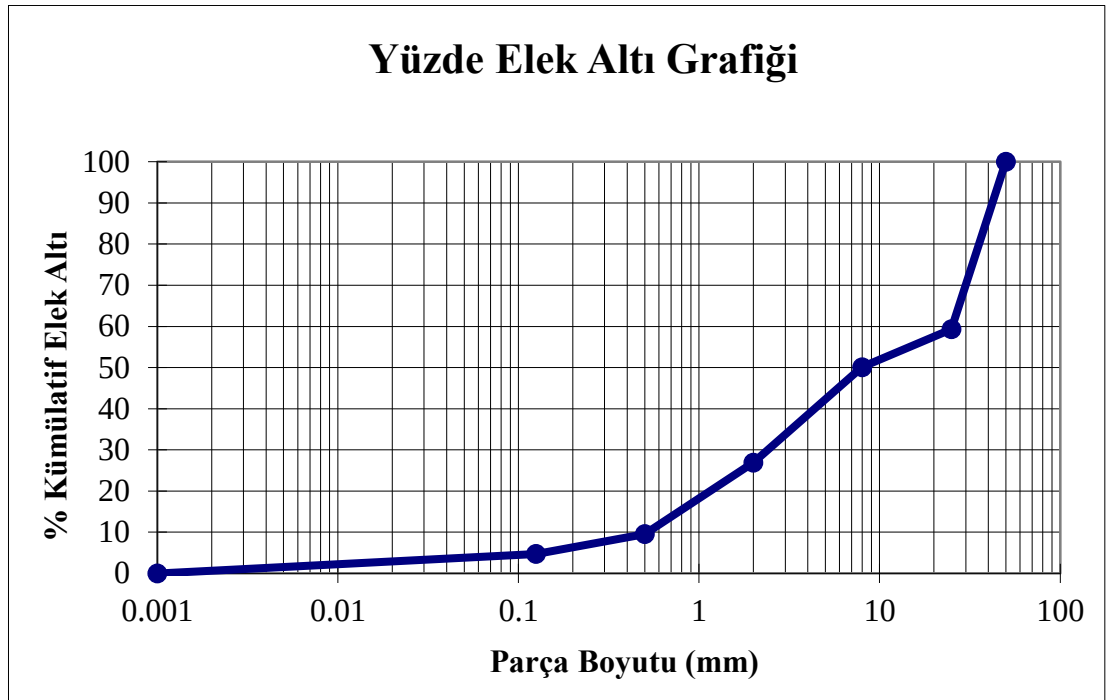
Çizelge C.75 : Kumtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	16.57	45.38	16.57	45.4	568
2	-5.6 + 4	4.81	13.17	21.38	58.6	
3	-4 + 2	7.19	19.69	28.57	78.3	
4	-2 + 1	5.09	13.94	33.66	92.2	
5	-1 + 0.5	1.26	3.45	34.92	95.6	
6	-0.5 + 0.125	2.22	6.08	35.88	98.3	
7	-0.125	1.59	4.35	36.51	100.0	



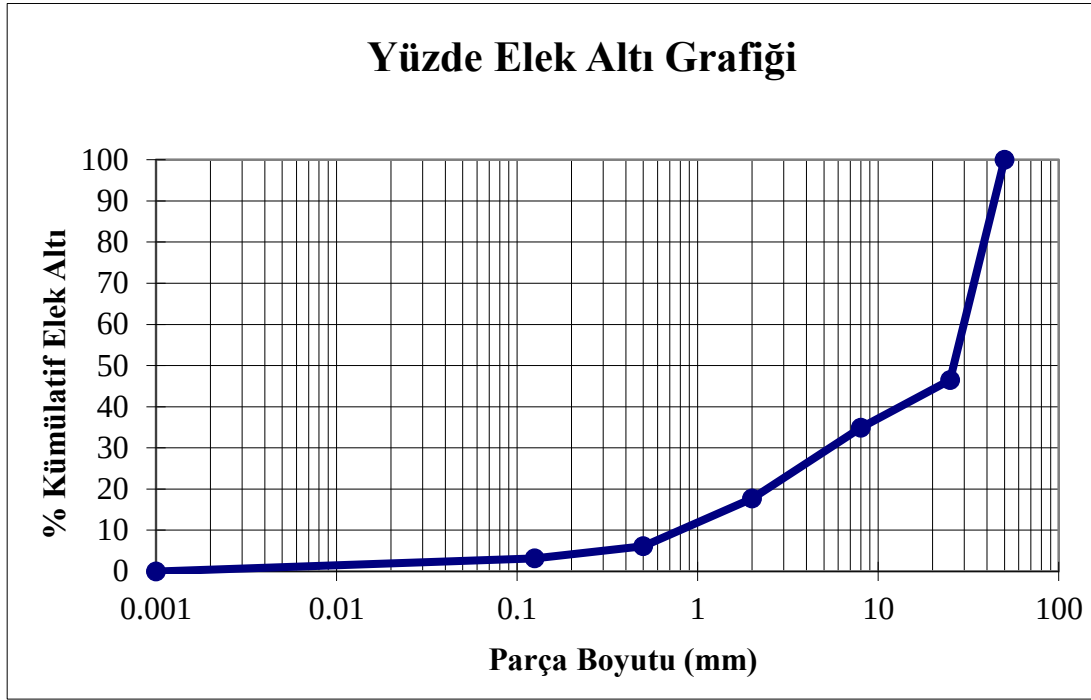
Çizelge C.76 : Kumtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	16.75	40.68	16.75	40.7	548
2	-5.6 + 4	3.79	9.21	20.54	49.9	
3	-4 + 2	9.54	23.17	30.08	73.1	
4	-2 + 1	7.16	17.39	37.24	90.5	
5	-1 + 0.5	1.98	4.81	39.22	95.3	
6	-0.5 + 0.125	3.49	8.48	40.73	98.9	
7	-0.125	1.95	4.74	41.17	100.0	



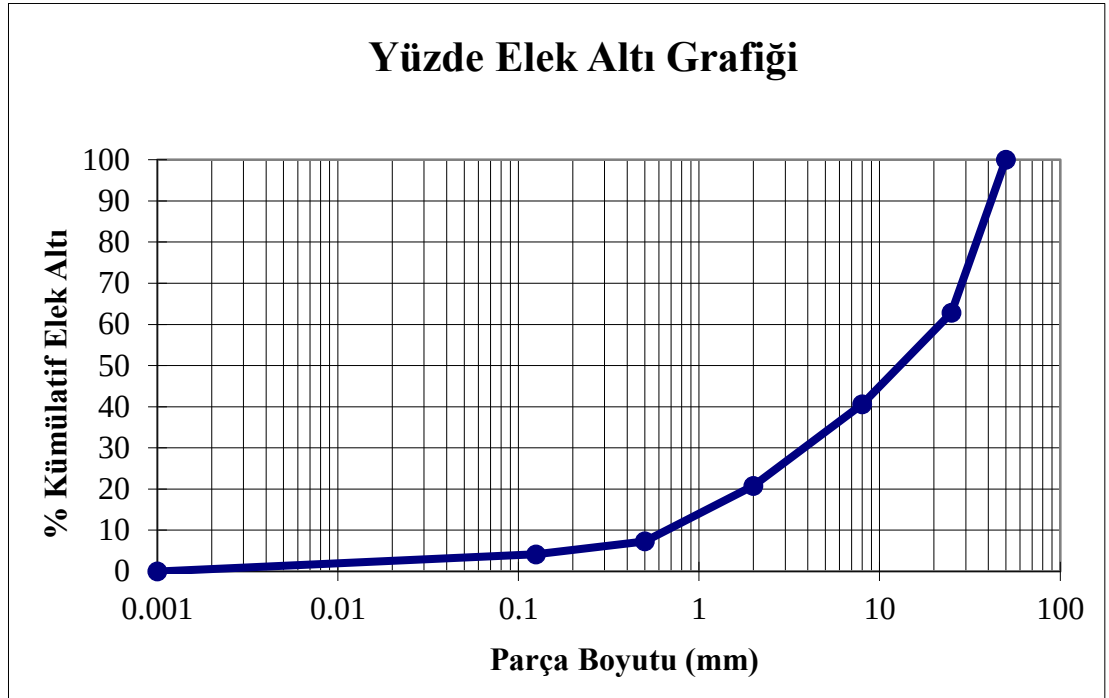
Çizelge C.77 : Kumtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	50.83	53.49	50.83	53.5	590
2	-5.6 + 4	11.02	11.60	61.85	65.1	
3	-4 + 2	16.33	17.18	78.18	82.3	
4	-2 + 1	11.01	11.59	89.19	93.9	
5	-1 + 0.5	2.82	2.97	92.01	96.8	
6	-0.5 + 0.125	4.08	4.29	93.27	98.1	
7	-0.125	3.02	3.18	95.03	100.0	



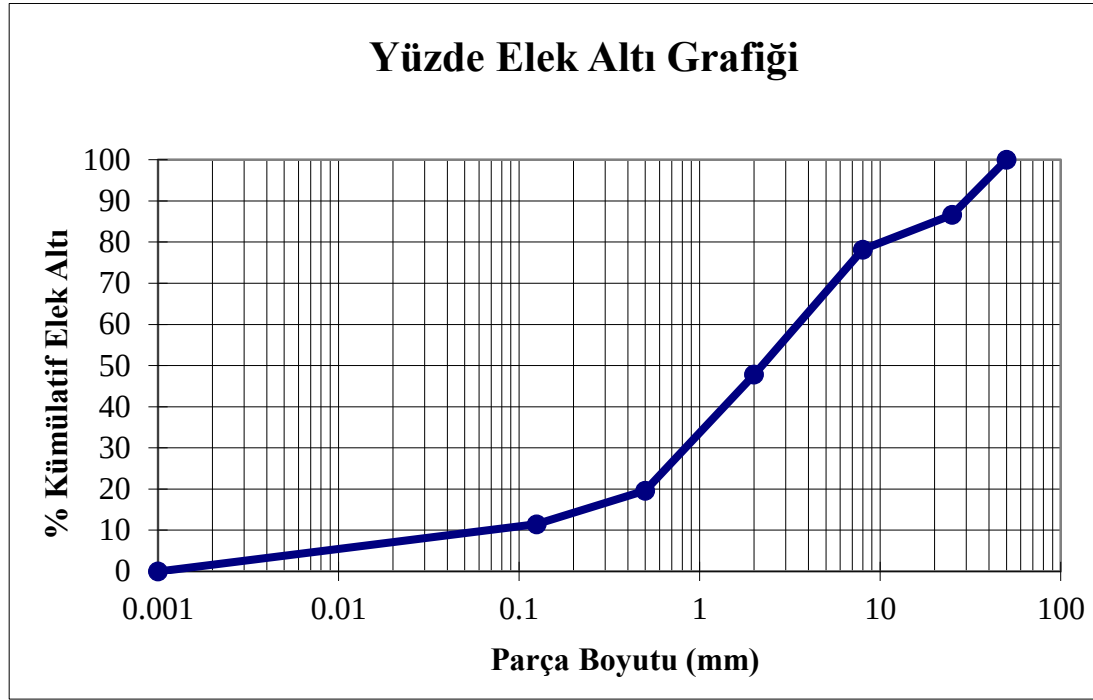
Çizelge C.78 : Kumtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	27.61	37.16	27.61	37.2	562
2	-5.6 + 4	16.54	22.26	44.15	59.4	
3	-4 + 2	14.7	19.78	58.85	79.2	
4	-2 + 1	10.03	13.50	68.88	92.7	
5	-1 + 0.5	2.33	3.14	71.21	95.8	
6	-0.5 + 0.125	3.54	4.76	72.42	97.5	
7	-0.125	3.09	4.16	74.30	100.0	



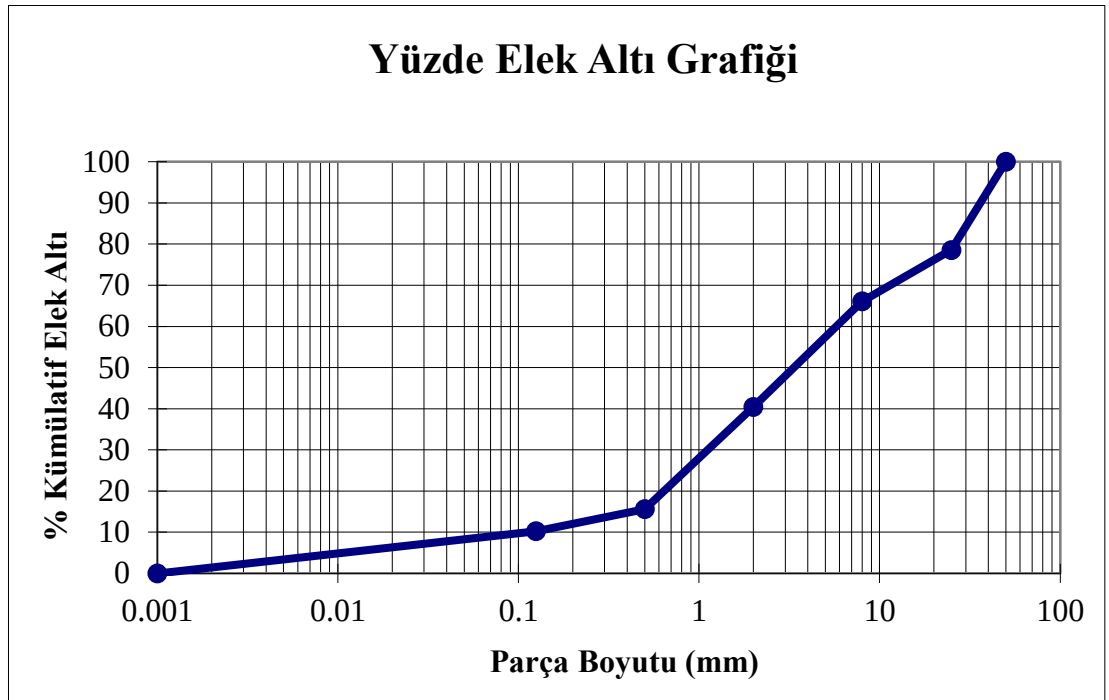
Çizelge C.79 : Kireçtaşı (A) için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	2.13	13.39	2.13	13.4	450
2	-5.6 + 4	1.34	8.42	3.47	21.8	
3	-4 + 2	4.83	30.36	8.30	52.2	
4	-2 + 1	4.49	28.22	12.79	80.4	
5	-1 + 0.5	1.3	8.17	14.09	88.6	
6	-0.5 + 0.125	2.09	13.14	14.88	93.5	
7	-0.125	1.82	11.44	15.91	100.0	



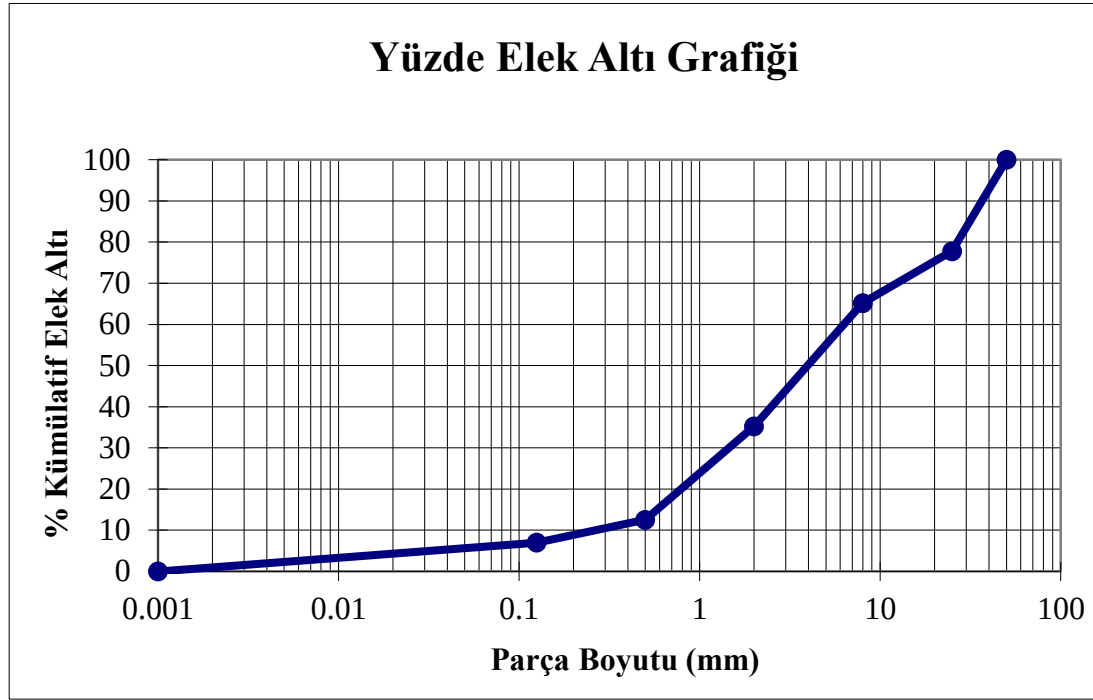
Çizelge C.80 : Kireçtaşı (A) için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	2.8	21.42	2.80	21.4	485
2	-5.6 + 4	1.63	12.47	4.43	33.9	
3	-4 + 2	3.35	25.63	7.78	59.5	
4	-2 + 1	3.25	24.87	11.03	84.4	
5	-1 + 0.5	0.7	5.36	11.73	89.7	
6	-0.5 + 0.125	1.47	11.25	12.50	95.6	
7	-0.125	1.34	10.25	13.07	100.0	



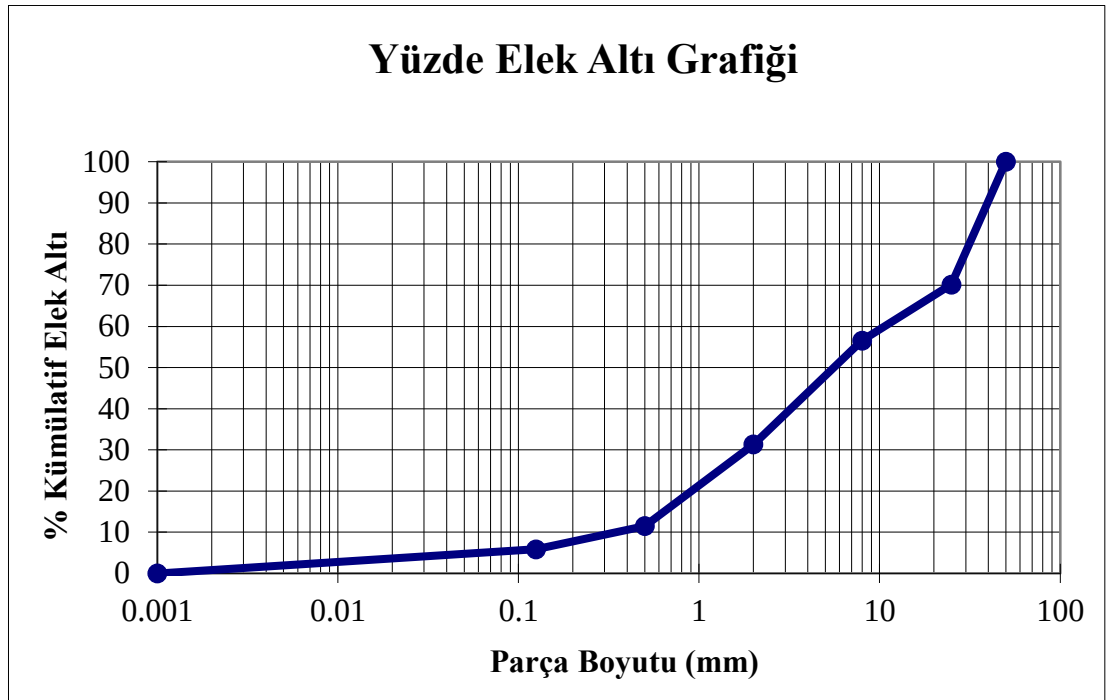
Çizelge C.81 : Kireçtaşı (A) için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	15.42	22.18	15.42	22.2	497
2	-5.6 + 4	8.78	12.63	24.20	34.8	
3	-4 + 2	20.81	29.93	45.01	64.7	
4	-2 + 1	15.79	22.71	60.80	87.5	
5	-1 + 0.5	3.86	5.55	64.66	93.0	
6	-0.5 + 0.125	5.09	7.32	65.89	94.8	
7	-0.125	4.86	6.99	69.52	100.0	



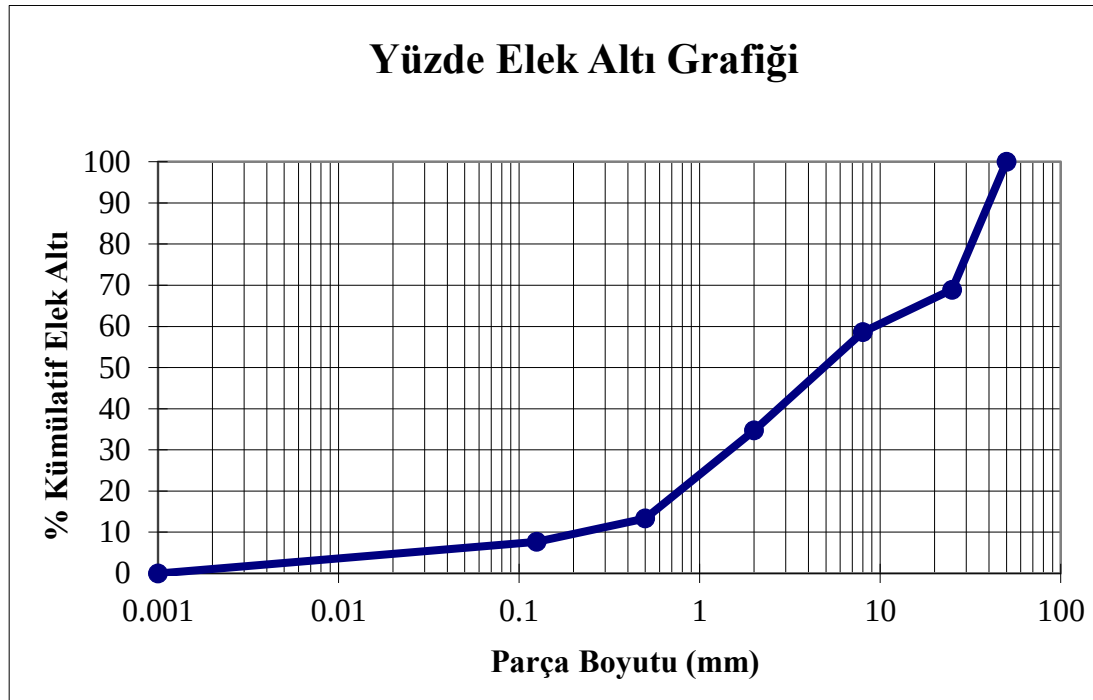
Çizelge C.82 : Kireçtaşı (A) için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	17.86	29.82	17.86	29.8	521
2	-5.6 + 4	8.14	13.59	26.00	43.4	
3	-4 + 2	15.12	25.25	41.12	68.7	
4	-2 + 1	11.88	19.84	53.00	88.5	
5	-1 + 0.5	3.38	5.64	56.38	94.1	
6	-0.5 + 0.125	4.49	7.50	57.49	96.0	
7	-0.125	3.51	5.86	59.89	100.0	



