

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GRANİTİK KAYAÇLARIN FİZİKO-MEKANİK VE MİNERALOJİK
ÖZELLİKLERİNİN PATLATILABİLİRLİĞE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Maden Yük. Müh. Orkun KANTARCI

**ARALIK 2017
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

**GRANİTİK KAYAÇLARIN FİZİKO-MEKANİK VE MİNERALOJİK ÖZELLİKLERİNİN
PATLATILABİLİRLİĞE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Maden Yük. Müh. Orkun KANTARCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
DOKTOR (MADEN MÜHENDİSLİĞİ)
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 / 12 /2017

Tezin Savunma Tarihi : 27 / 12 /2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL

Trabzon 2017

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Orkun KANTARCI Tarafından Hazırlanan**

**GRANİTİK KAYAÇLARIN FİZİKO-MEKANİK VE MİNERALOGİK
ÖZELLİKLERİNİN PATLATILABİLİRLİĞE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 12 /12/2017 gün ve 1731 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. C. Okay AKSOY

Üye : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL

Üye : Doç. Dr. Avni GÜNEY

Üye : Doç. Dr. Hakan ERSOY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez danışmanı olarak çalışma süresince desteğini her zaman gördüğüm, çalışmaların gerçekleştirilmesi için gerekli tüm koşulları sağlayan ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında her daim yol gösteren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ayhan KESİMAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora tez jürisinde yer alarak çalışmalarına katkıda bulunan Prof. Dr. C. Okay AKSOY ve Doç. Dr. Avni GÜNEY'e teşekkür ederim.

Tez çalışmasında numune alınmasından tez teslimine kadar her aşamada yanımda olan hayat arkadaşım ve değerli eşim Şırnak Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Sadiye KANTARCI'ya ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Tekin YILMAZ'a, laboratuvar çalışmalarında beni yönlendiren ve akademik hayatımda önemli bir yeri olan Yrd. Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR'e, gerek numune alımı konusundaki yönlendirmesi gerekse de karşılaştığım güçlüklerin çözümündeki katkısından dolayı Doç. Dr. Hakan ERSOY'a, tez çalışmasında kullanılan kayaçların mineralojik tanımlama kısmında bana yardımcı olan K.T.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Tuğba EROĞLU GÜMRÜK ve Arş. Gör. Ufuk Celal YAĞCIOĞLU, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yrd. Doç. Dr. H. Evren ÇUBUKÇU ve Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. İhsan EHSANİ'ye, istatistiksel analizler için bilgi ve tecrübesiyle yardımcı olan Şırnak Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yrd. Doç. Dr. Befrin Neval BİNGÖL'e katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında kendilerine yeterince zaman ayıramadığım oğlum Bartu ve değerli eşime gösterdikleri anlayış, inanç, destek, sabır ve fedakârlıktan dolayı en derin şükranlarımı sunarım.

Orkun KANTARCI

Trabzon 2017

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Granitik Kayaçların Fiziko-Mekanik ve Mineralojik Özelliklerinin Patlatılabilirliğe Etkisinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ayhan KESİMAL’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 11/12/2017

Orkun KANTARCI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1 GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Patlatma ve Patlatılabilirlik	2
1.2.1. Patlatma ve Mekanizması.....	2
1.2.2. Patlatılabilirlik.....	5
1.3. Tezin Amacı	20
1.4. Çalışma Bölgesinin Genel Jeolojisi.....	21
1.5. Kaya Mekanikinde İstatistiksel Değerlendirmeler	22
2 MALZEME VE YÖNTEM.....	26
2.1. Malzeme	26
2.2. Yöntem	29
2.2.1. Kaya Mekanik Deneyleri	29
2.2.1.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi.....	29
2.2.1.2. Elastisite Modülü (Young Modülü) ve Poisson Oranının Tayini.....	30
2.2.1.3. Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	32
2.2.1.4. Dolaylı Çekme Deneyi	36
2.2.1.5. Ultrasonik P-Dalga Hızı Deneyi (Vp).....	37
2.2.1.6. Kalite İndeksi (IQ).....	38
2.2.1.7. Fiziksel Özelliklerin Tayini.....	39
2.2.2. Mineralojik İncelemeler	39
2.2.3. İstatistiksel Çalışmalar	41