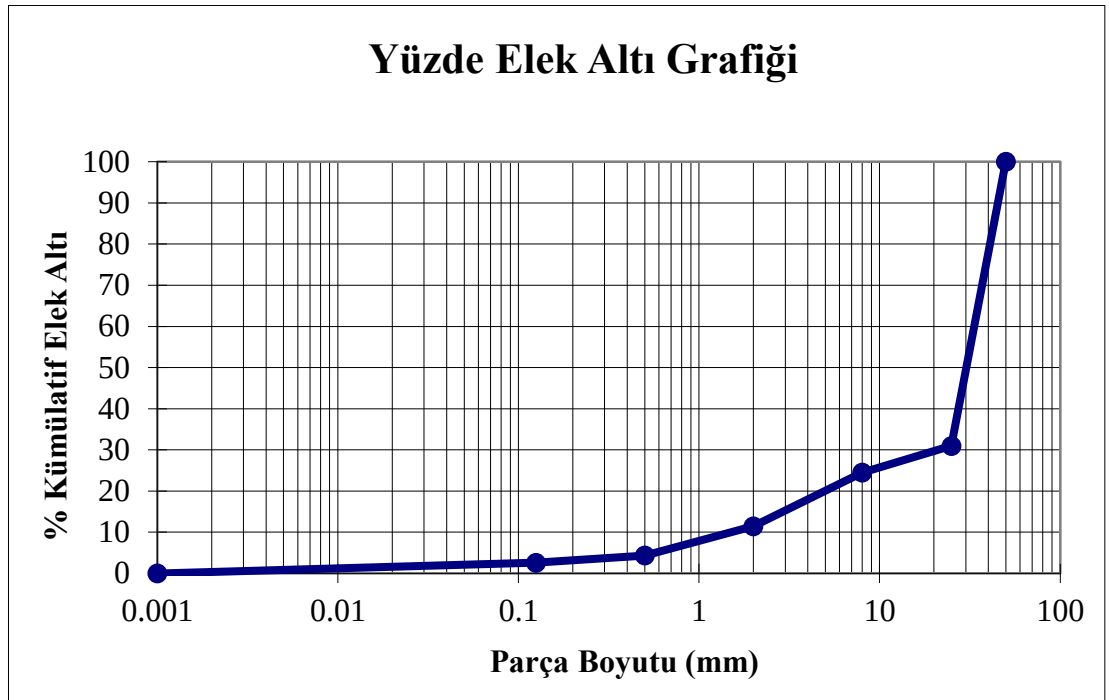
Çizelge C.83 : Kireçtaşı (A) için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	27.82	31.06	27.82	31.1	512
2	-5.6 + 4	9.22	10.29	37.04	41.4	
3	-4 + 2	21.41	23.90	58.45	65.3	
4	-2 + 1	19.16	21.39	77.61	86.6	
5	-1 + 0.5	5.09	5.68	82.70	92.3	
6	-0.5 + 0.125	7.53	8.41	85.14	95.1	
7	-0.125	6.87	7.67	89.57	100.0	



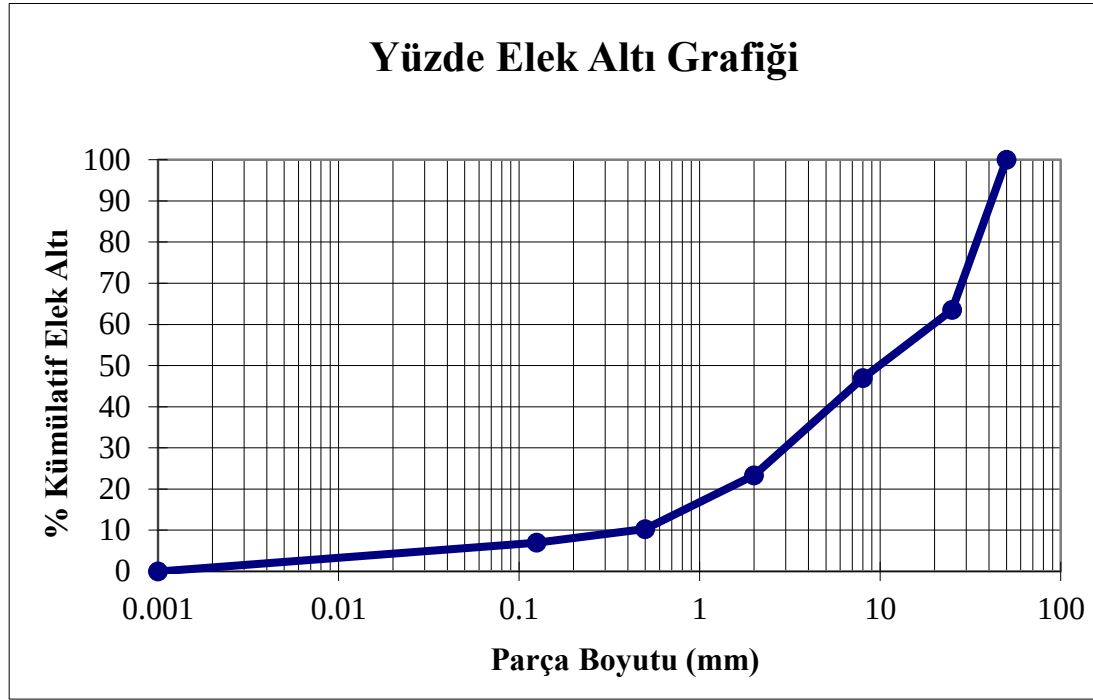
Çizelge C.84 : Kireçtaşı (A) için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	87.36	69.02	87.36	69.0	624
2	-5.6 + 4	8.23	6.50	95.59	75.5	
3	-4 + 2	16.49	13.03	112.08	88.6	
4	-2 + 1	9.01	7.12	121.09	95.7	
5	-1 + 0.5	2.21	1.75	123.30	97.4	
6	-0.5 + 0.125	3.1	2.45	124.19	98.1	
7	-0.125	3.27	2.58	126.57	100.0	



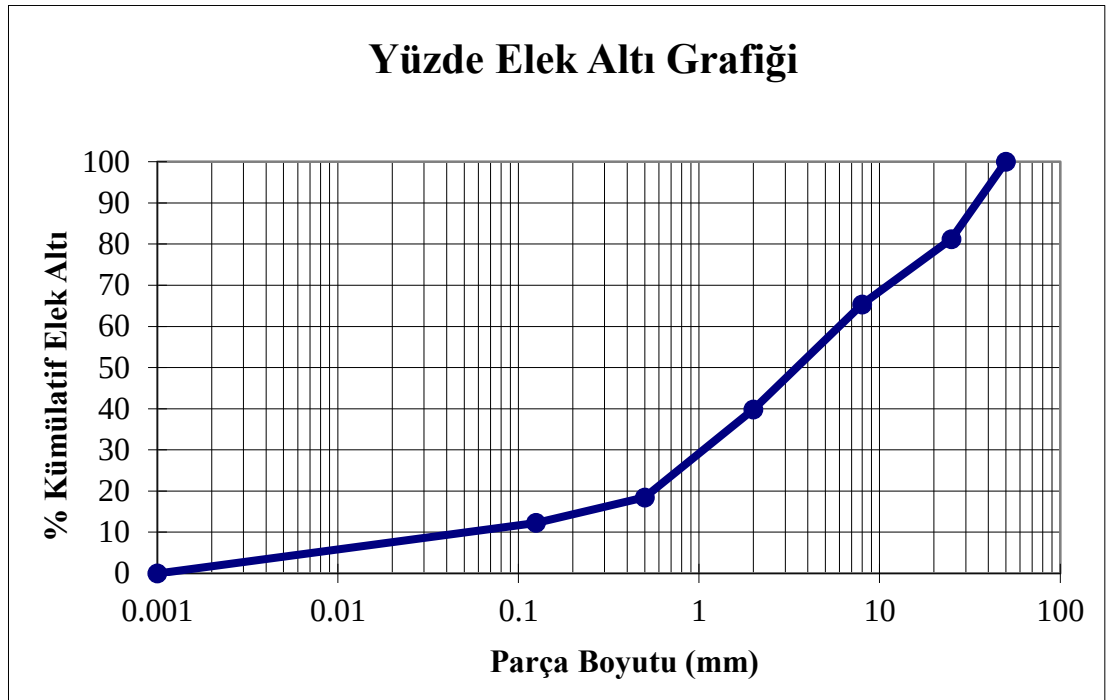
Çizelge C.85 : Kireçtaşı (A) için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	13.35	36.49	13.35	36.5	543
2	-5.6 + 4	6.05	16.53	19.40	53.0	
3	-4 + 2	8.64	23.61	28.04	76.6	
4	-2 + 1	4.78	13.06	32.82	89.7	
5	-1 + 0.5	1.22	3.33	34.04	93.0	
6	-0.5 + 0.125	1.78	4.86	34.60	94.6	
7	-0.125	2.55	6.97	36.59	100.0	



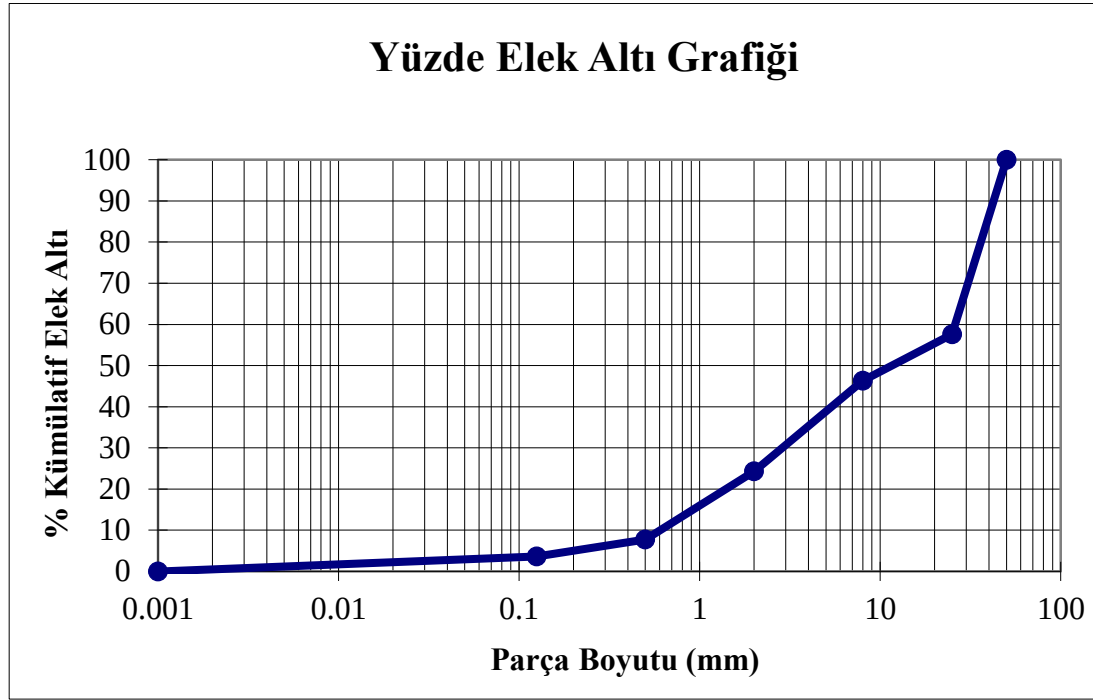
Çizelge C.86 : Kireçtaşı (A) için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	1.3	18.76	1.30	18.8	473
2	-5.6 + 4	1.1	15.87	2.40	34.6	
3	-4 + 2	1.77	25.54	4.17	60.2	
4	-2 + 1	1.48	21.36	5.65	81.5	
5	-1 + 0.5	0.43	6.20	6.08	87.7	
6	-0.5 + 0.125	0.62	8.95	6.27	90.5	
7	-0.125	0.85	12.27	6.93	100.0	



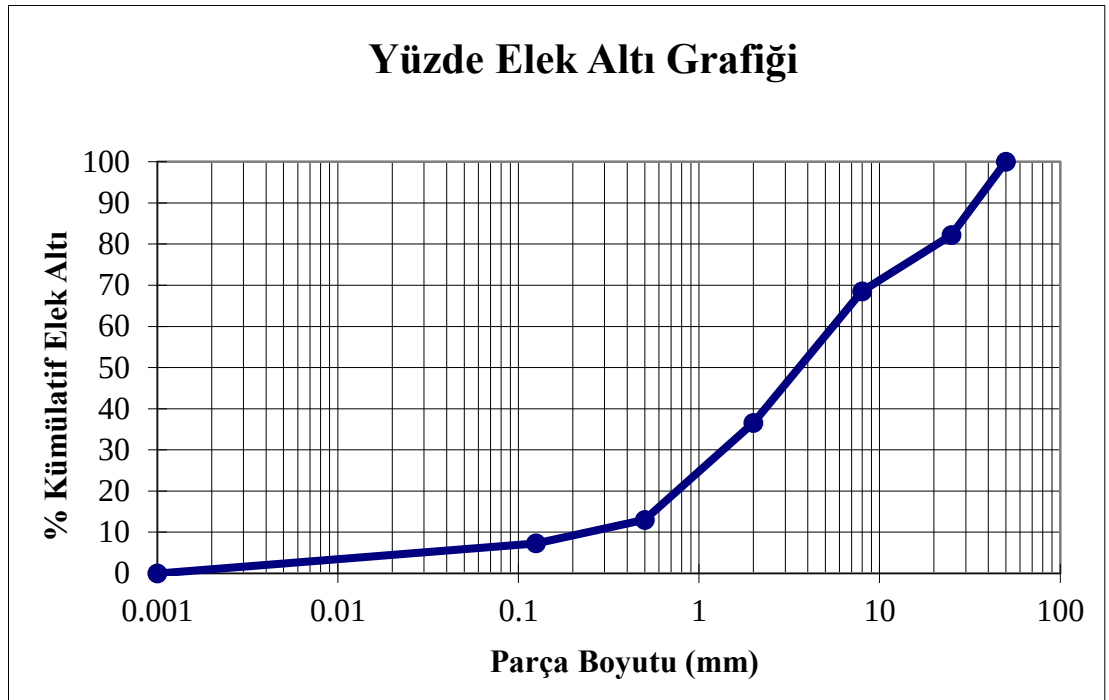
Çizelge C.87 : Kireçtaşı (A) için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	29.25	42.40	29.25	42.4	558
2	-5.6 + 4	7.76	11.25	37.01	53.6	
3	-4 + 2	15.2	22.03	52.21	75.7	
4	-2 + 1	11.42	16.55	63.63	92.2	
5	-1 + 0.5	2.84	4.12	66.47	96.3	
6	-0.5 + 0.125	3.71	5.38	67.34	97.6	
7	-0.125	2.52	3.65	68.99	100.0	



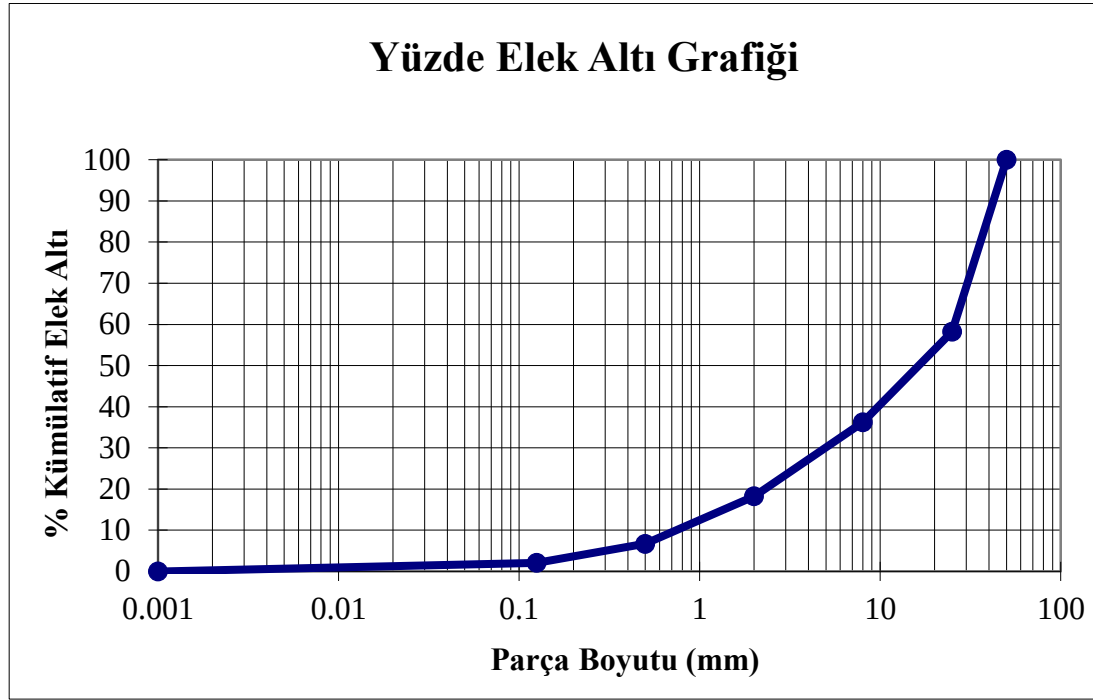
Çizelge C.88 : Kireçtaşı (A) için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	9.31	17.79	9.31	17.8	486
2	-5.6 + 4	7.15	13.67	16.46	31.5	
3	-4 + 2	16.72	31.96	33.18	63.4	
4	-2 + 1	12.34	23.59	45.52	87.0	
5	-1 + 0.5	2.98	5.70	48.50	92.7	
6	-0.5 + 0.125	3.7	7.07	49.22	94.1	
7	-0.125	3.82	7.30	52.32	100.0	



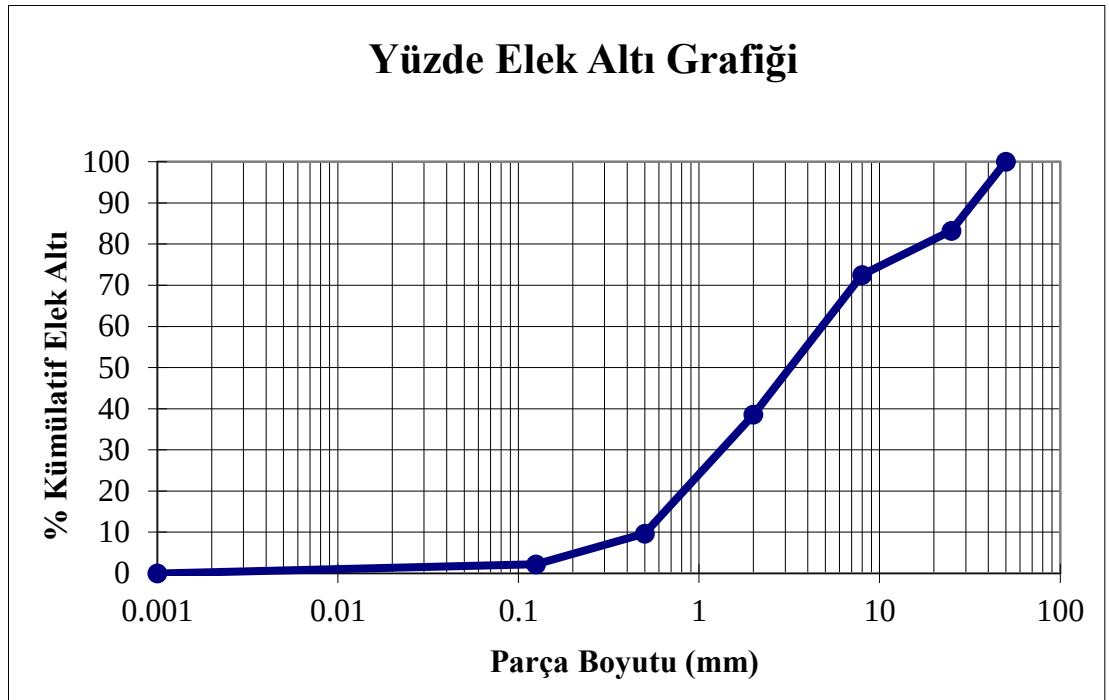
Çizelge C.89 : Kireçtaşı (A) için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	48.48	41.75	48.48	41.7	578
2	-5.6 + 4	25.58	22.03	74.06	63.8	
3	-4 + 2	20.86	17.96	94.92	81.7	
4	-2 + 1	13.4	11.54	108.32	93.3	
5	-1 + 0.5	5.4	4.65	113.72	97.9	
6	-0.5 + 0.125	7.05	6.07	115.37	99.4	
7	-0.125	2.4	2.07	116.12	100.0	



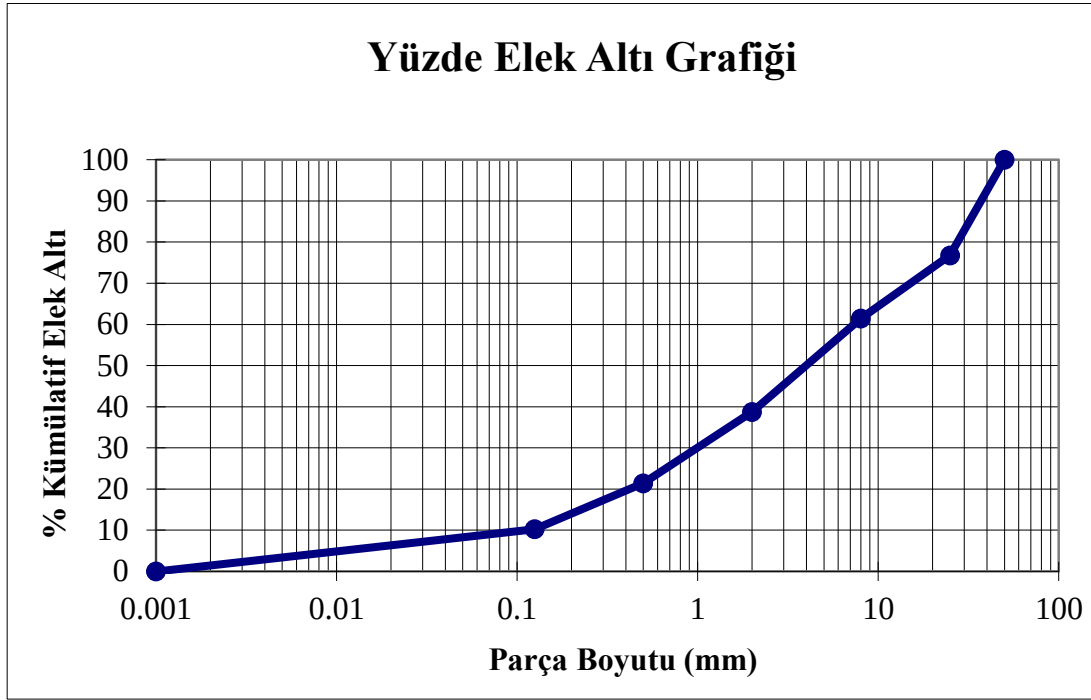
Çizelge C.90 : Kireçtaşı (A) için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	16.61	16.77	16.61	16.8	491
2	-5.6 + 4	10.6	10.70	27.21	27.5	
3	-4 + 2	33.63	33.95	60.84	61.4	
4	-2 + 1	28.64	28.91	89.48	90.3	
5	-1 + 0.5	7.39	7.46	96.87	97.8	
6	-0.5 + 0.125	7.03	7.10	96.51	97.4	
7	-0.125	2.18	2.20	99.05	100.0	



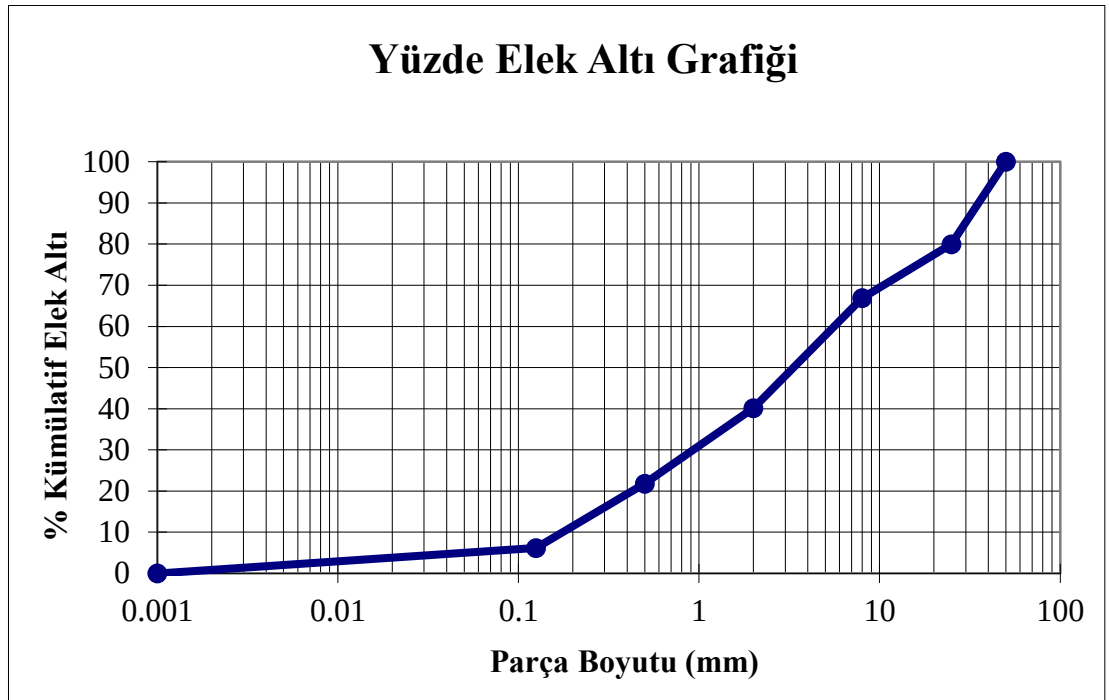
Çizelge C.91 : Altere kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	3.72	23.22	3.72	23.2	478
2	-5.6 + 4	2.46	15.36	6.18	38.6	
3	-4 + 2	3.63	22.66	9.81	61.2	
4	-2 + 1	2.78	17.35	12.59	78.6	
5	-1 + 0.5	1.79	11.17	14.38	89.8	
6	-0.5 + 0.125	1.36	8.49	13.95	87.1	
7	-0.125	1.64	10.24	16.02	100.0	



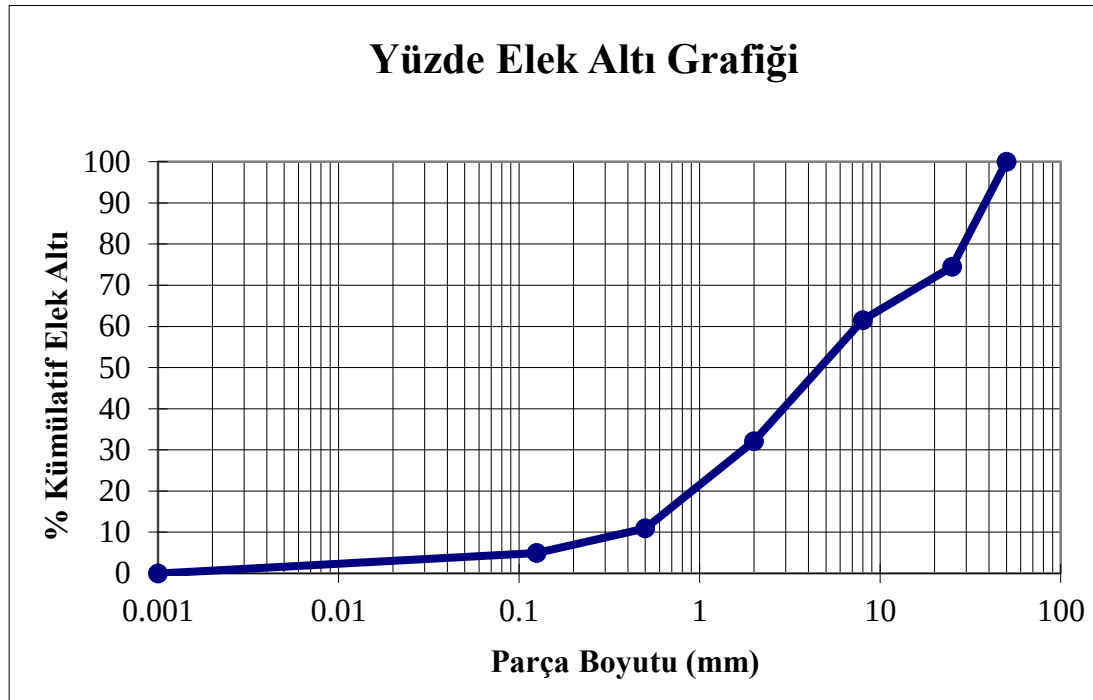
Çizelge C.92 : Altere kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	1.79	20.02	1.79	20.0	468
2	-5.6 + 4	1.17	13.09	2.96	33.1	
3	-4 + 2	2.39	26.73	5.35	59.8	
4	-2 + 1	1.64	18.34	6.99	78.2	
5	-1 + 0.5	1.4	15.66	8.39	93.8	
6	-0.5 + 0.125	0.47	5.26	7.46	83.4	
7	-0.125	0.55	6.15	8.94	100.0	



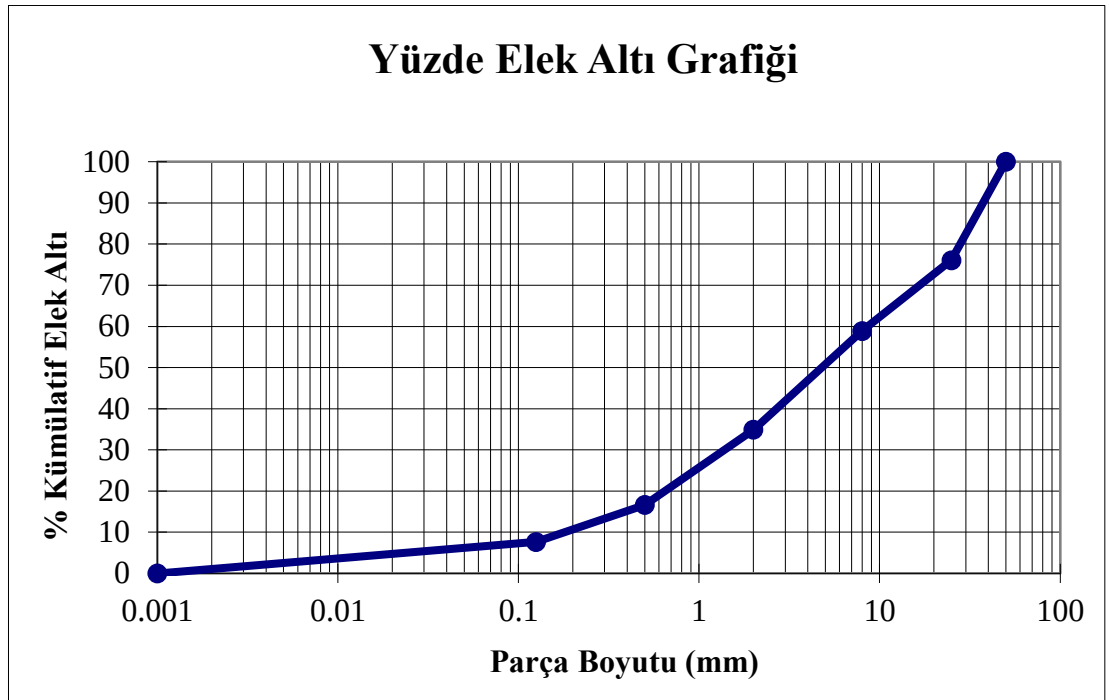
Çizelge C.93 : Altere kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	11.398	25.51	11.40	25.5	515
2	-5.6 + 4	5.78	12.93	17.18	38.4	
3	-4 + 2	13.15	29.43	30.33	67.9	
4	-2 + 1	9.46	21.17	39.79	89.0	
5	-1 + 0.5	2.68	6.00	42.47	95.0	
6	-0.5 + 0.125	4.33	9.69	44.12	98.7	
7	-0.125	2.22	4.97	44.69	100.0	



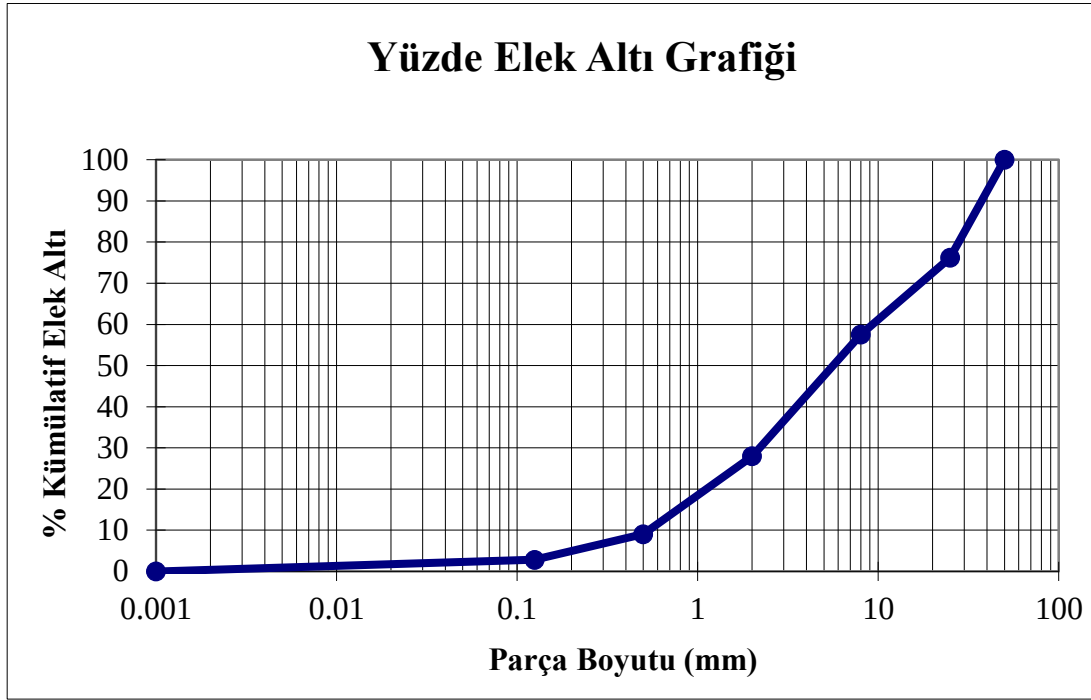
Çizelge C.94 : Altere kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	7.78	23.92	7.78	23.9	504
2	-5.6 + 4	5.59	17.18	13.37	41.1	
3	-4 + 2	7.81	24.01	21.18	65.1	
4	-2 + 1	5.94	18.26	27.12	83.4	
5	-1 + 0.5	2.92	8.98	30.04	92.3	
6	-0.5 + 0.125	4.82	14.82	31.94	98.2	
7	-0.125	2.49	7.65	32.53	100.0	



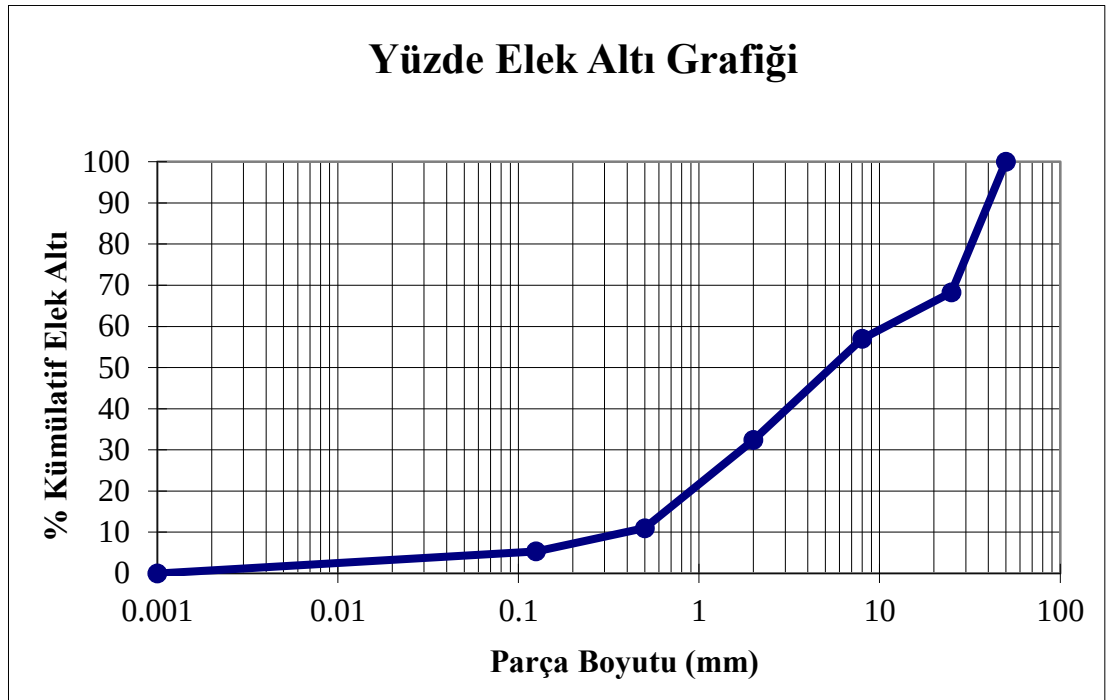
Çizelge C.95 : Altere kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	17.68	23.78	17.68	23.8	527
2	-5.6 + 4	13.88	18.67	31.56	42.5	
3	-4 + 2	21.98	29.57	53.54	72.0	
4	-2 + 1	14.09	18.95	67.63	91.0	
5	-1 + 0.5	4.62	6.21	72.25	97.2	
6	-0.5 + 0.125	7.35	9.89	74.98	100.9	
7	-0.125	2.09	2.81	74.34	100.0	



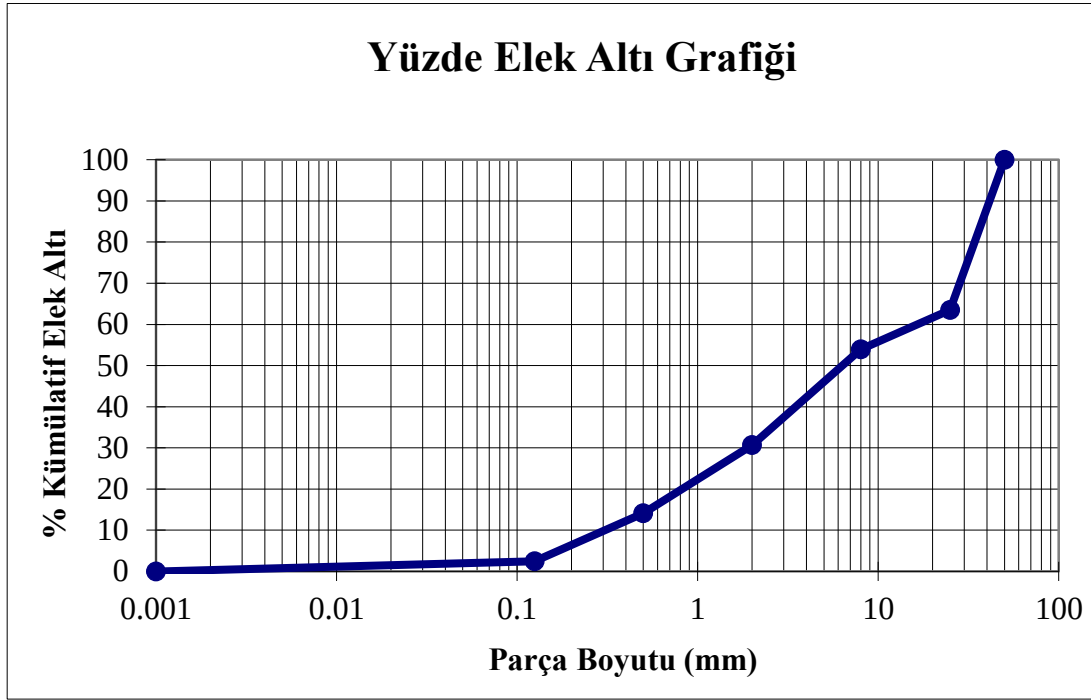
Çizelge C.96 : Altere kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	24.56	31.73	24.56	31.7	525
2	-5.6 + 4	8.72	11.27	33.28	43.0	
3	-4 + 2	19.02	24.57	52.30	67.6	
4	-2 + 1	16.6	21.45	68.90	89.0	
5	-1 + 0.5	4.35	5.62	73.25	94.6	
6	-0.5 + 0.125	7.52	9.72	76.42	98.7	
7	-0.125	4.15	5.36	77.40	100.0	



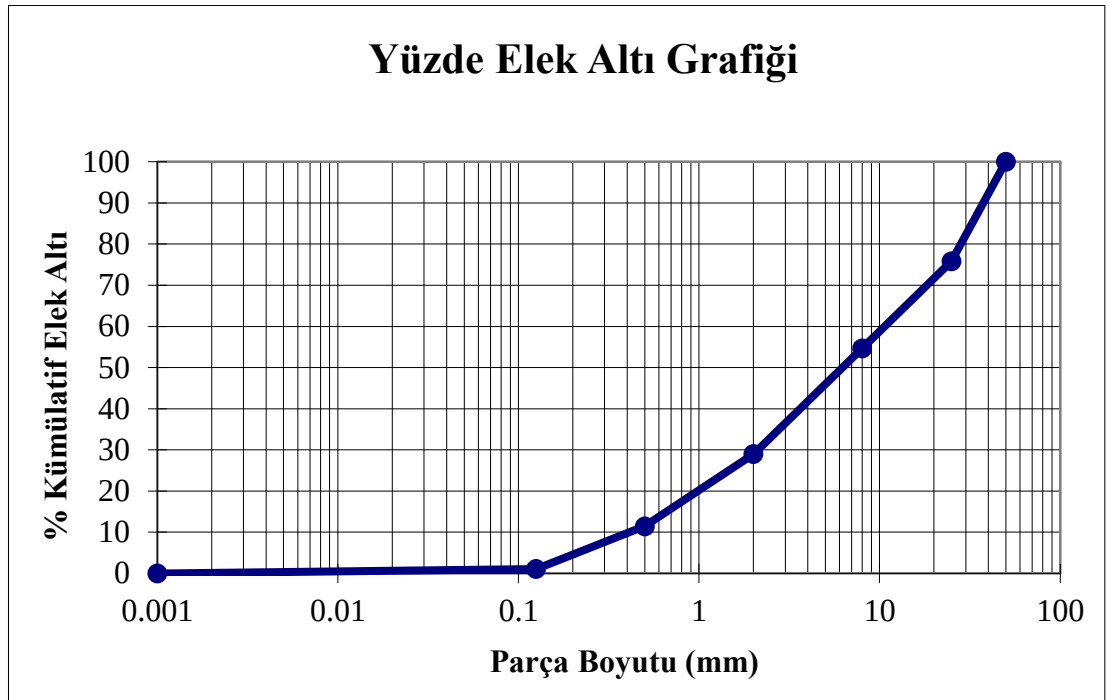
Çizelge C.97 : Altere kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	7.87	36.45	7.87	36.5	525
2	-5.6 + 4	2.07	9.59	9.94	46.0	
3	-4 + 2	5.02	23.25	14.96	69.3	
4	-2 + 1	3.58	16.58	18.54	85.9	
5	-1 + 0.5	2.52	11.67	21.06	97.5	
6	-0.5 + 0.125	0.84	3.89	19.38	89.8	
7	-0.125	0.53	2.45	21.59	100.0	



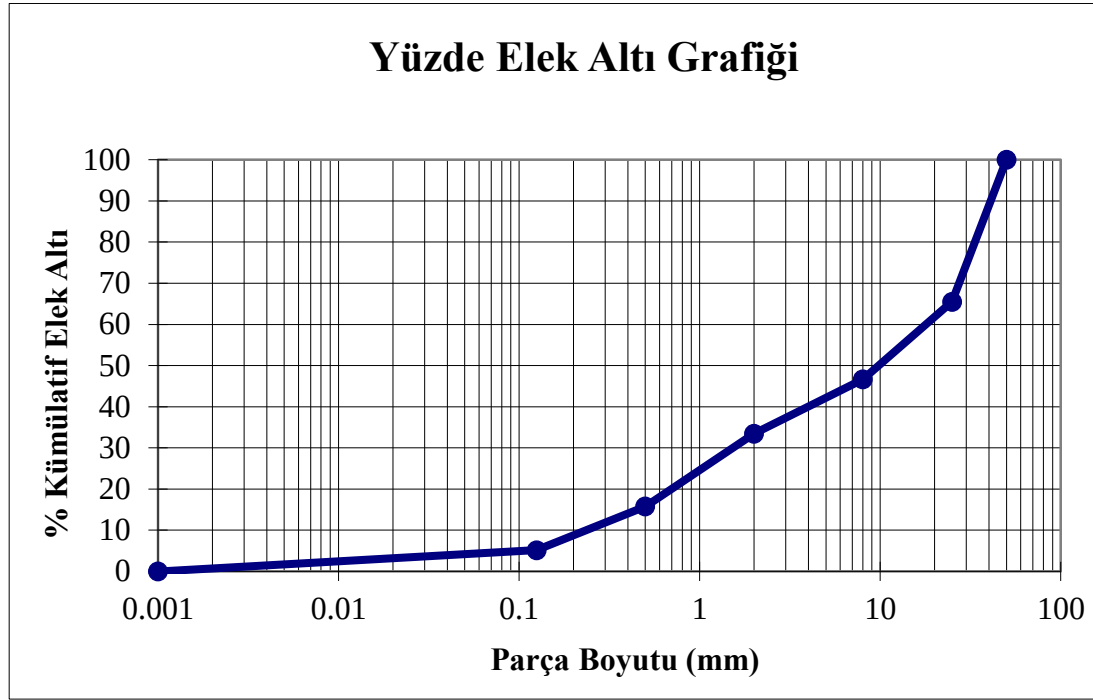
Çizelge C.98 : Altere kireçtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	10.32	24.17	10.32	24.2	518
2	-5.6 + 4	9.03	21.15	19.35	45.3	
3	-4 + 2	10.96	25.67	30.31	71.0	
4	-2 + 1	7.49	17.55	37.80	88.5	
5	-1 + 0.5	4.43	10.38	42.23	98.9	
6	-0.5 + 0.125	0.75	1.76	38.55	90.3	
7	-0.125	0.46	1.08	42.69	100.0	