3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	46
3.1.	Mineralojik İncelemeler ve Kayaçların Sınıflandırılması	46
3.2.	Çalışılan Kayaçların Mühendislik Özellikleri	50
3.2.1.	Granitlerin Fiziksel Özellikleri.....	50
3.2.1.1.	Yoğunluk.....	50
3.2.1.2.	Birim Hacim Ağırlık	51
3.2.1.3.	Ağırlıkça Su Emme	53
3.2.1.4.	Görünür Porozite	54
3.2.2.	Granitlerin Dayanım ve Deformasyon Özellikleri	55
3.2.2.1.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	55
3.2.2.2.	Üç Eksenli Basınç Dayanımı.....	60
3.2.2.3.	Dolaylı Çekme Dayanımı.....	63
3.2.2.4.	Ultrasonik P-Dalga Hızı (Vp).....	66
3.2.2.5.	Kalite İndeksi (IQ).....	67
3.3.	Verilerin İstatistiksel İncelenmesi	69
3.3.1.	Dolaylı Çekme Dayanımı İçin İstatistiksel Analiz.....	69
3.3.2.	Görünür Porozite İçin İstatistiksel Analiz	72
3.3.3.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı İçin İstatistiksel Analiz	74
3.3.4.	Ultrasonik P-Dalga Hızı (Vp) İçin İstatistiksel Analiz	76
3.3.5.	Elastisite Modülü (E) İçin İstatistiksel Analiz	78
3.3.6.	Poisson Oranı (ν) İçin İstatistiksel Analiz.....	80
3.3.7.	Yoğunluk (ρ) İçin İstatistiksel Analiz	82
3.3.8.	Kohezyon (c) İçin İstatistiksel Analiz	84
3.3.9.	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) İçin İstatistiksel Analiz.....	86
3.4.	Kaya Mekaniği ve Mineralojik Özelliklerin Patlatılabilirliğe Etkisi	88
3.4.1.	Hino (1959)'a Göre Patlatılabilirlik	90
3.4.2.	Ashby (1981)'a Göre Patlatılabilirlik.....	92
3.4.3.	Rakishev (1982)'e Göre Patlatılabilirlik	94
3.4.4.	Lilly (1986)'e Göre Patlatılabilirlik	96
3.4.5.	Gupta (1990)'ya Göre Patlatılabilirlik	98
4.	SONUÇLAR	100
5.	KAYNAKLAR.....	104
6.	EKLER	114

ÖZGEÇMİŞ



Doktora Tezi

ÖZET

GRANİTİK KAYAÇLARIN FİZİKO-MEKANİK VE MİNERALojİK
ÖZELLİKLERİNİN PATLATILABİLİRLİĞE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Orkun KANTARCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ayhan KESİMAL
2017, 113 Sayfa, 4 Ek sayfa

Bu çalışmada 5 farklı granit kayacından (İkizdere Mavi ve Sarı, Hayrat Sarı ve Gri ve Harşit) alınan karot numunelerinin fiziksel (yoğunluk, birim hacim ağırlık, görünür porozite, ağırlıkça su emme), mekanik (tek eksenli basınç dayanımı (TEBD), üç eksenli basınç dayanımı (ÜEBD), dolaylı çekme dayanımı (DÇD) ve ultrasonik P-dalga hızı (Vp)) testleri gerçekleştirilmiş, kayaçların mineralojik analizleri yapılmış ve granitik kayaçların fiziko-mekanik ve mineralojik özelliklerinin patlatılabilirliğe etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu parametrelerle mineralojik analiz sonuçları istatistiksel (normal dağılım analizi, korelasyon, regresyon ve uyum analizi) olarak değerlendirilmiştir. Kayaçların mineral içeriklerinin mekanik parametrelere etkisi değerlendirildiğinde, TEBD, DÇD, Vp ve ϕ plajiyoklaz ile ve c, mafik mineral ile pozitif yönlü kuvvetli bir ilişkiye sahipken TEBD, c ve Vp kuvars ile, DÇD ve ϕ alkali feldispat ile negatif yönlü kuvvetli bir ilişkiye sahiptir. Fiziksel özellikler olan görünür porozite alkali feldispat ve kuvars ile, yoğunluk mafik mineral ile pozitif yönlü kuvvetli bir ilişki gösterirken görünür porozite plajiyoklaz ile negatif kuvvetli ilişki sağlamıştır. İncelenen farklı parametreler kullanılarak gerçekleştirilen regresyon analizleri sonucunda genel olarak oldukça güçlü ilişkilere ($R^2 > 0,700$) sahip eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitlikler 5 farklı patlatılabilirlik indeksine göre incelenmiş ve yapılan uyum analizlerinin sonuçları modellerin oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, kayaçların mineralojik bileşimlerinin patlatılabilirlik parametrelerine önemli etkisinin olduğu ve minerallerin dikkate alınması durumunda daha düşük özgül şarj değerlerine ulaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Granit, Kaya Mekaniği, Mineraloji, Patlatılabilirlik, İstatistik

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PHYSICO-MECHANICAL AND MINERALOGICAL PROPERTIES ON THE BLASTABILITY OF GRANITIC ROCKS