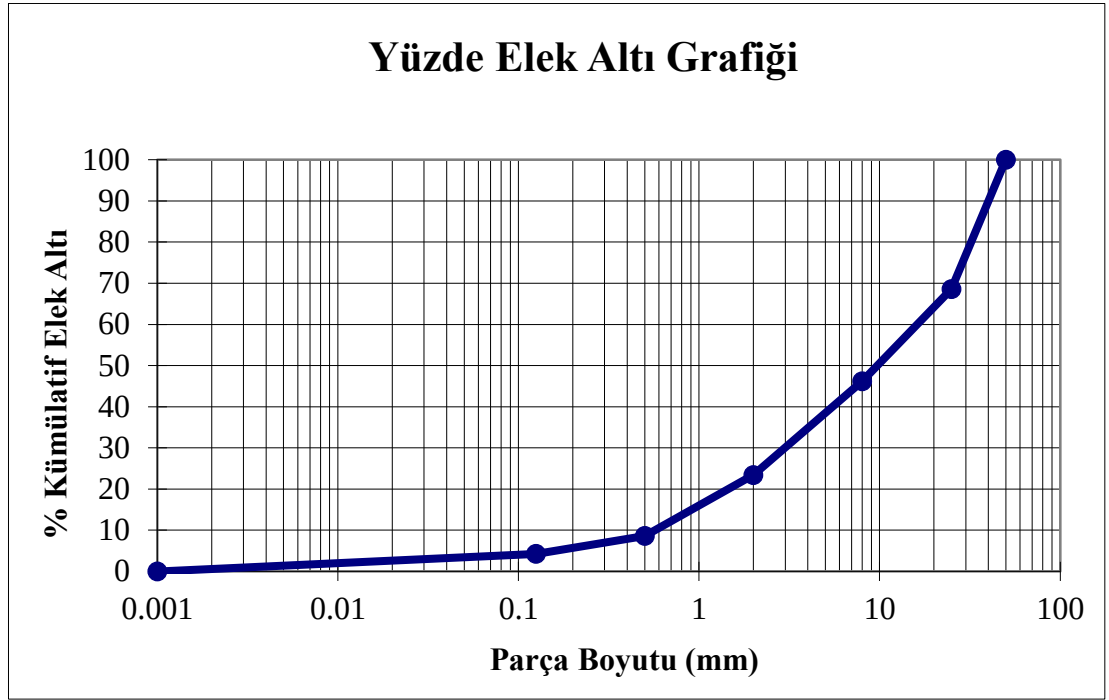
Çizelge C.99 : Altere kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	7.86	34.50	7.86	34.5	537
2	-5.6 + 4	4.29	18.83	12.15	53.3	
3	-4 + 2	3.01	13.21	15.16	66.5	
4	-2 + 1	4.03	17.69	19.19	84.2	
5	-1 + 0.5	2.42	10.62	21.61	94.9	
6	-0.5 + 0.125	4.5	19.75	23.69	104.0	
7	-0.125	1.17	5.14	22.78	100.0	



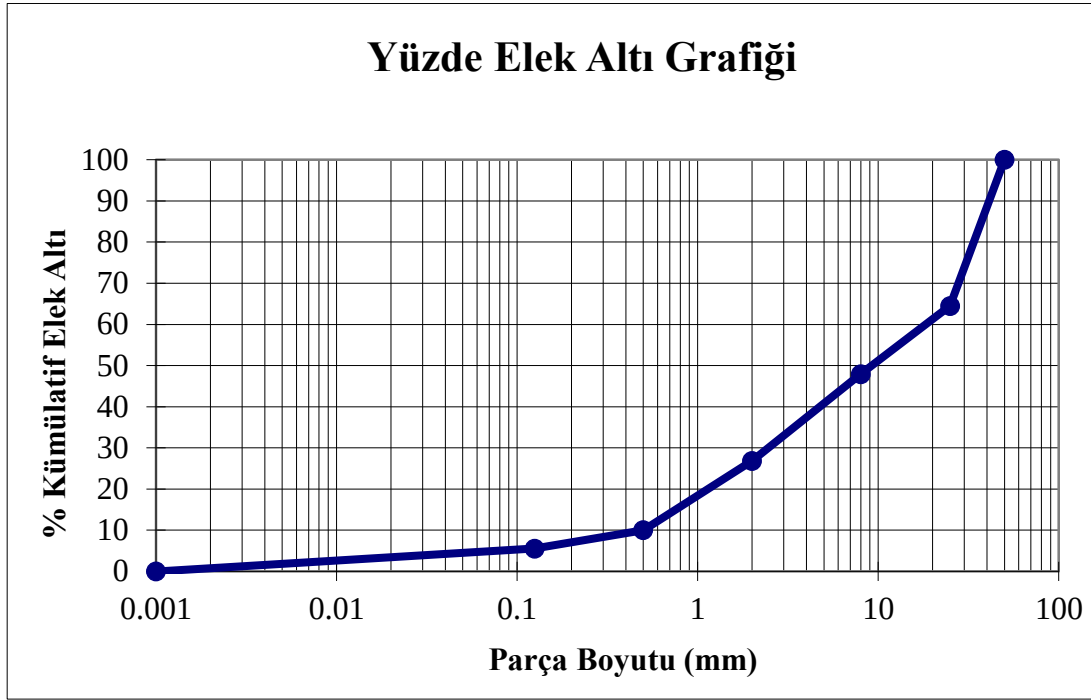
Çizelge C.100 : Altere kireçtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	13.53	31.40	13.53	31.4	547
2	-5.6 + 4	9.66	22.42	23.19	53.8	
3	-4 + 2	9.81	22.77	33.00	76.6	
4	-2 + 1	6.38	14.81	39.38	91.4	
5	-1 + 0.5	1.88	4.36	41.26	95.8	
6	-0.5 + 0.125	2.89	6.71	42.27	98.1	
7	-0.125	1.83	4.25	43.09	100.0	



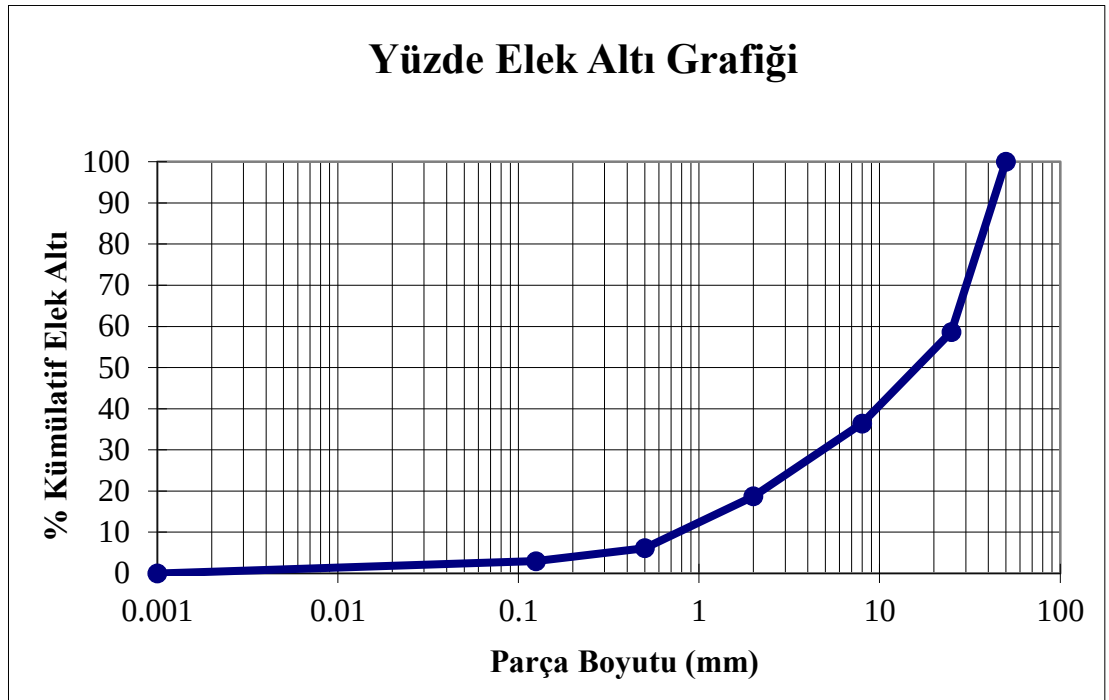
Çizelge C.101 : Altere kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	29.78	35.49	29.78	35.5	542
2	-5.6 + 4	13.9	16.56	43.68	52.0	
3	-4 + 2	17.7	21.09	61.38	73.1	
4	-2 + 1	14.13	16.84	75.51	90.0	
5	-1 + 0.5	3.77	4.49	79.28	94.5	
6	-0.5 + 0.125	5.82	6.94	81.33	96.9	
7	-0.125	4.64	5.53	83.92	100.0	



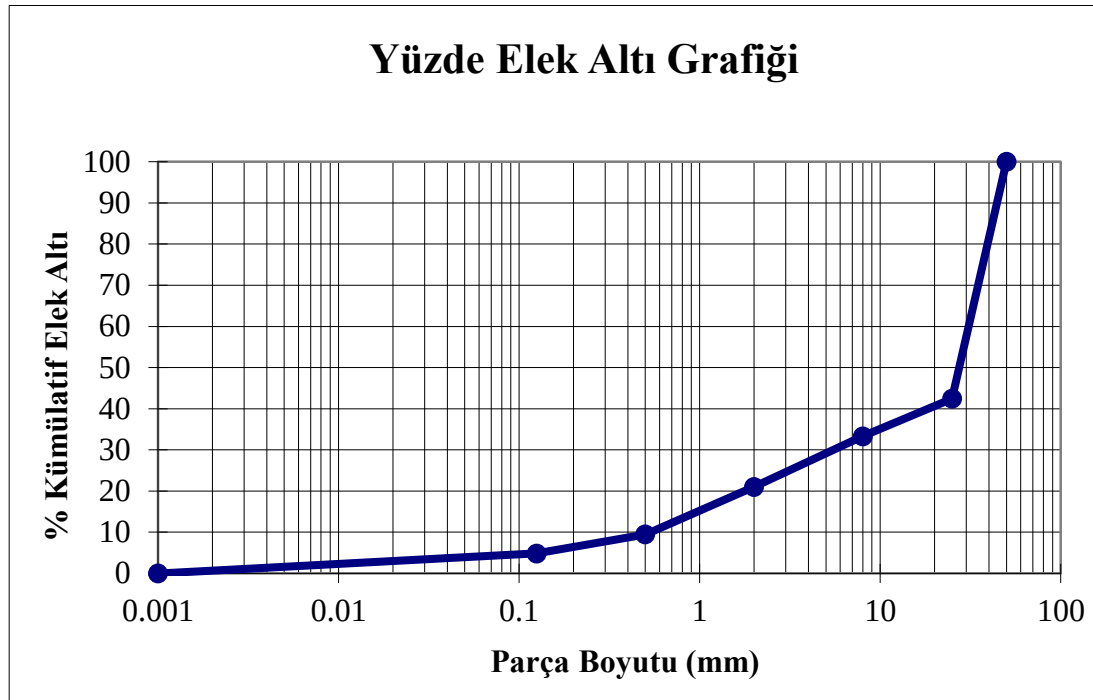
Çizelge C.102 : Altere kireçtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	36.97	41.32	36.97	41.3	576
2	-5.6 + 4	19.92	22.26	56.89	63.6	
3	-4 + 2	15.82	17.68	72.71	81.3	
4	-2 + 1	11.27	12.59	83.98	93.9	
5	-1 + 0.5	2.82	3.15	86.80	97.0	
6	-0.5 + 0.125	4.34	4.85	88.32	98.7	
7	-0.125	2.68	3.00	89.48	100.0	



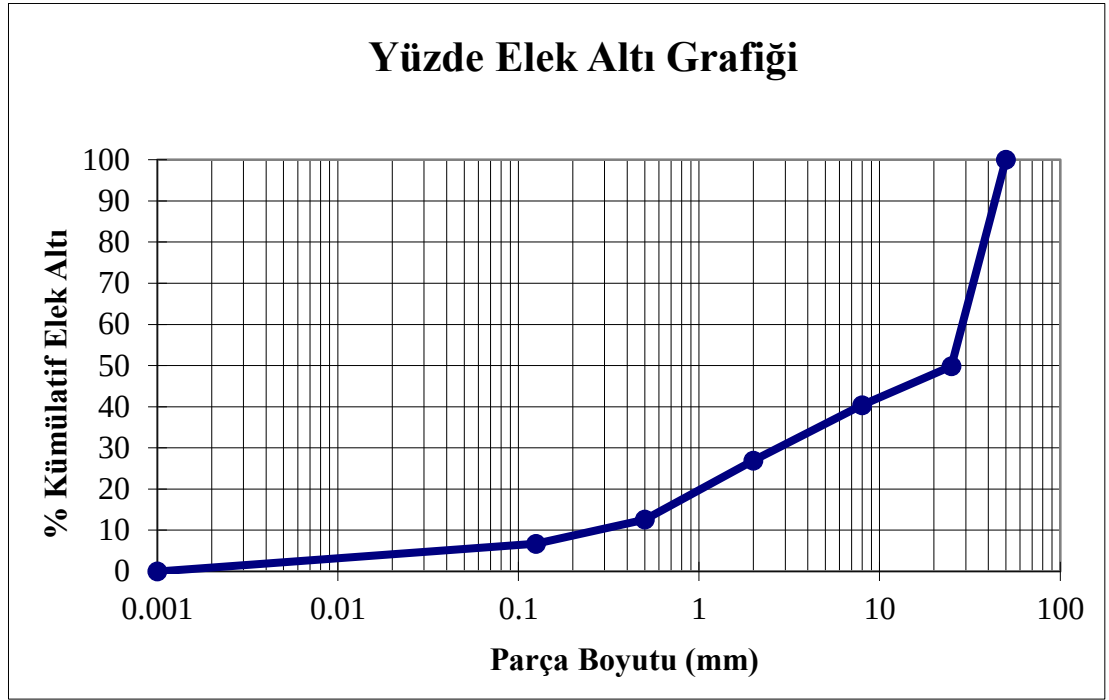
Çizelge C.103 : Diyabaz için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	15.66	57.55	15.66	57.6	588
2	-5.6 + 4	2.49	9.15	18.15	66.7	
3	-4 + 2	3.34	12.27	21.49	79.0	
4	-2 + 1	3.14	11.54	24.63	90.5	
5	-1 + 0.5	1.26	4.63	25.89	95.1	
6	-0.5 + 0.125	2.36	8.67	26.99	99.2	
7	-0.125	1.32	4.85	27.21	100.0	



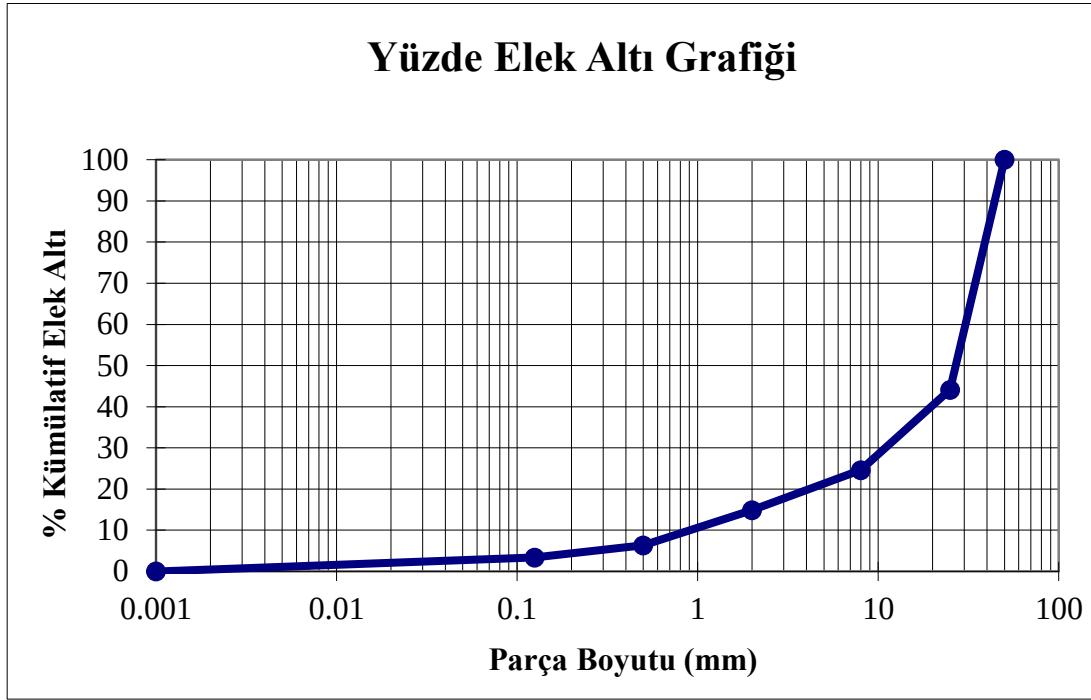
Çizelge C.104 : Diyabaz için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	11.53	50.15	11.53	50.2	562
2	-5.6 + 4	2.17	9.44	13.70	59.6	
3	-4 + 2	3.1	13.48	16.80	73.1	
4	-2 + 1	3.3	14.35	20.10	87.4	
5	-1 + 0.5	1.35	5.87	21.45	93.3	
6	-0.5 + 0.125	2.43	10.57	22.53	98.0	
7	-0.125	1.54	6.70	22.99	100.0	



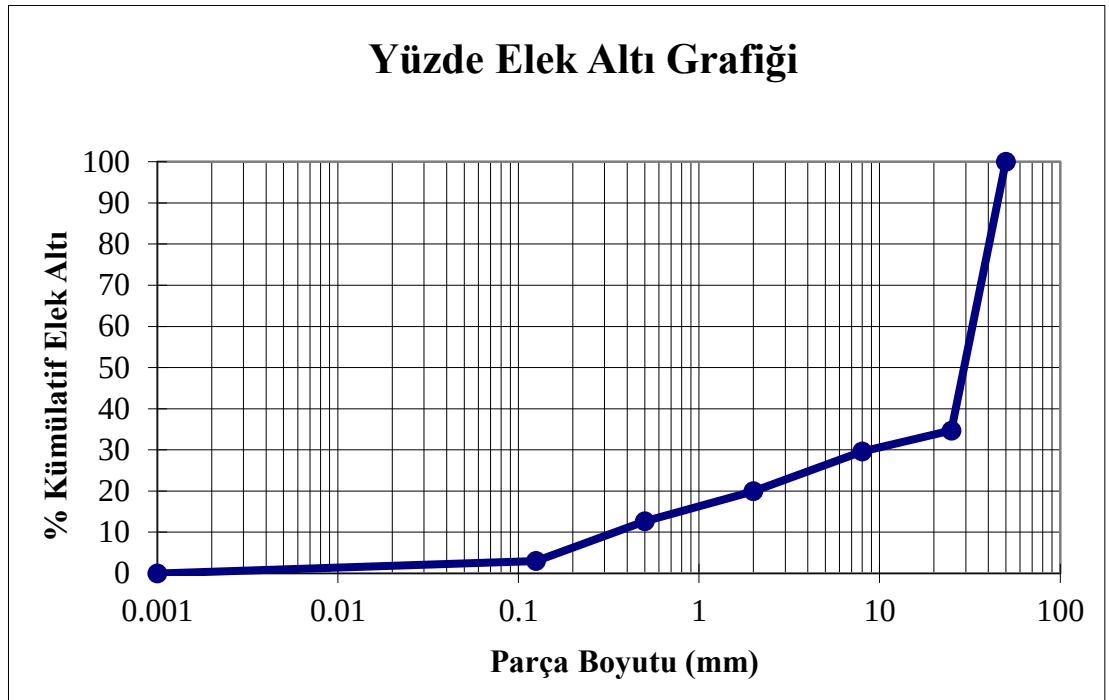
Çizelge C.105 : Diyabaz için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	39.95	55.88	39.95	55.9	606
2	-5.6 + 4	13.96	19.53	53.91	75.4	
3	-4 + 2	6.93	9.69	60.84	85.1	
4	-2 + 1	6.13	8.57	66.97	93.7	
5	-1 + 0.5	2.1	2.94	69.07	96.6	
6	-0.5 + 0.125	3.91	5.47	70.88	99.1	
7	-0.125	2.42	3.39	71.49	100.0	



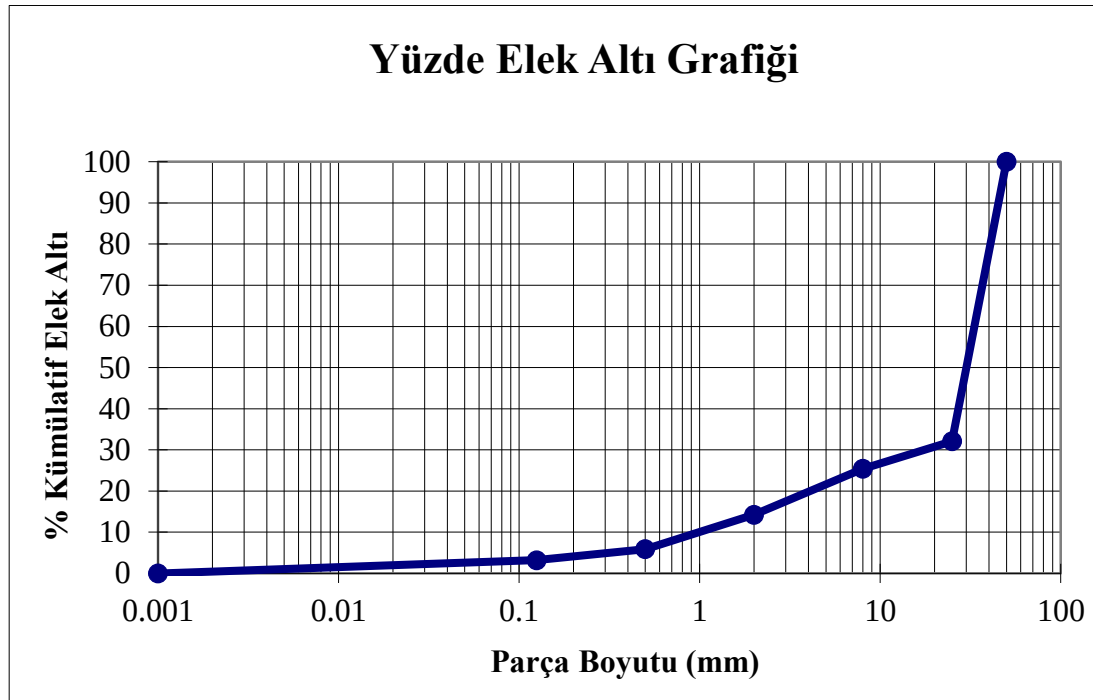
Çizelge C.106 : Diyabaz için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	48.07	65.29	48.07	65.3	592
2	-5.6 + 4	3.74	5.08	51.81	70.4	
3	-4 + 2	7.12	9.67	58.93	80.0	
4	-2 + 1	5.38	7.31	64.31	87.3	
5	-1 + 0.5	7.11	9.66	71.42	97.0	
6	-0.5 + 0.125	3.68	5.00	67.99	92.3	
7	-0.125	2.21	3.00	73.63	100.0	



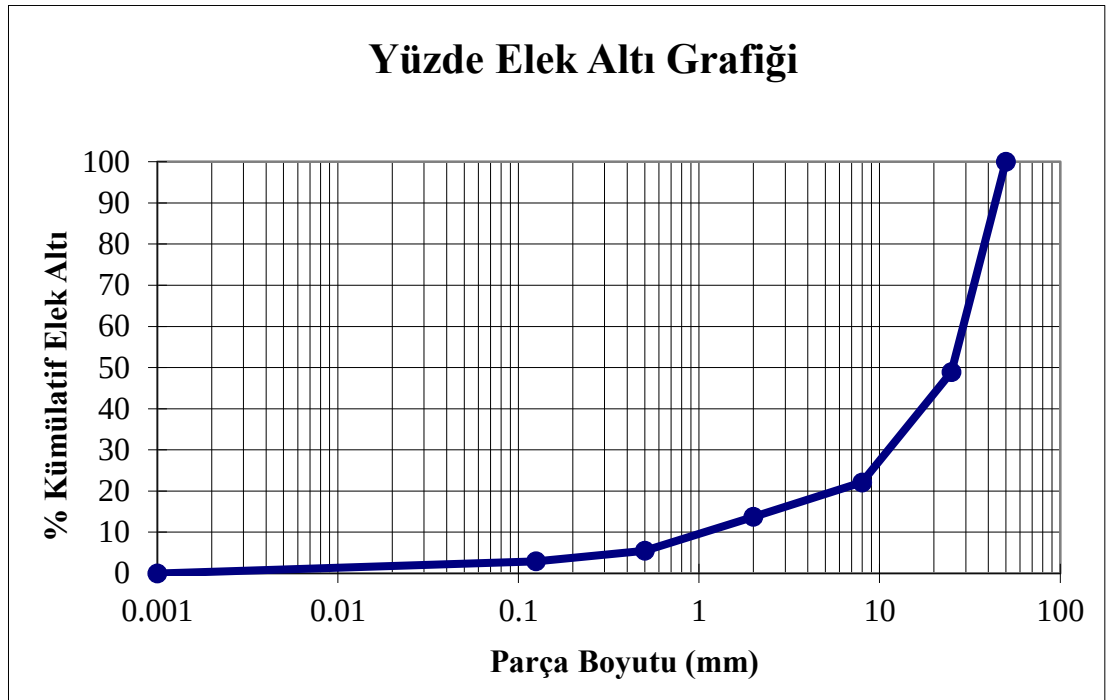
Çizelge C.107 : Diyabaz için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	53.93	67.90	53.93	67.9	618
2	-5.6 + 4	5.31	6.69	59.24	74.6	
3	-4 + 2	8.87	11.17	68.11	85.8	
4	-2 + 1	6.64	8.36	74.75	94.1	
5	-1 + 0.5	2.12	2.67	76.87	96.8	
6	-0.5 + 0.125	3.97	5.00	78.72	99.1	
7	-0.125	2.55	3.21	79.42	100.0	



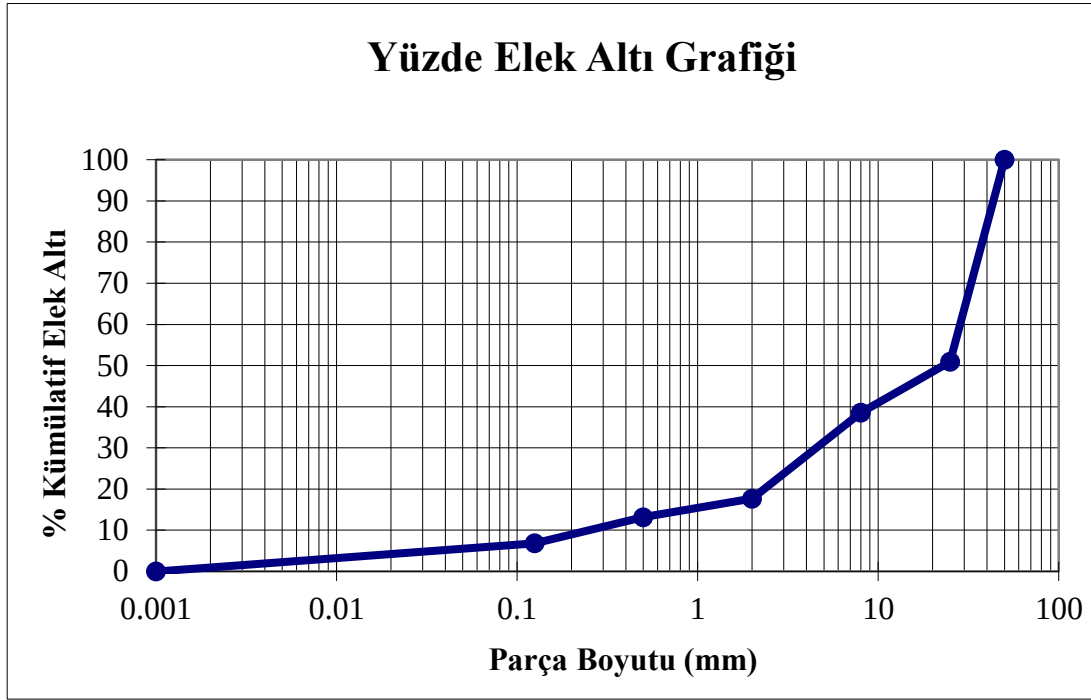
Çizelge C.108 : Diyabaz için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	57.58	51.10	57.58	51.1	606
2	-5.6 + 4	30.17	26.77	87.75	77.9	
3	-4 + 2	9.45	8.39	97.20	86.3	
4	-2 + 1	9.29	8.24	106.49	94.5	
5	-1 + 0.5	2.88	2.56	109.37	97.1	
6	-0.5 + 0.125	5.07	4.50	111.56	99.0	
7	-0.125	3.31	2.94	112.68	100.0	



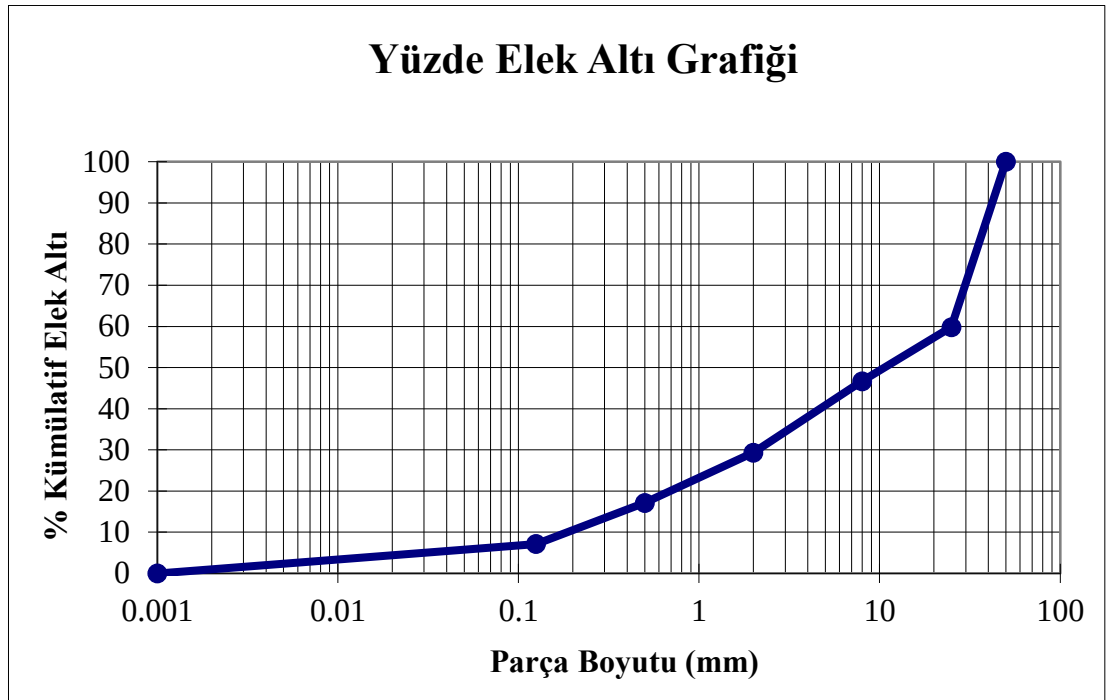
Çizelge C.109 : Diyabaz için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	13.58	49.08	13.58	49.1	573
2	-5.6 + 4	3.42	12.36	17.00	61.4	
3	-4 + 2	5.78	20.89	22.78	82.3	
4	-2 + 1	1.25	4.52	24.03	86.8	
5	-1 + 0.5	1.75	6.32	25.78	93.2	
6	-0.5 + 0.125	3.65	13.19	27.68	100.0	
7	-0.125	1.89	6.83	27.67	100.0	



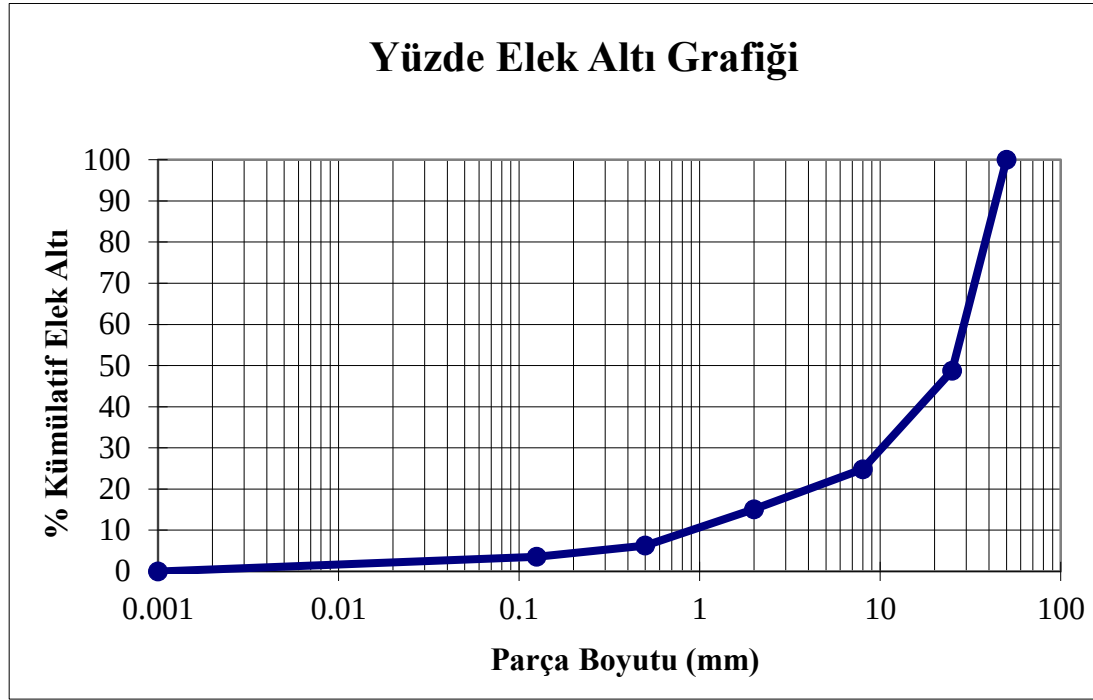
Çizelge C.110 : Diyabaz için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	10.54	40.15	10.54	40.2	531
2	-5.6 + 4	3.45	13.14	13.99	53.3	
3	-4 + 2	4.56	17.37	18.55	70.7	
4	-2 + 1	3.2	12.19	21.75	82.9	
5	-1 + 0.5	2.63	10.02	24.38	92.9	
6	-0.5 + 0.125	2.1	8.00	23.85	90.9	
7	-0.125	1.87	7.12	26.25	100.0	



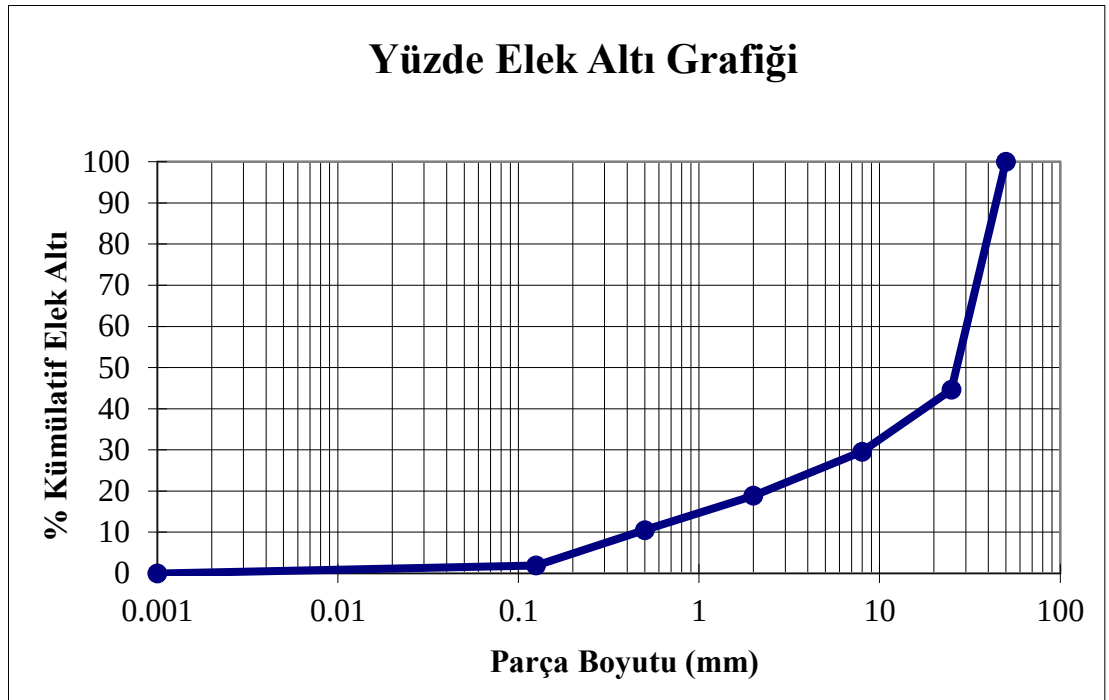
Çizelge C.111 : Diyabaz için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	40.05	51.24	40.05	51.2	600
2	-5.6 + 4	18.69	23.91	58.74	75.2	
3	-4 + 2	7.62	9.75	66.36	84.9	
4	-2 + 1	6.89	8.82	73.25	93.7	
5	-1 + 0.5	2.13	2.73	75.38	96.4	
6	-0.5 + 0.125	3.91	5.00	77.16	98.7	
7	-0.125	2.78	3.56	78.16	100.0	



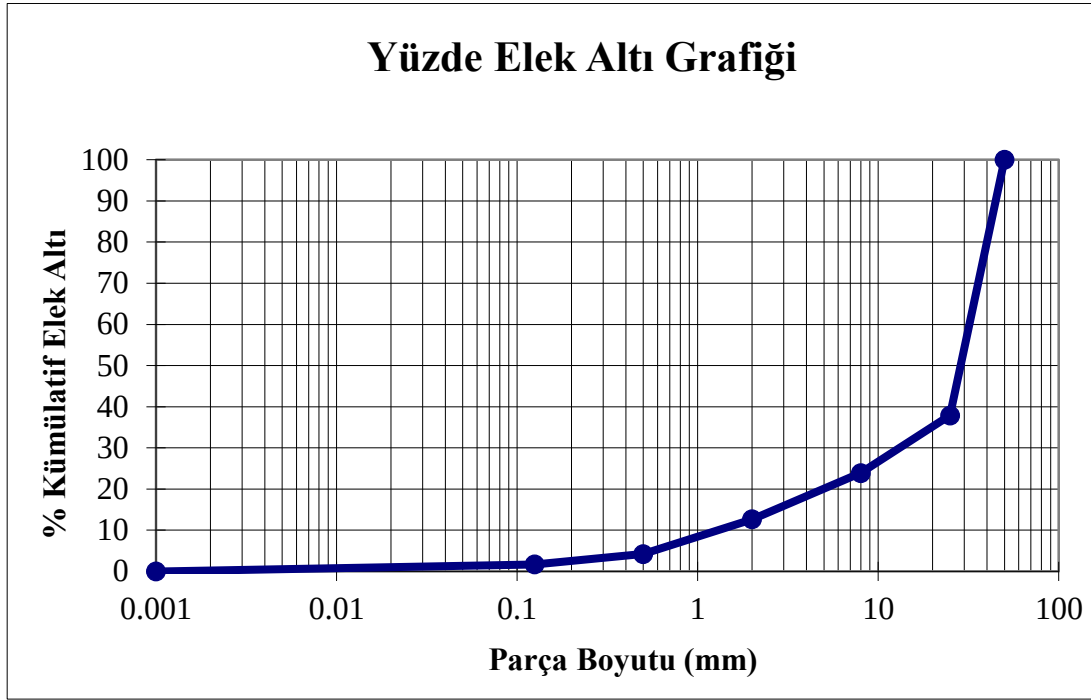
Çizelge C.112 : Diyabaz için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	45.69	55.36	45.69	55.4	587
2	-5.6 + 4	12.42	15.05	58.11	70.4	
3	-4 + 2	8.82	10.69	66.93	81.1	
4	-2 + 1	6.9	8.36	73.83	89.5	
5	-1 + 0.5	7.12	8.63	80.95	98.1	
6	-0.5 + 0.125	2.63	3.19	76.46	92.6	
7	-0.125	1.58	1.91	82.53	100.0	



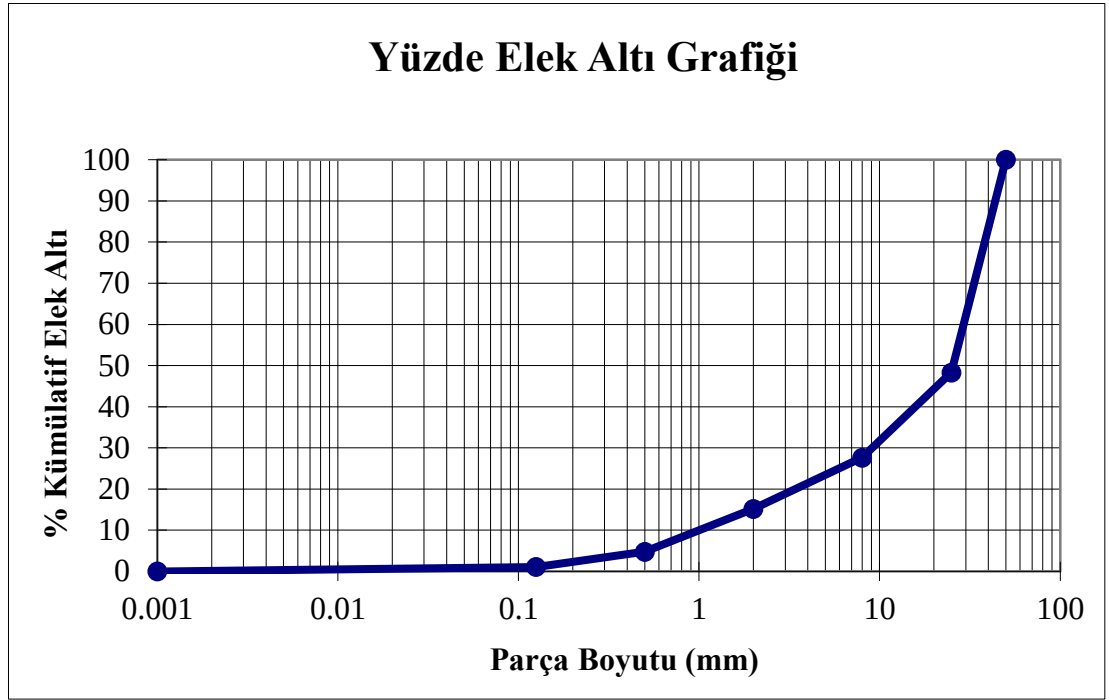
Çizelge C.113 : Diyabaz için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLÇM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	51.84	62.08	51.84	62.1	620
2	-5.6 + 4	11.69	14.00	63.53	76.1	
3	-4 + 2	9.41	11.27	72.94	87.4	
4	-2 + 1	7.02	8.41	79.96	95.8	
5	-1 + 0.5	2.13	2.55	82.09	98.3	
6	-0.5 + 0.125	3.85	4.61	83.81	100.4	
7	-0.125	1.41	1.69	83.50	100.0	



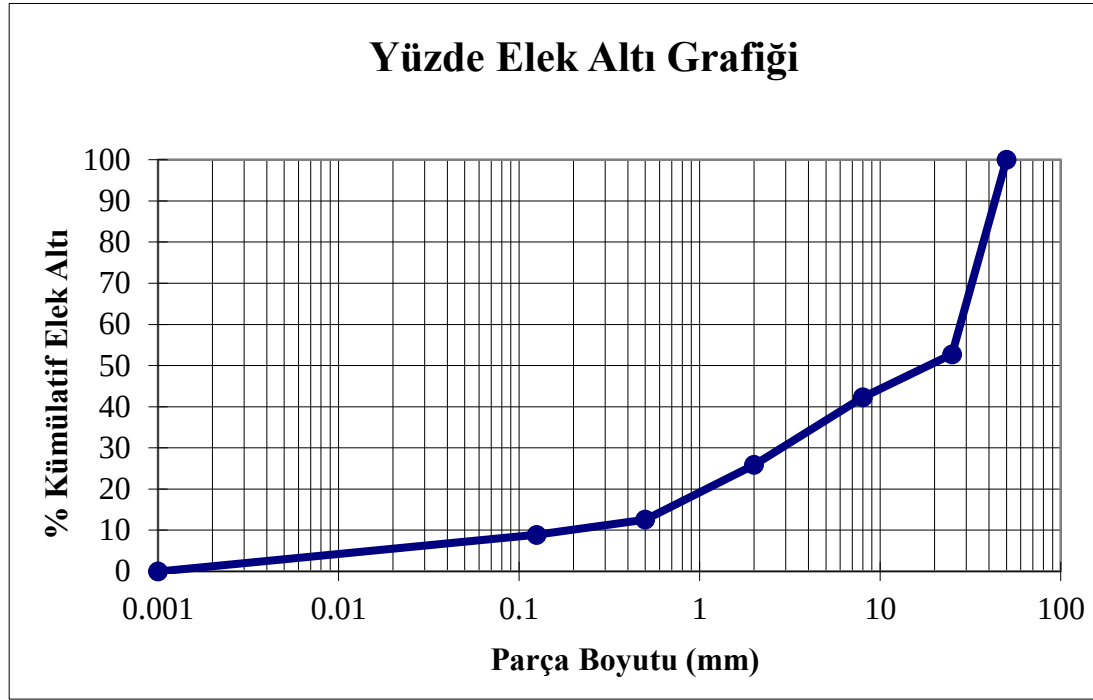
Çizelge C.114 : Diyabaz için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	51.26	51.68	51.26	51.7	600
2	-5.6 + 4	20.51	20.68	71.77	72.4	
3	-4 + 2	12.36	12.46	84.13	84.8	
4	-2 + 1	10.32	10.41	94.45	95.2	
5	-1 + 0.5	3.65	3.68	98.10	98.9	
6	-0.5 + 0.125	1.56	1.57	96.01	96.8	
7	-0.125	1.08	1.09	99.18	100.0	



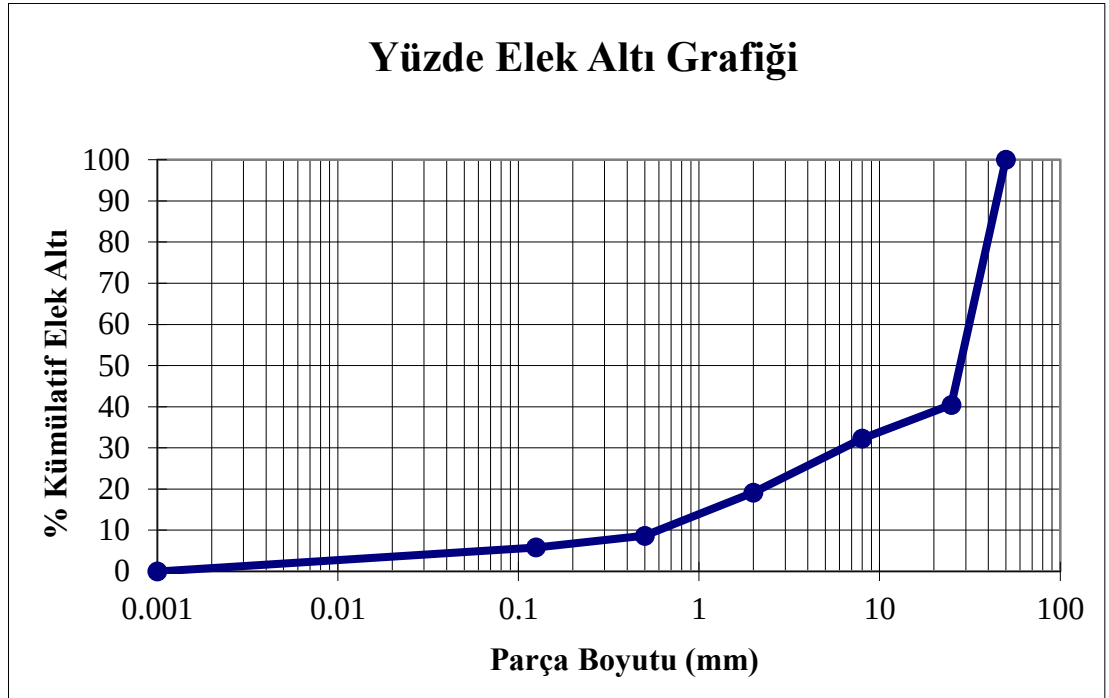
Çizelge C.115 : Çamurtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	12.24	47.24	12.24	47.2	553
2	-5.6 + 4	2.71	10.46	14.95	57.7	
3	-4 + 2	4.25	16.40	19.20	74.1	
4	-2 + 1	3.45	13.32	22.65	87.4	
5	-1 + 0.5	0.96	3.71	23.61	91.1	
6	-0.5 + 0.125	2.13	8.22	24.78	95.6	
7	-0.125	2.3	8.88	25.91	100.0	