Orkun KANTARCI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ayhan KESİMAL
2017, 113 Pages, 4 Pages Appendix

In this study, physical (density, unit weight, apparent porosity, water absorption by weight) and mechanical (uniaxial compressive strength (UCS), triaxial compressive strength (TCS), indirect tensile strength (ITS) and ultrasonic pulse velocity (Vp)) tests of core samples prepared from five different granite rocks (İkizdere Mavi and Sarı, Hayrat Sarı and Gri and Harşit) were performed, the mineralogical contents of rocks were analyzed and the effect of physico-mechanical and mineralogical properties on the blastability of rocks was investigated. These parameters and mineralogical properties were also interpreted by statistical analyses. When the effect of mineral contents of rocks was evaluated, UCS and Vp have a positively strong relation (PSR) with plagioclase (P) while, there is a negatively strong relation (NSR) between quartz (Q) and those parameters, ITS, and ϕ have a PSR with P, whilst, there is a NSR between alkali feldspar (AF)-ITS and AF- ϕ . Moreover, c has a PSR with mafic mineral (MM) and has a NSR with Q. The apparent porosity, which is a physical property, has a PSR with AF and Q, while, there is a similar relation between density and MM. The density also contacts a NSR with P. As a result of the regression analyses realized using different parameters examined, the equations having considerably strong relations ($R^2 > 0.700$) were obtained. These equations were analyzed with reference of five different blastability indexes and the results of goodness of fit demonstrated that the models are substantially successful. As a result of, the mineralogical compositions of the rocks have a significant effect on the blastability parameters and when the minerals are taken into consideration, lower specific charge values are reached.

Key Words: Granite, Rock Mechanics, Mineralogy, Blastability, Statistics

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Parçalanmanın delme, patlatma ve yükleme-nakliyat maliyetlerine etkisi	1
Şekil 1.2.	Patlayıcı patladığında enerji dağılımı	3
Şekil 1.3.	Patlayıcı ile kaya kırılma mekanizması	4
Şekil 1.4.	Parçalanma, özgül şarj, patern boyutu ve sonik hız arasındaki korelasyon.....	8
Şekil 1.5.	ERQD ve patlatılabilirlik ilişkisi	10
Şekil 1.6.	Özgül şarj ile çatlak sıklığı arasındaki ilişki.....	11
Şekil 1.7.	RQI ve özgül şarj arasındaki korelasyon	12
Şekil 1.8.	İp delgi indeksi ve özgül şarj arasındaki korelasyon	14
Şekil 1.9.	Patlatılabilirlik indeksi-özgül şarj ilişkisi	15
Şekil 2.1.	Numunelerin alındığı bölgeleri ve jeolojisini gösteren harita	27
Şekil 2.2.	Numunelerden karotların alınması (a), kesilerek boyutlandırılması (b), alt-üst yüzeylerinin düzleştirilmesi (c) ve hazırlanmış numunelerinin görünümü (d)	28
Şekil 2.3.	TEBD testi için hazırlanmış numuneler (a) ve numunenin bilgisayar kontrollü preste görünümü (b)	30
Şekil 2.4.	TML deformasyon ölçer (a) ve deformasyon ölçer yapıştırılmış numunenin görünümü (b)	31
Şekil 2.5.	Kaya malzemelerinin eksenel ve çapsal gerilme-birim deformasyon ilişkisi ..	32
Şekil 2.6.	ÜEBD deneyinde yanal basınçlar 3 MPa (a), 6 MPa (b), 9 MPa (c) ve ÜEBD test ünitesi (d).....	33
Şekil 2.7.	Üç eksenli deney hücresinin (Hoek Hücresi) görünümü (a), Hoek Hücresi bağlantı şekli (b), kırılmış numune çıkarılırken (c).	34
Şekil 2.8.	Mohr- Coulomb yenilme zarfının temsili görünümü	35
Şekil 2.9.	p-q yönteminin esası (a) ve Fell ve Jeffery (1987) tarafından çok sayıda üç eksenli deney sonuçlarından genelleştirilmiş yenilme zarfının belirlenmesini gösteren tipik p-q grafiği (b).....	36
Şekil 2.10.	30 tonluk preste dolaylı çekme deneyi (a) ve kırılmış numune (b)	36