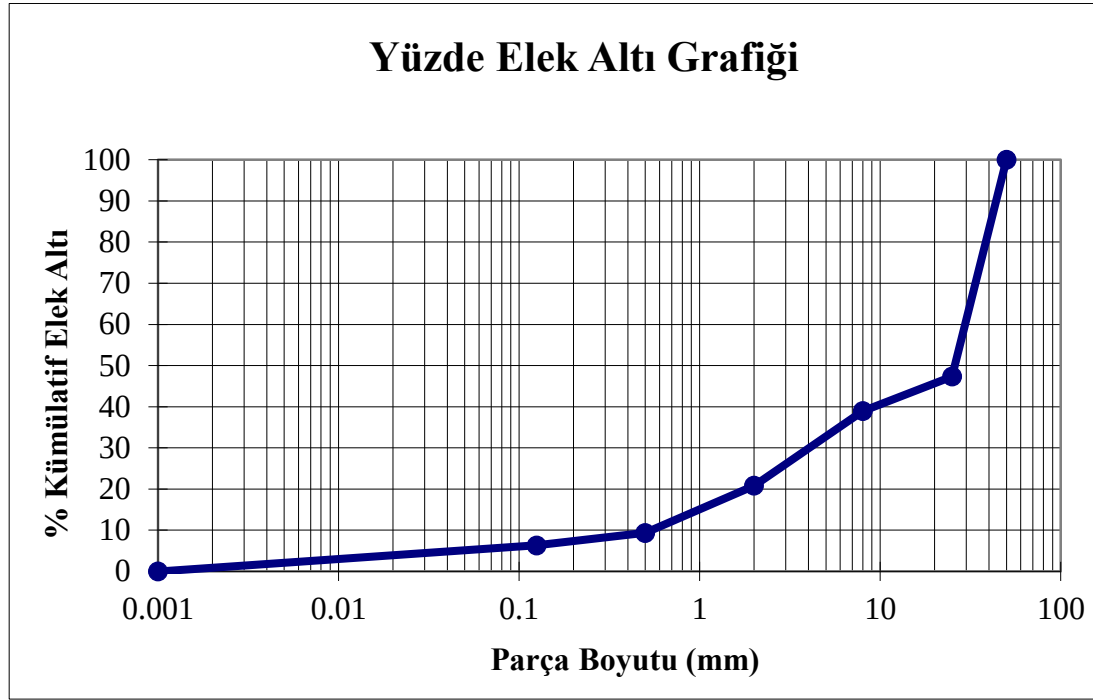
Çizelge C.116 : Çamurtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	18.72	59.54	18.72	59.5	590
2	-5.6 + 4	2.58	8.21	21.30	67.7	
3	-4 + 2	4.12	13.10	25.42	80.9	
4	-2 + 1	3.3	10.50	28.72	91.3	
5	-1 + 0.5	0.89	2.83	29.61	94.2	
6	-0.5 + 0.125	1.7	5.41	30.42	96.8	
7	-0.125	1.83	5.82	31.44	100.0	



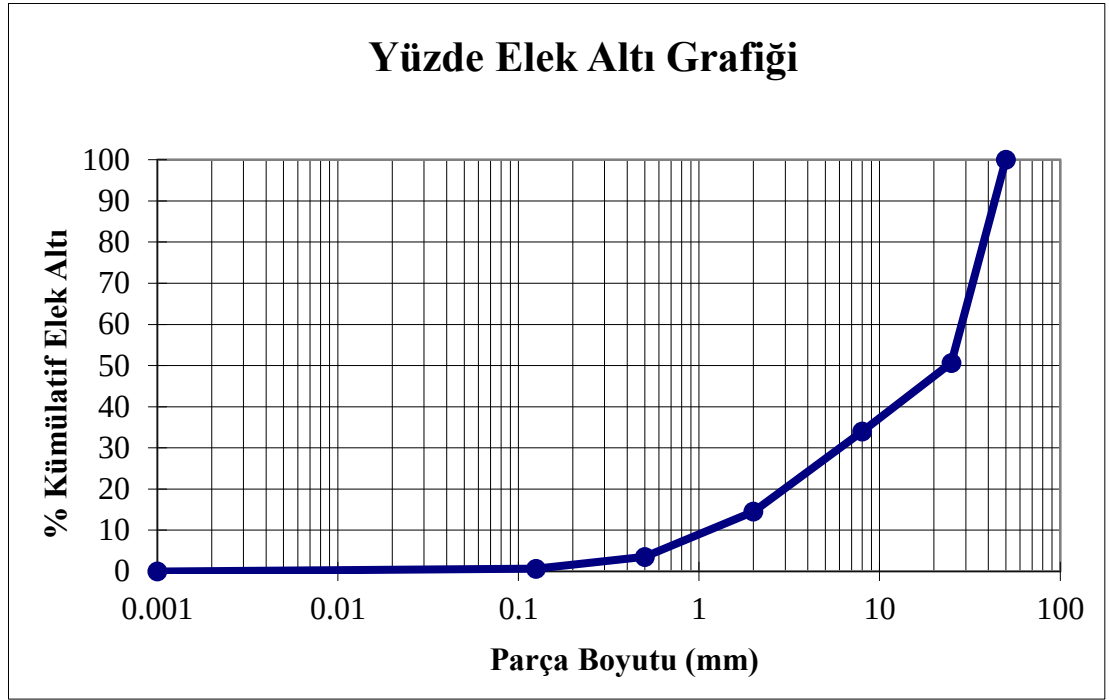
Çizelge C.117 : Çamurtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	35.89	52.64	35.89	52.6	573
2	-5.6 + 4	5.74	8.42	41.63	61.1	
3	-4 + 2	12.35	18.11	53.98	79.2	
4	-2 + 1	7.83	11.48	61.81	90.7	
5	-1 + 0.5	2.07	3.04	63.88	93.7	
6	-0.5 + 0.125	3.52	5.16	65.33	95.8	
7	-0.125	4.3	6.31	68.18	100.0	



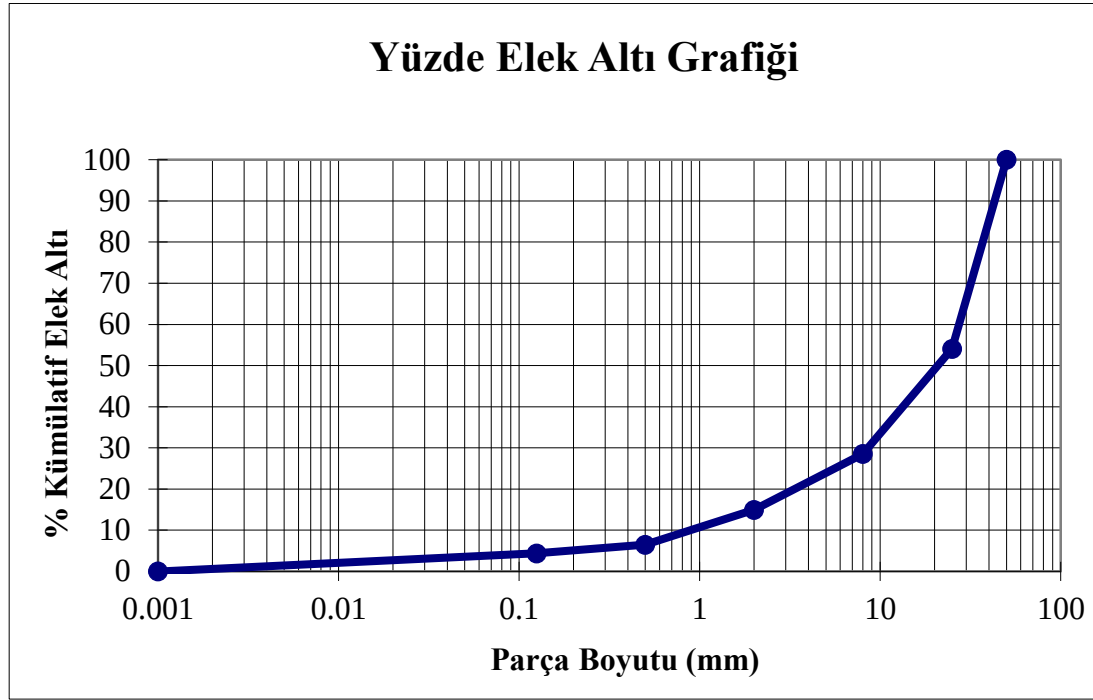
Çizelge C.118 : Çamurtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	25.16	49.35	25.16	49.4	599
2	-5.6 + 4	8.51	16.69	33.67	66.0	
3	-4 + 2	9.91	19.44	43.58	85.5	
4	-2 + 1	5.6	10.98	49.18	96.5	
5	-1 + 0.5	1.48	2.90	50.66	99.4	
6	-0.5 + 0.125	2.81	5.51	51.99	102.0	
7	-0.125	0.32	0.63	50.98	100.0	



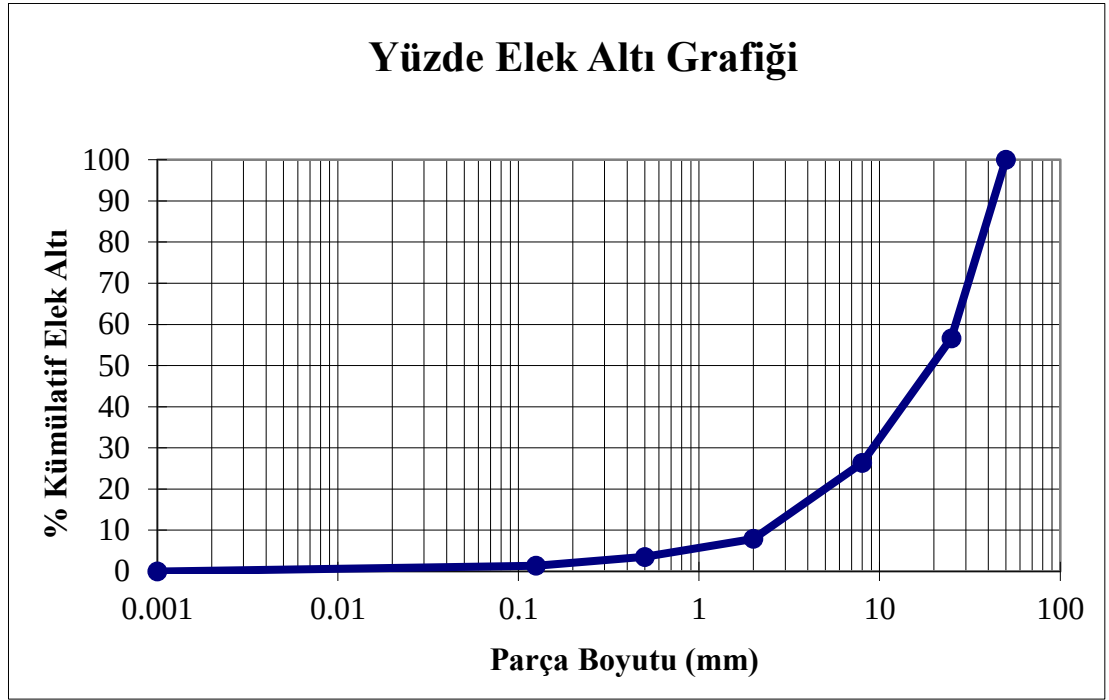
Çizelge C.119 : Çamurtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	89	45.93	89.00	45.9	589
2	-5.6 + 4	49.51	25.55	138.51	71.5	
3	-4 + 2	26.25	13.55	164.76	85.0	
4	-2 + 1	16.47	8.50	181.23	93.5	
5	-1 + 0.5	4.07	2.10	185.30	95.6	
6	-0.5 + 0.125	6.67	3.44	187.90	97.0	
7	-0.125	8.47	4.37	193.77	100.0	



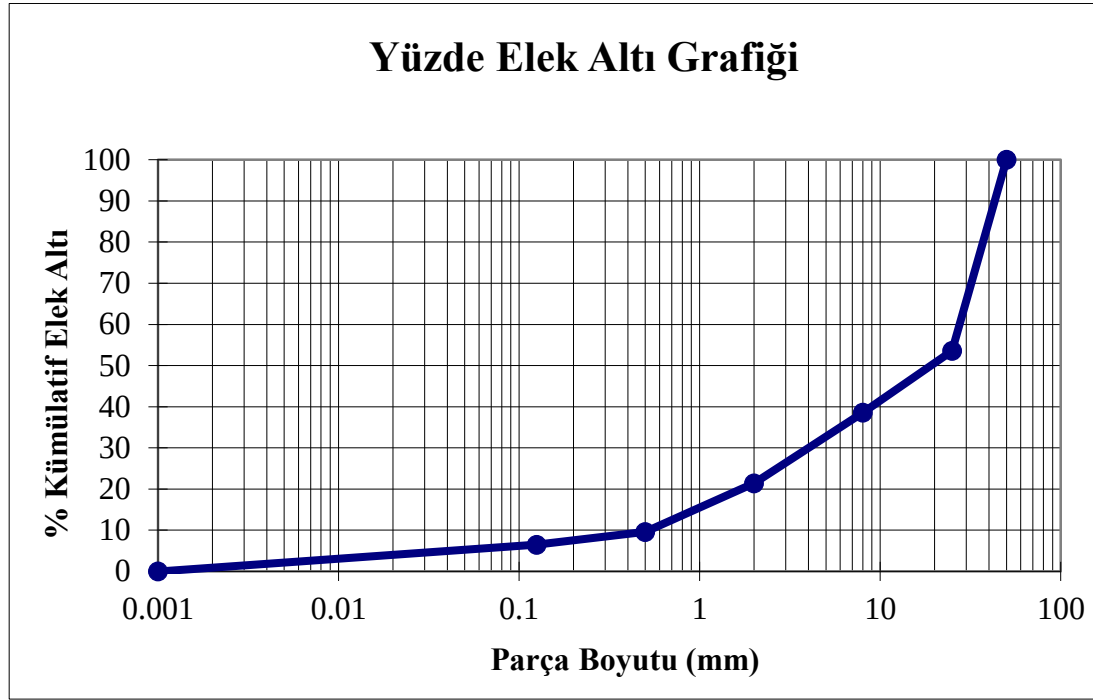
Çizelge C.120 : Çamurtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	76.06	43.35	76.06	43.3	605
2	-5.6 + 4	53.17	30.30	129.23	73.6	
3	-4 + 2	32.36	18.44	161.59	92.1	
4	-2 + 1	7.71	4.39	169.30	96.5	
5	-1 + 0.5	3.76	2.14	173.06	98.6	
6	-0.5 + 0.125	7.44	4.24	176.74	100.7	
7	-0.125	2.41	1.37	175.47	100.0	



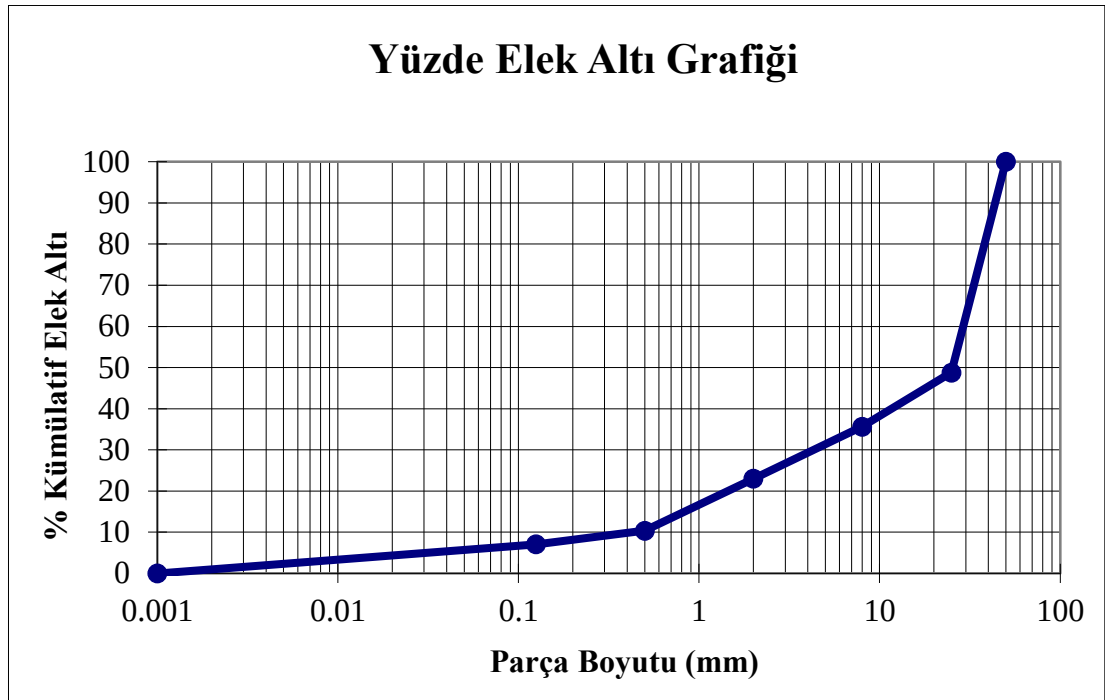
Çizelge C.121 : Çamurtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	12.01	46.44	12.01	46.4	567
2	-5.6 + 4	3.88	15.00	15.89	61.4	
3	-4 + 2	4.43	17.13	20.32	78.6	
4	-2 + 1	3.06	11.83	23.38	90.4	
5	-1 + 0.5	0.8	3.09	24.18	93.5	
6	-0.5 + 0.125	1.73	6.69	25.11	97.1	
7	-0.125	1.68	6.50	25.86	100.0	



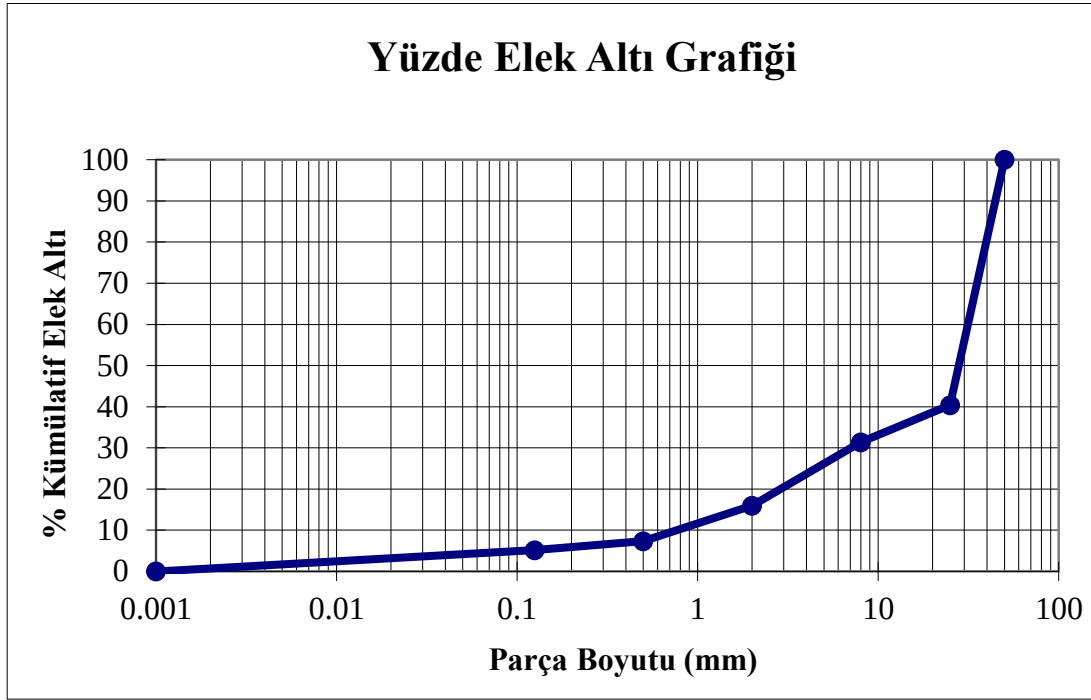
Çizelge C.122 : Çamurtaşı için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	5.14	51.20	5.14	51.2	573
2	-5.6 + 4	1.32	13.15	6.46	64.3	
3	-4 + 2	1.27	12.65	7.73	77.0	
4	-2 + 1	1.27	12.65	9.00	89.6	
5	-1 + 0.5	0.33	3.29	9.33	92.9	
6	-0.5 + 0.125	0.84	8.37	9.84	98.0	
7	-0.125	0.71	7.07	10.04	100.0	



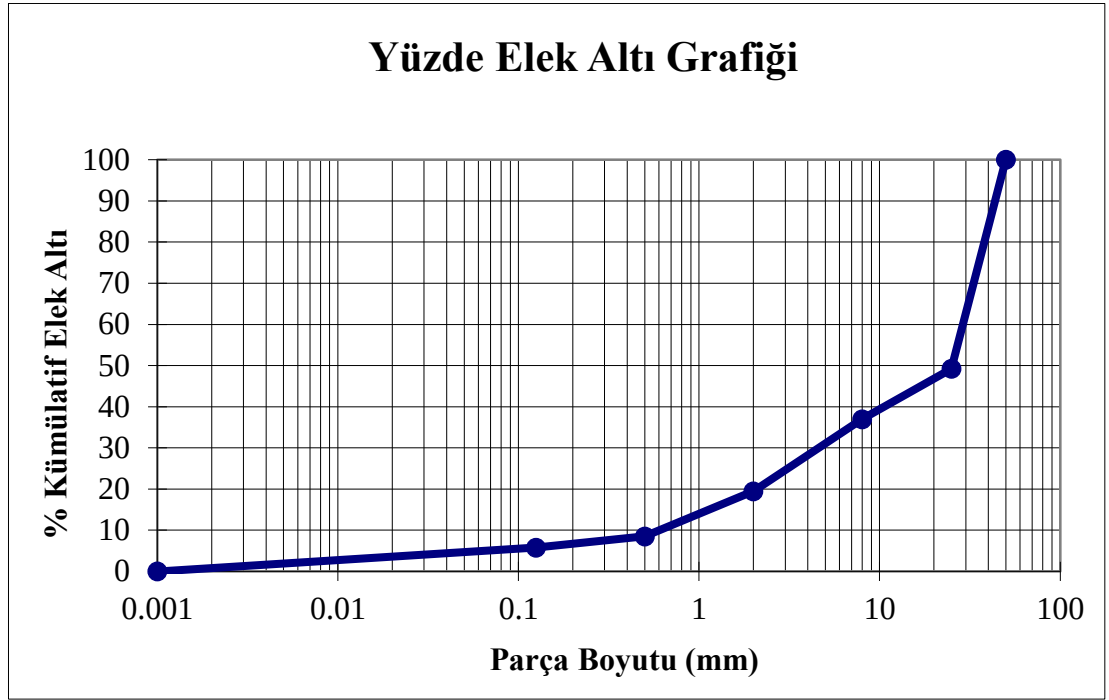
Çizelge C.123 : Çamurtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	76.31	59.61	76.31	59.6	597
2	-5.6 + 4	11.54	9.01	87.85	68.6	
3	-4 + 2	19.74	15.42	107.59	84.0	
4	-2 + 1	11.05	8.63	118.64	92.7	
5	-1 + 0.5	2.79	2.18	121.43	94.9	
6	-0.5 + 0.125	5.2	4.06	123.84	96.7	
7	-0.125	6.59	5.15	128.02	100.0	



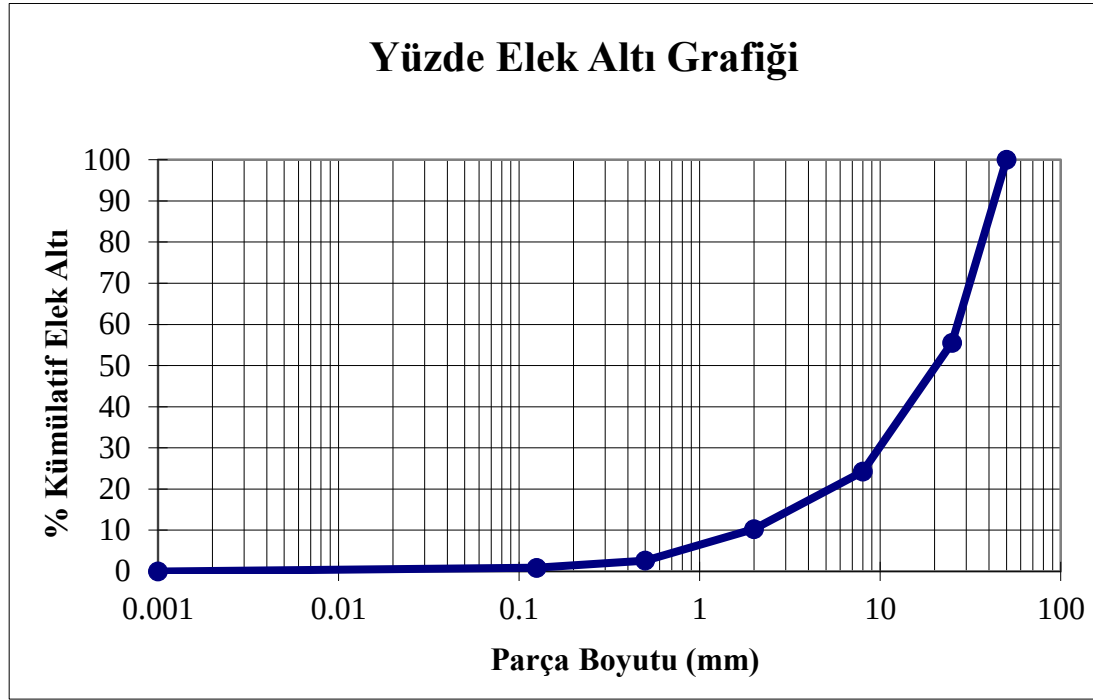
Çizelge C.124 : Çamurtaşı için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	37.41	50.78	37.41	50.8	577
2	-5.6 + 4	9.03	12.26	46.44	63.0	
3	-4 + 2	12.9	17.51	59.34	80.5	
4	-2 + 1	8.07	10.95	67.41	91.5	
5	-1 + 0.5	1.99	2.70	69.40	94.2	
6	-0.5 + 0.125	3.72	5.05	71.13	96.6	
7	-0.125	4.27	5.80	73.67	100.0	



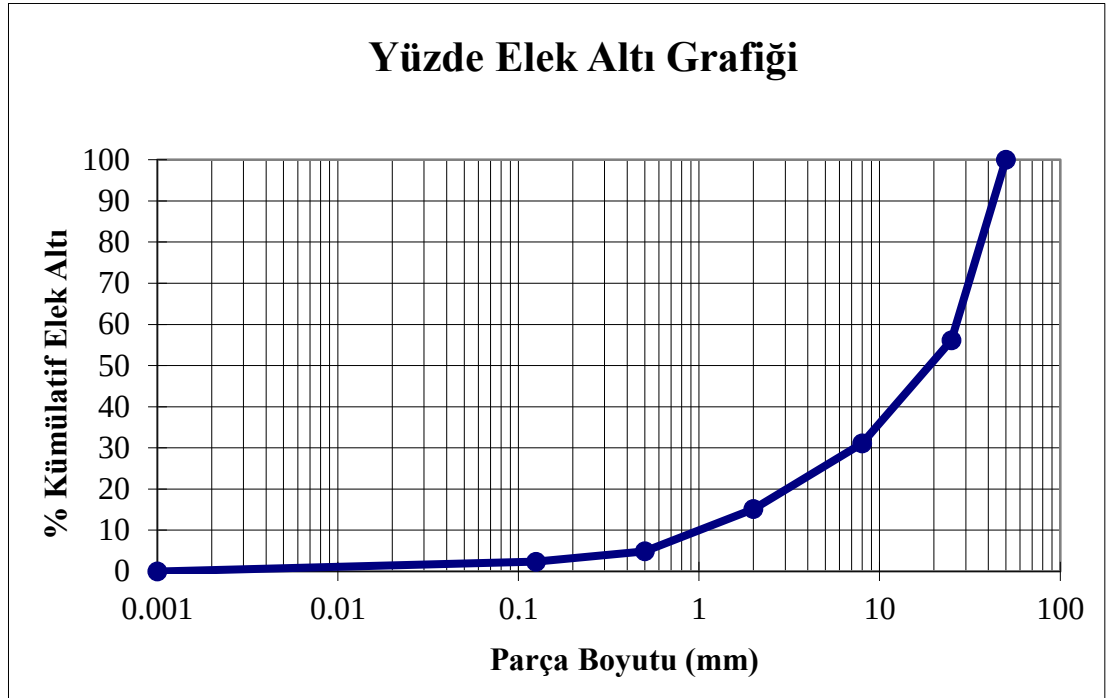
Çizelge C.125 : Çamurtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	98.03	44.46	98.03	44.5	605
2	-5.6 + 4	68.95	31.27	166.98	75.7	
3	-4 + 2	30.83	13.98	197.81	89.7	
4	-2 + 1	16.88	7.66	214.69	97.4	
5	-1 + 0.5	3.83	1.74	218.52	99.1	
6	-0.5 + 0.125	2.88	1.31	217.57	98.7	
7	-0.125	1.97	0.89	220.49	100.0	



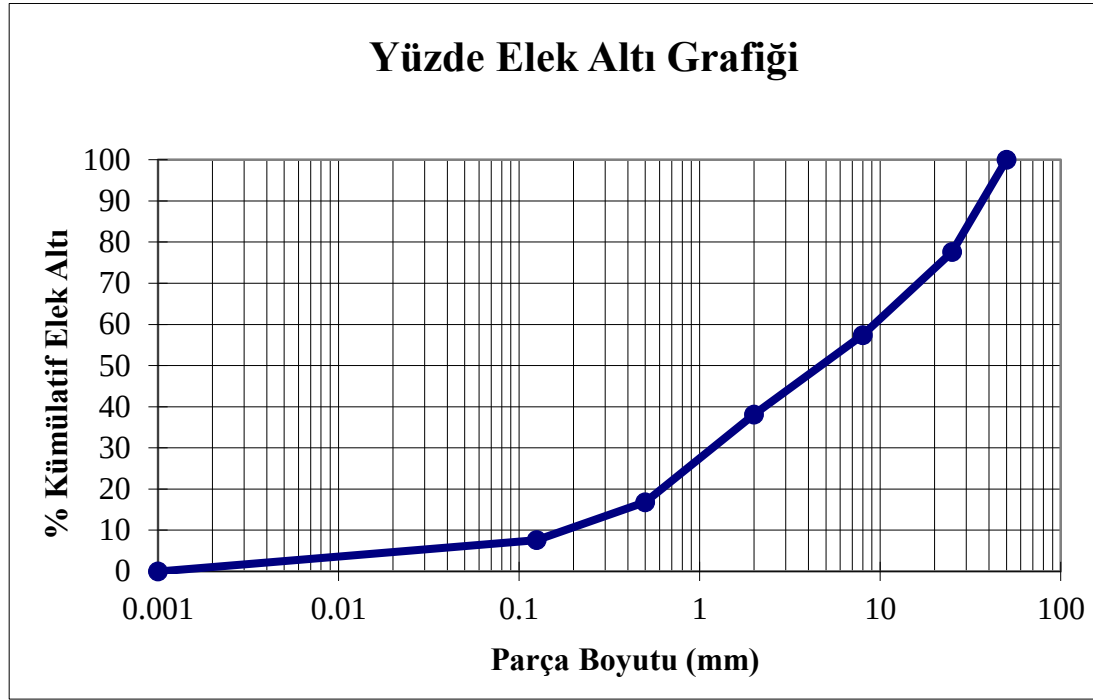
Çizelge C.126 : Çamurtaşı için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	63.65	43.88	63.65	43.9	590
2	-5.6 + 4	36.32	25.04	99.97	68.9	
3	-4 + 2	23.09	15.92	123.06	84.8	
4	-2 + 1	14.89	10.26	137.95	95.1	
5	-1 + 0.5	3.7	2.55	141.65	97.6	
6	-0.5 + 0.125	6.08	4.19	144.03	99.3	
7	-0.125	3.41	2.35	145.06	100.0	



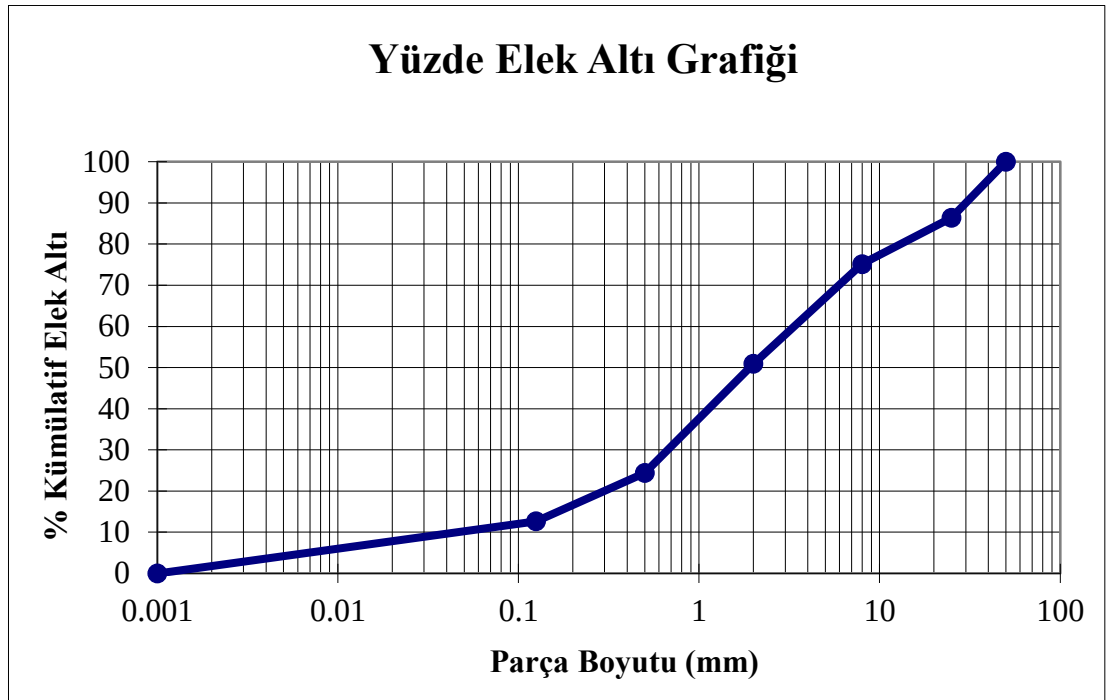
Çizelge C.127 : Konglomera için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	5	22.38	5.00	22.4	503
2	-5.6 + 4	4.51	20.19	9.51	42.6	
3	-4 + 2	4.31	19.29	13.82	61.9	
4	-2 + 1	4.76	21.31	18.58	83.2	
5	-1 + 0.5	2.06	9.22	20.64	92.4	
6	-0.5 + 0.125	3.92	17.55	22.50	100.7	
7	-0.125	1.7	7.61	22.34	100.0	



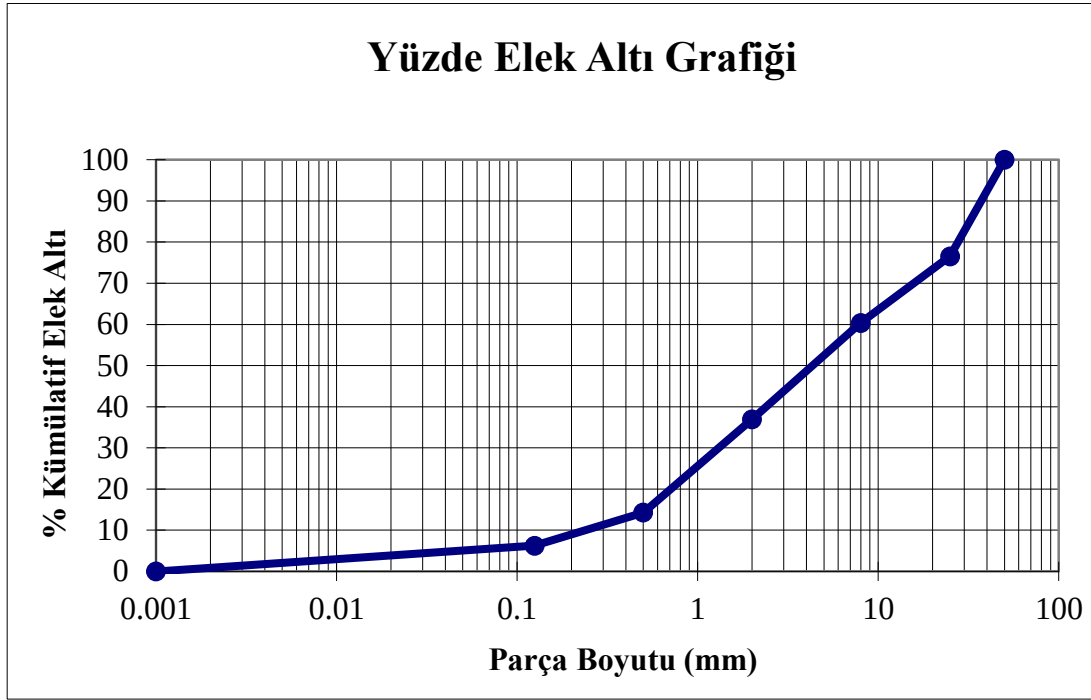
Çizelge C.128 : Konglomera için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	1.46	13.59	1.46	13.6	450
2	-5.6 + 4	1.21	11.27	2.67	24.9	
3	-4 + 2	2.6	24.21	5.27	49.1	
4	-2 + 1	2.85	26.54	8.12	75.6	
5	-1 + 0.5	1.26	11.73	9.38	87.3	
6	-0.5 + 0.125	2.54	23.65	10.66	99.3	
7	-0.125	1.36	12.66	10.74	100.0	



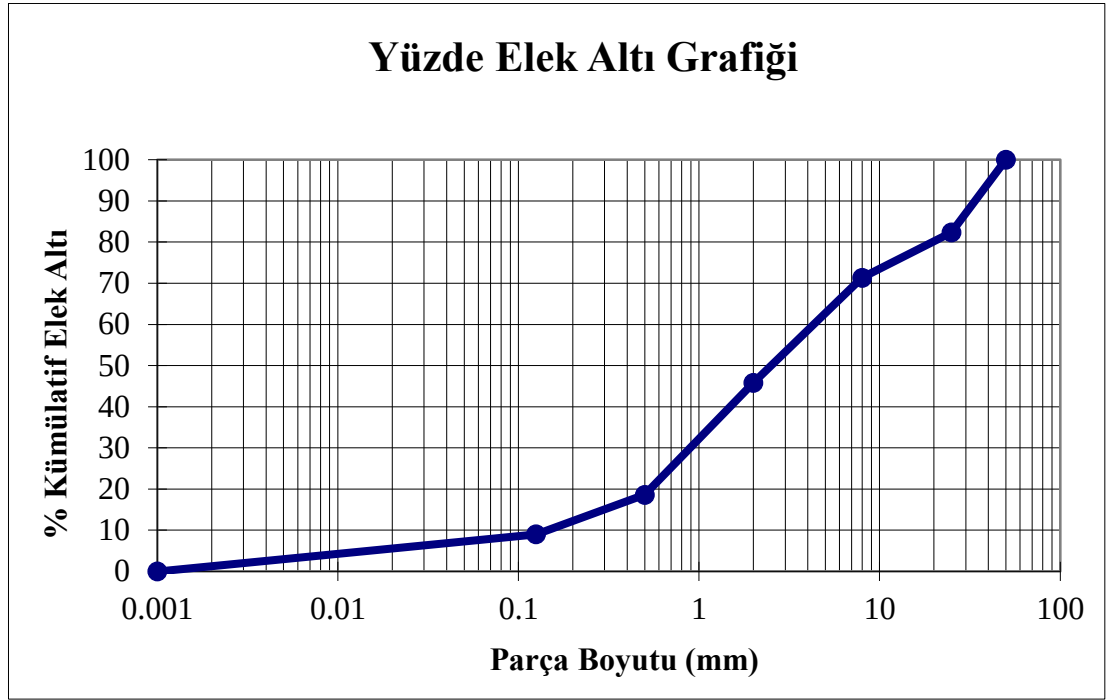
Çizelge C.129 : Konglomera için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	20.07	23.45	20.07	23.5	506
2	-5.6 + 4	13.85	16.18	33.92	39.6	
3	-4 + 2	20.01	23.38	53.93	63.0	
4	-2 + 1	19.43	22.70	73.36	85.7	
5	-1 + 0.5	6.86	8.02	80.22	93.7	
6	-0.5 + 0.125	12.18	14.23	85.54	100.0	
7	-0.125	5.36	6.26	85.58	100.0	



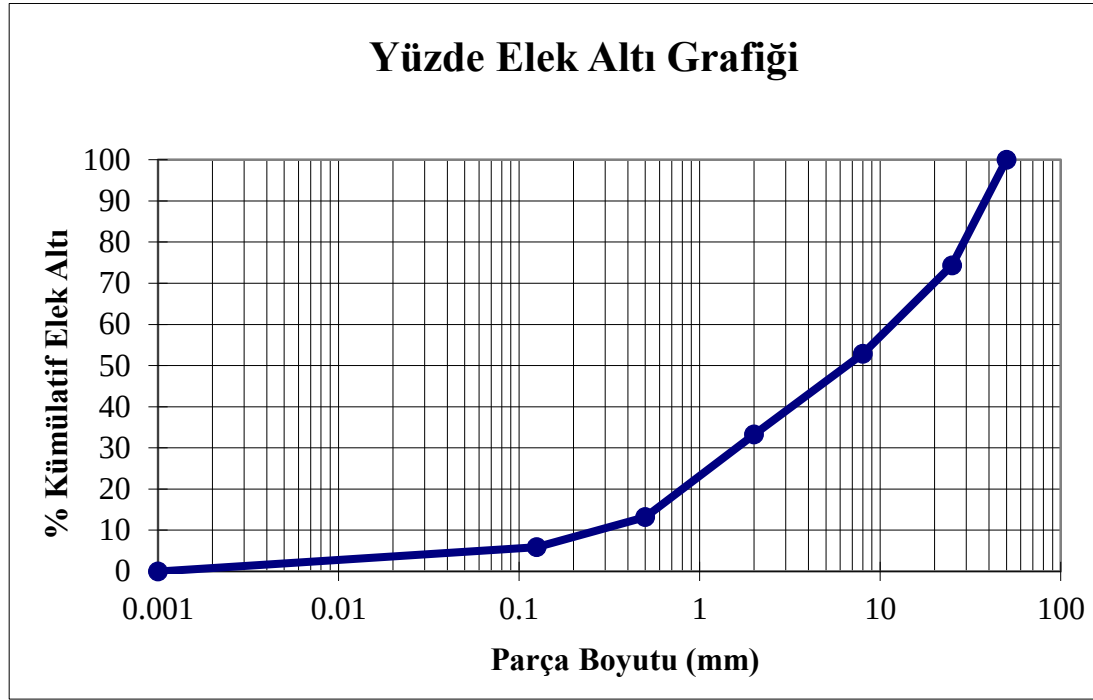
Çizelge C.130 : Konglomera için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	7.82	17.66	7.82	17.7	471
2	-5.6 + 4	4.86	10.98	12.68	28.6	
3	-4 + 2	11.3	25.53	23.98	54.2	
4	-2 + 1	12.05	27.22	36.03	81.4	
5	-1 + 0.5	4.25	9.60	40.28	91.0	
6	-0.5 + 0.125	7.48	16.90	43.51	98.3	
7	-0.125	3.99	9.01	44.27	100.0	



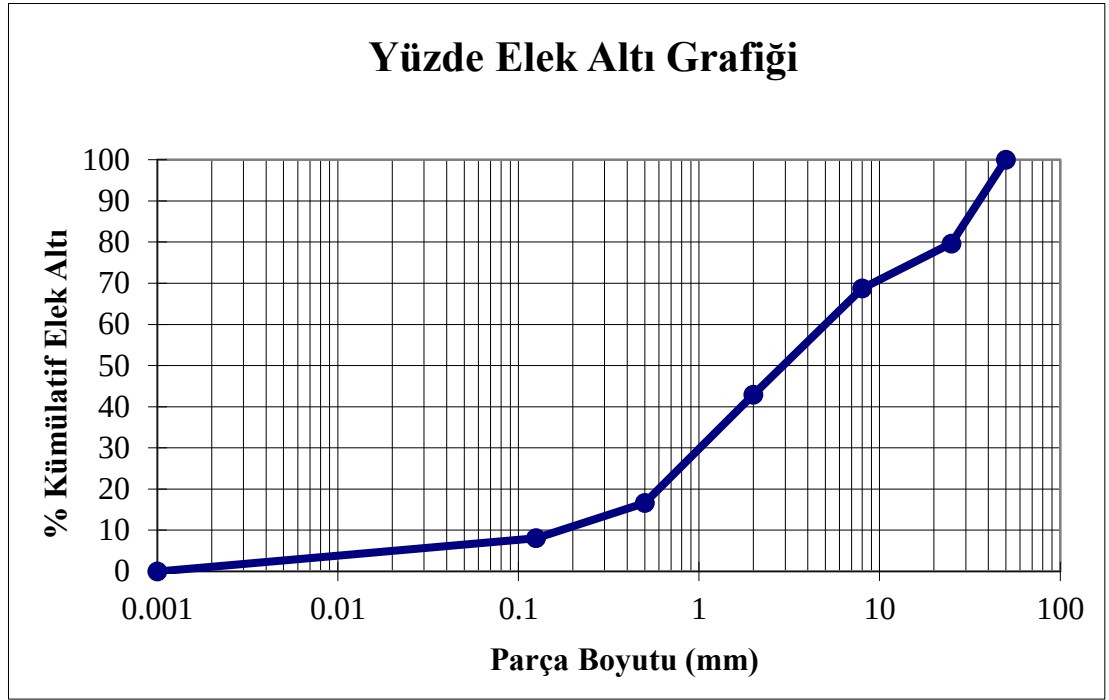
Çizelge C.131 : Konglomera için 5 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	33.79	25.62	33.79	25.6	519
2	-5.6 + 4	28.37	21.51	62.16	47.1	
3	-4 + 2	25.86	19.61	88.02	66.7	
4	-2 + 1	26.47	20.07	114.49	86.8	
5	-1 + 0.5	9.64	7.31	124.13	94.1	
6	-0.5 + 0.125	15.44	11.71	129.93	98.5	
7	-0.125	7.77	5.89	131.90	100.0	



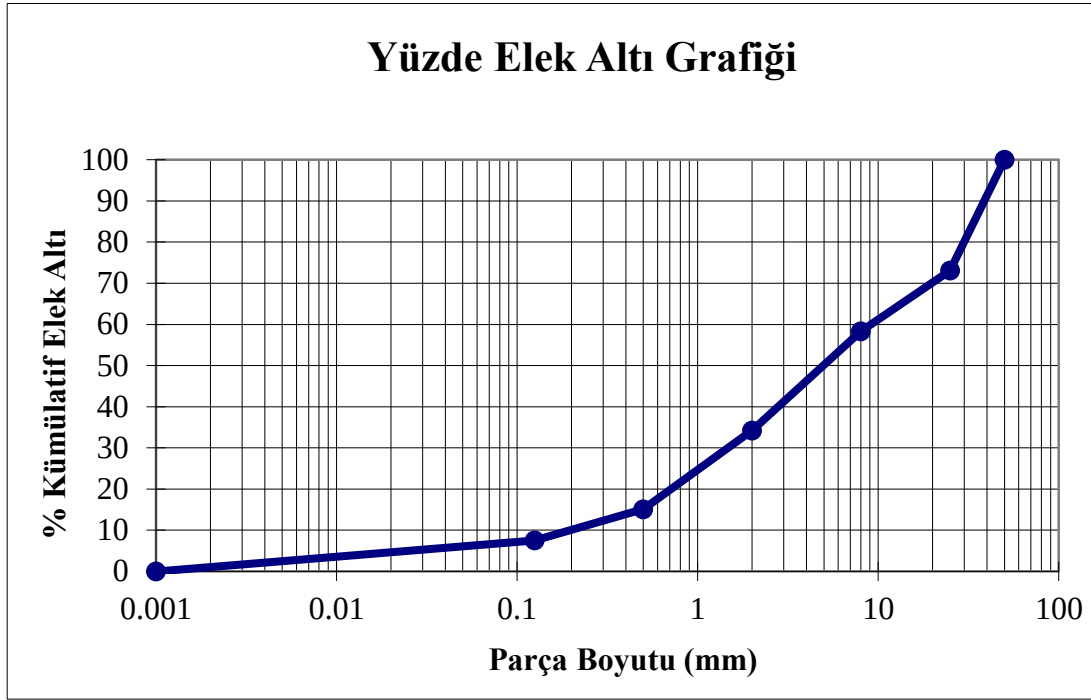
Çizelge C.132 : Konglomera için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCLM kaya kesme deneyi
elek analizi (CCS tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	25.74	20.32	25.74	20.3	482
2	-5.6 + 4	13.85	10.94	39.59	31.3	
3	-4 + 2	32.67	25.80	72.26	57.1	
4	-2 + 1	33.32	26.31	105.58	83.4	
5	-1 + 0.5	10.86	8.57	116.44	91.9	
6	-0.5 + 0.125	18.23	14.39	123.81	97.8	
7	-0.125	10.21	8.06	126.65	100.0	



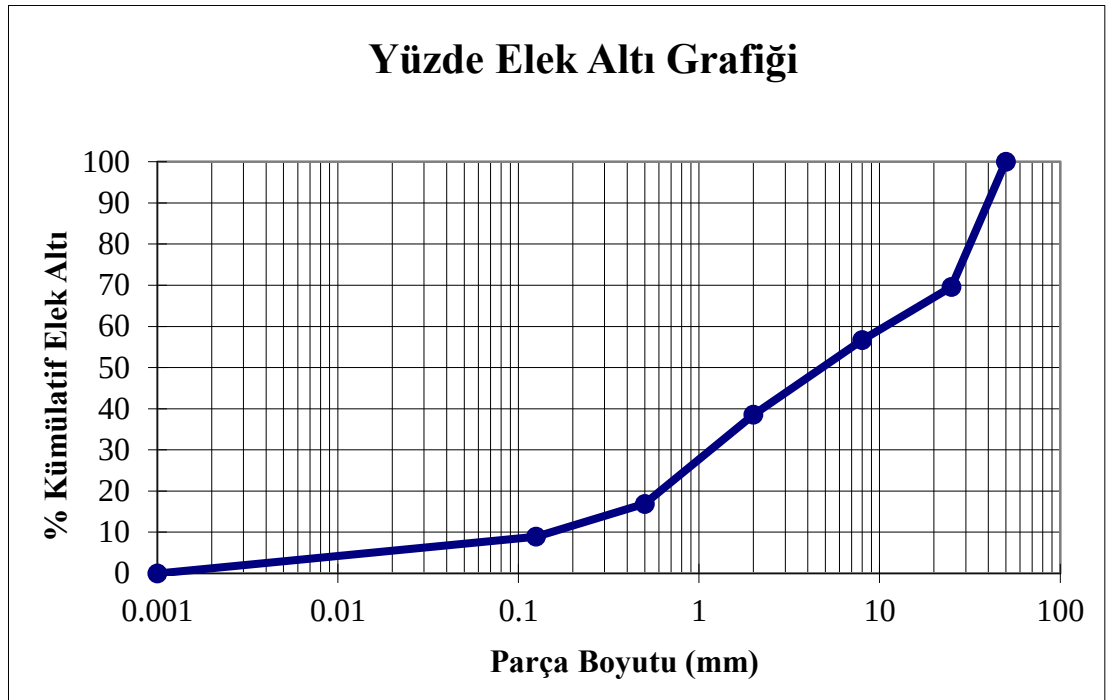
Çizelge C.133 : Konglomera için 1 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	3.97	26.92	3.97	26.9	512
2	-5.6 + 4	2.18	14.78	6.15	41.7	
3	-4 + 2	3.55	24.07	9.70	65.8	
4	-2 + 1	2.82	19.12	12.52	84.9	
5	-1 + 0.5	1.12	7.59	13.64	92.5	
6	-0.5 + 0.125	2.27	15.39	14.79	100.3	
7	-0.125	1.11	7.53	14.75	100.0	



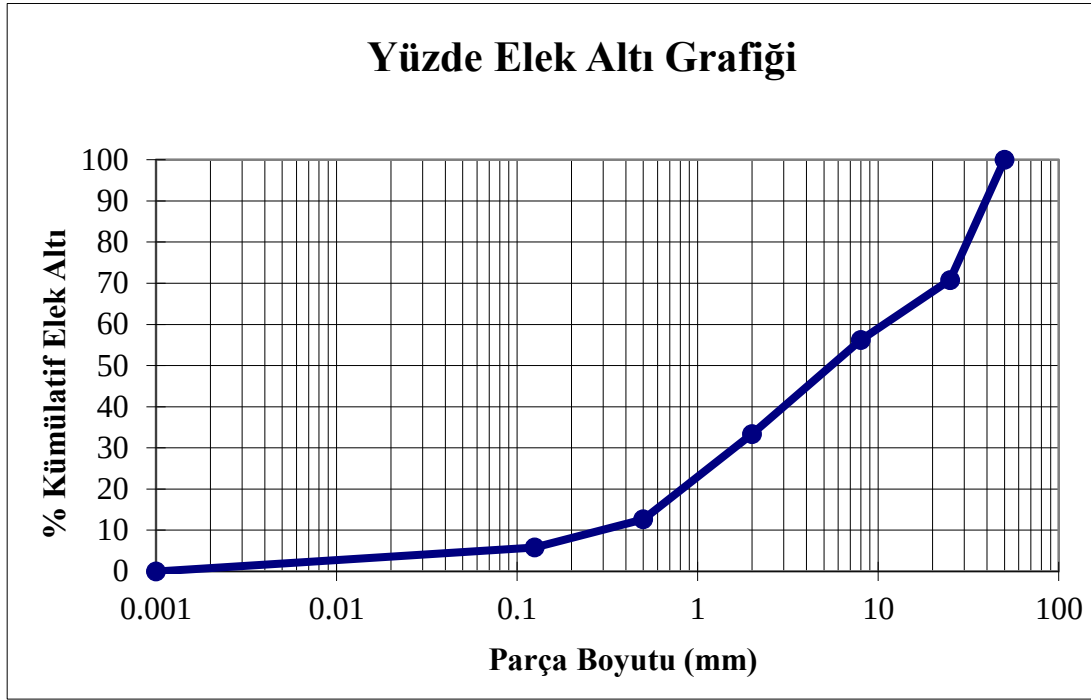
Çizelge C.134 : Konglomera için 1 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	3.44	30.42	3.44	30.4	511
2	-5.6 + 4	1.46	12.91	4.90	43.3	
3	-4 + 2	2.05	18.13	6.95	61.5	
4	-2 + 1	2.45	21.66	9.40	83.1	
5	-1 + 0.5	0.9	7.96	10.30	91.1	
6	-0.5 + 0.125	2.05	18.13	11.45	101.2	
7	-0.125	1.01	8.93	11.31	100.0	



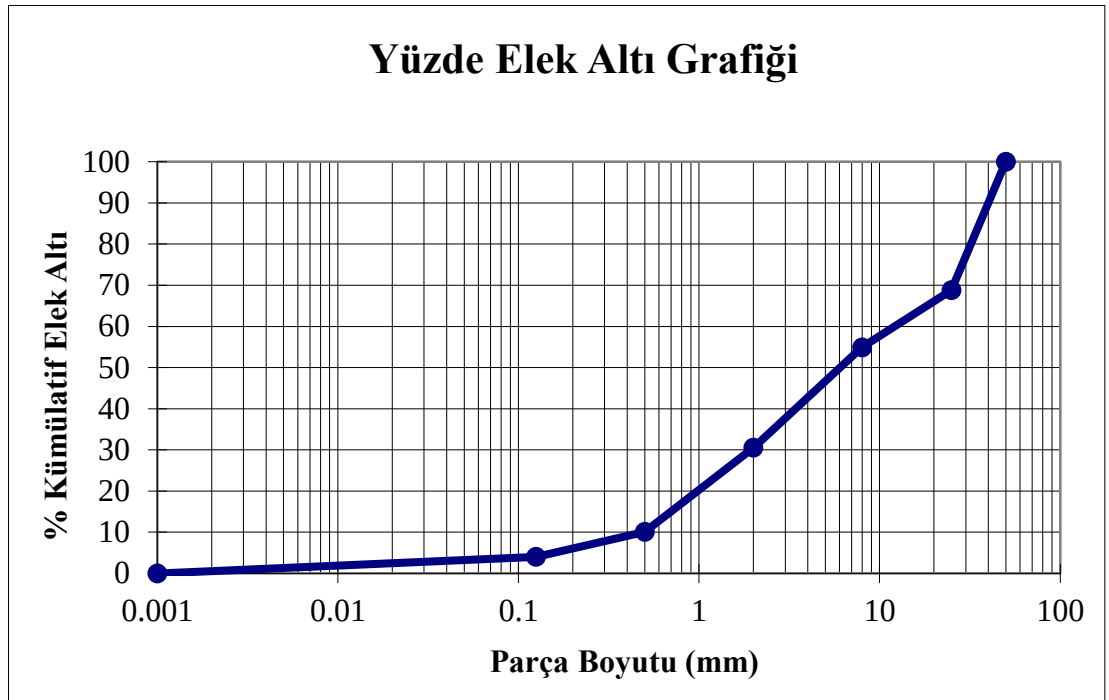
Çizelge C.135 : Konglomera için 3 mm kesme derinliğinde yardımsız PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	18.02	29.20	18.02	29.2	519
2	-5.6 + 4	8.99	14.57	27.01	43.8	
3	-4 + 2	14.1	22.85	41.11	66.6	
4	-2 + 1	12.78	20.71	53.89	87.3	
5	-1 + 0.5	4.24	6.87	58.13	94.2	
6	-0.5 + 0.125	6.49	10.52	60.38	97.8	
7	-0.125	3.58	5.80	61.71	100.0	



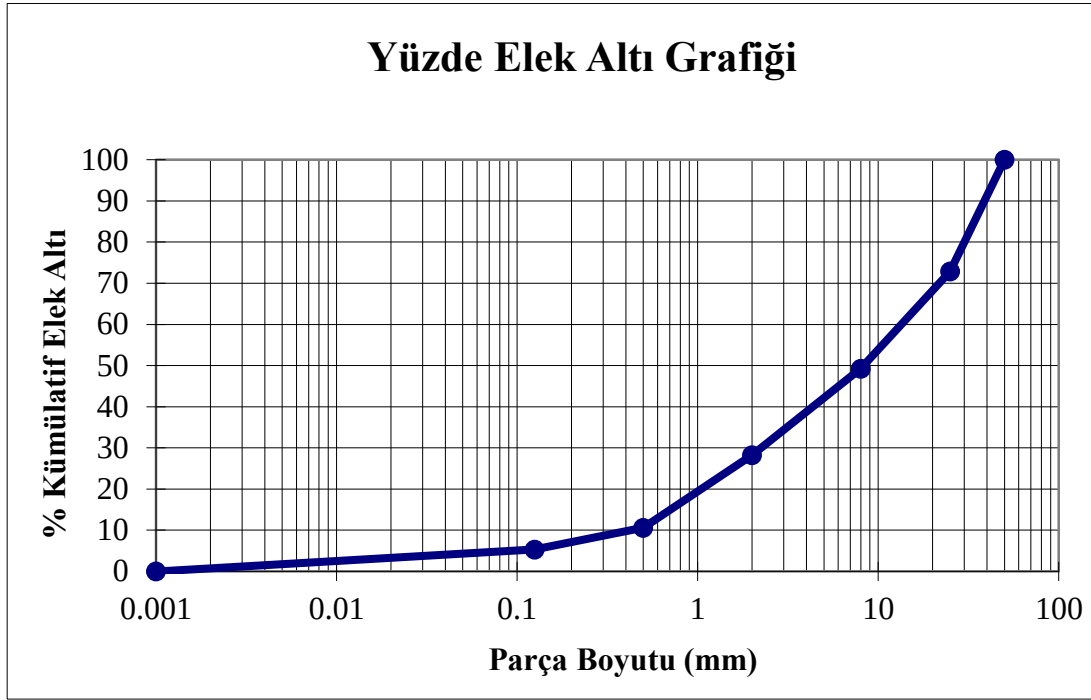
Çizelge C.136 : Konglomera için 3 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	25	31.17	25.00	31.2	531
2	-5.6 + 4	11.13	13.88	36.13	45.0	
3	-4 + 2	19.58	24.41	55.71	69.5	
4	-2 + 1	16.38	20.42	72.09	89.9	
5	-1 + 0.5	4.87	6.07	76.96	96.0	
6	-0.5 + 0.125	7.71	9.61	79.80	99.5	
7	-0.125	3.24	4.04	80.20	100.0	



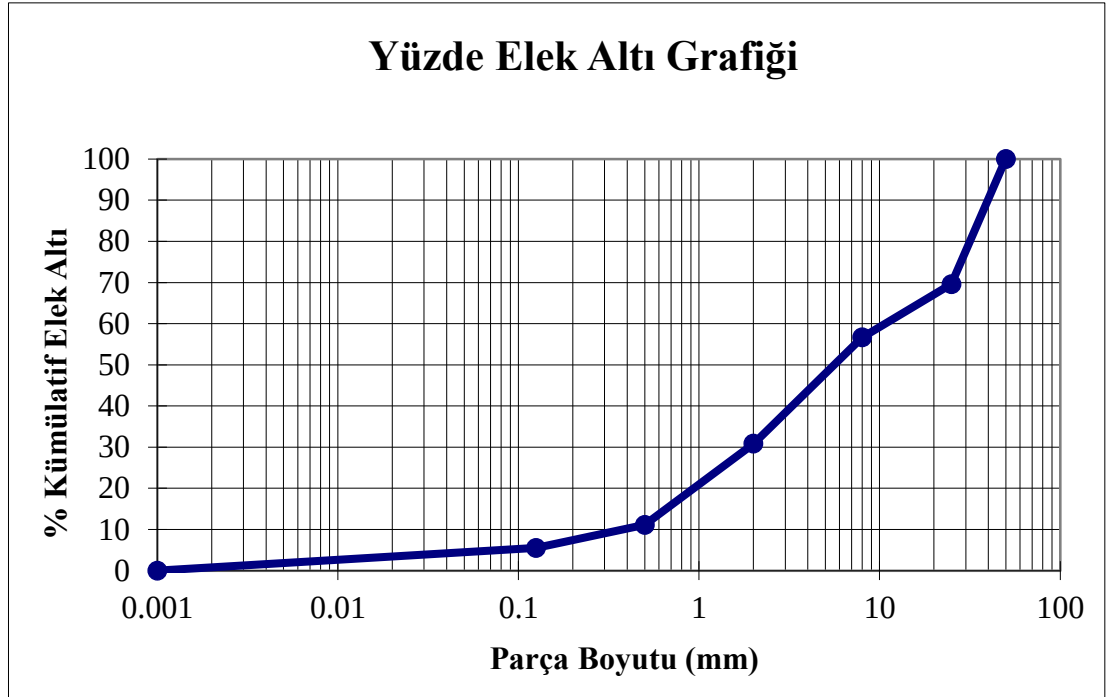
Çizelge C.137 : Konglomera için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	40.22	27.13	40.22	27.1	532
2	-5.6 + 4	35.01	23.61	75.23	50.7	
3	-4 + 2	31.16	21.02	106.39	71.8	
4	-2 + 1	26.14	17.63	132.53	89.4	
5	-1 + 0.5	7.85	5.29	140.38	94.7	
6	-0.5 + 0.125	12.91	8.71	145.44	98.1	
7	-0.125	7.89	5.32	148.27	100.0	



Çizelge C.138 : Konglomera için 5 mm kesme derinliğinde yardımcı PLCM kaya kesme deneyi elek analizi (V tip).

No	Elek Boyutu (mm)	Pasa Ağırlığı (gr)	Yüzde Elek Üstü %	Kümülatif Elek Üstü Ağırlık (gr)	Elek Üstü %	Pasa İrilik İndeksi
1	+5.6	56.83	30.40	56.83	30.4	524
2	-5.6 + 4	24.24	12.97	81.07	43.4	
3	-4 + 2	48.26	25.82	129.33	69.2	
4	-2 + 1	36.86	19.72	166.19	88.9	
5	-1 + 0.5	10.45	5.59	176.64	94.5	
6	-0.5 + 0.125	17.01	9.10	183.20	98.0	
7	-0.125	10.29	5.50	186.93	100.0	



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Ramazan ÇOMAKLI

Doğum Yeri ve Tarihi : Erzurum – 20/06/1985

E-Posta : rcomakli@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fak., Maden Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2010, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Araştırma Görevlisi: Niğde Üniversitesi, 2009 – 2011

Araştırma Görevlisi: Selçuk Üniversitesi, 2011 – 2012

Araştırma Görevlisi: İTÜ, 2012 –

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Comakli, R.,** Kahraman, S., Balci, C., 2014. Performance prediction of roadheaders in metallic ore excavation, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 40, p. 38-45.
- **Çomaklı, R.,** Balci, C., Kayaç Kazılabilirlik Özelliklerinin Belirlenmesinde CCS tip Mini Disk Keski Kullanılması, 2015. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, cilt 3, sayı 1, 2147-9364 (Elektronik).

- **Comakli, R.**, Balci, C., Bilgin, N., Copur, H., Tumaç, D., Polat, C., Avunduk, E., 2015. Cutter Forces Measurement with (PLCM©) Using Mini Disc Cutters: Comparison with the Theoretical Models, *World Tunnel Congress*, Dubrovnik, Croatia, May 22-28.
- Balci, C., **Comakli, R.**, Polat, C., Tumaç, D., Avunduk, E., Copur, H., Bilgin, N., 2015. A New Generation of Portable Linear Rock Cutting Machine (PLCM©) and Comparison with Full Scale Linear Rock Cutting Tests, *World Tunnel Congress*, Dubrovnik, Croatia, May 22-28.
- Polat, C., Balci, C., **Comakli, R.**, Avunduk, E., Tumaç, D., Copur, H., Bilgin, N., 2015. Cutter Forces Measurement with PLCM© Using Mini Conical Pick: Comparison with the Theoretical and Empirical Models. *World Tunnel Congress*, Dubrovnik, Croatia, May 22-28.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Delibalta, MS; Kahraman, S; **Comakli, R**, 2015. The Usability of Noise Level from Rock Cutting for the Prediction of Physico-Mechanical Properties of Rocks, *Fluctuation and Noise Letters*, Vol. 14, n. 1 p 0-0.
- Kahraman, S., Delibalta, MS., **Comakli, R**. 2013 Noise Level Measurement Test to Predict The Abrasion Resistance of Rock Aggregates, *Fluctuation and Noise Letters*, Vol. 12, n.4, p.0-0.
- Balci, C., Bilgin, N., Copur, H., **Comakli, R.**, Polat, C., Sarbangholi, F.S., 2014. Analysis of the tunnel boring machines (TBM) performance parameters using boreability index in Turkey, *World Tunnel Congress 2014 – Tunnels for a Better Life*. Foz do Iguaçu, Brazil, 9-15 May.
- Copur, H., Balci, C., Tumaç, D., Avunduk, E., **Comakli, R**, Polat, C. Tokat, M. 2014, Roadheader Selection and Performance Prediction for Excavation of Galleries of a Coal Mine in Amasya-Suluova Region, *19 th Coal Congress of Turkey*, May.
- Kahraman, S., Delibalta, M.S., **Comakli, R**. 2013. Evaluating The Noise From Block Cutting Machines Using The Physico-Mechanical Rock Properties, *5 th Balkan Mining Congress*, 80pp, Macedonian.
- Balci, C., **Comakli, R.**, Polat, C., Sarbangholi, F.S. 2013. Analysis of the TBM performance Parameters Using Boreability Index, *Proceedings of the 3rd international symposium on underground excavation for transportation*, November 133-138.
- Kahraman, S., Delibalta, M.S., **Comakli, R**. 2011. The assessment of noise from block cutting machines using P-wave velocity, *5.International Conference Sustainable Development in the Minerals Industry (SDIMI2011)*, RWTH Aachen University, VGE Verlag GmbH, Essen, s.627-632.
- **Comakli, R.**, Bilim, N., Kahraman, S., Dursun, A.E., Kekeç, B. 2011. Investigation of the Relations between the CercharAbrasivity Index and Percentage of the Abrasive Minerals for Volcanic Rocks. 12-14 October 2011. Almaty, Republic ofKazakhstan, 826-834.

- Dursun, A.E., Bilim, N., **Çomaklı, R.**, Gokay, M.K. 2011. Correlation of rock brittleness and specific energy obtained from lineer rock cutting tests. *Proceedings of the Twentieth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection MPES*. 12-14 October 2011. Almaty, Republic of Kazakhstan, 835-848.
- Bilim, N., Dursun, A.E., **Çomaklı, R.** 2011. Investigation of the Effects on Pick Wear of Abrasion Resistance and Abrasiveness Properties of Rocks. *Proceedings of the Twentieth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection MPES*. 12-14 October 2011. Almaty, Republic of Kazakhstan, 796-809.
- **Comakli, R.**, Kahraman, S., Balci, C., Tumac, D., 2011. Niğde ve Kayseri Yöresindeki Demir Cevherlerinin Kazısında Kollu Galeri Açma Makinelerinin Performans Tahmini, *Türkiye 3. Maden Makinaları Sempozyumu*, İzmir, TMMOB Maden Mühendisleri Odası.