Şekil 2.11. Ultrasonik P-dalga hızı (Vp) testi	37
Şekil 2.12. Üçgen diyagramın kullanılması	40
Şekil 2.13. Magmatik kayalar için K-A-P üçgen diyagramı	41
Şekil 3.1. Üçgen diyagramla kayaların sınıflanması.....	47
Şekil 3.2. İkizdere Mavi numunesi mikroskopik görüntüsü	47
Şekil 3.3. İkizdere Sarı numunesi mikroskopik görüntüsü	48
Şekil 3.4. Hayrat Sarı (HS) numunesi mikroskopik görüntüsü	49
Şekil 3.5. Hayrat Gri (HG) numunesi mikroskopik görüntüsü.....	49
Şekil 3.6. Harşit (H) numunesinin mikroskopik görüntüsü	50
Şekil 3.7. Granitlerin ana mineral (K-A-P) standart sapması ile TEBD arasındaki ilişki	56
Şekil 3.8. Granit numunelerinin mineral dağılımı-TEBD ilişkisi.....	57
Şekil 3.9. Mineral içeriği-TEBD ilişkisi; Mafik Mineral-TEBD (a), Kuvars-TEBD (b), Plajiyoklaz-TEBD (c) ve Alkali Feldispat-TEBD (d)	58
Şekil 3.10. TEBD cihazına entegre deformasyon ölçer ekran görüntüsü Harşit numunesi (a) ve Hayrat Gri numunesi (b).....	59
Şekil 3.11. Elastisite modülü-TEBD ilişkisi	60
Şekil 3.12. Granit grubu kayaların Mohr kırılma zarfı çizimleri	61
Şekil 3.13. Granit numunelerinin “p” ve “q” parametrelerinin birbirleri ile ilişkileri.....	63
Şekil 3.14. Dolaylı çekme dayanımı ile TEBD arasındaki ilişki	64
Şekil 3.15. Granitlerin mineral dağılımları ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki ..	65
Şekil 3.16. Elastisite modülü ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	66
Şekil 3.17. Ultrasonik P-dalga hızı ile TEBD arasındaki ilişki	67
Şekil 3.18. Görünür porozite ile IQ arasındaki ilişki	68
Şekil 3.19. TEBD- IQ arasındaki ilişki	69
Şekil 3.20. Hino (1959)’ya göre patlatılabilirlik ile regresyon modelleri.....	91
Şekil 3.21. Hino (1959)’ya göre en iyi uyum analizi sonucunu veren modeller.....	92
Şekil 3.22. Ashby (1981)’ye göre patlatılabilirlik ile regresyon modelleri	93
Şekil 3.23. Ashby (1981)’ye göre en iyi uyum analizi sonucunu veren modeller.....	94
Şekil 3.24. Rakishev (1982)’e göre patlatılabilirlik ile regresyon modelleri.....	96
Şekil 3.25. Rakishev (1982)’e göre en iyi uyum analizi sonucunu veren modeller	96
Şekil 3.26. Lilly (1986)’ye göre patlatılabilirlik ile regresyon modelleri.....	97
Şekil 3.27. Lilly (1986)’ye göre en iyi uyum analizi sonucunu veren modeller	98
Şekil 3.28. Gupta (1990)’ya göre patlatılabilirlik ile regresyon modelleri.....	99
Şekil 3.29. Gupta (1990)’ya göre en iyi uyum analizi sonucunu veren modeller	99

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Alterasyon faktörü.....	9
Tablo 1.2. Rakishev (1982)'e göre ortalama d_n ve k değerleri	12
Tablo 1.3. Kritik çatlak hızı ile patlatılabilirlik arasındaki korelasyon	13
Tablo 1.4. Patlatılabilirlik indeksi için tahsis edilmiş parametre oranları	16
Tablo 1.5. Patlatılabilirlik ile özgül şarj arasındaki ilişki.....	16
Tablo 1.6. Patlatılabilirlik vaka çalışması	17
Tablo 1.7. NTNU patlatılabilirlik gösterge değerleri	19
Tablo 1.8. Temel jeomekanik parametreler ve sınıf değerleri.....	20
Tablo 1.9. Patlatma ile tavan göçebilirliğine göre patlatılabilirlik indeksi	20
Tablo 2.1. TML birim deformasyon ölçer özellikleri.....	31
Tablo 2.2. Minerallerin P dalga Hızları	38
Tablo 2.3. Magmatik kayaların doku türlerine göre yerleşim derinlikleri.....	40
Tablo 2.4. MAPE değerlerinin sınıflandırılması	45
Tablo 3.1. Kayaların yüzde mineralojik bileşimi	46
Tablo 3.2. Numunelerin KAP yüzdeleri.....	46
Tablo 3.3. Granitlerin yoğunluk deneyi sonuçları değerleri.....	51
Tablo 3.4. Granitlerin doğal birim hacim ağırlık değerleri	52
Tablo 3.5. Granitlerin kuru birim hacim ağırlık değerleri	52
Tablo 3.6. Granitlerin doymuş birim hacim ağırlık değerleri	53
Tablo 3.7. Granitlerin ağırlıkça su emme (ASE) değerleri.....	54
Tablo 3.8. Granitlerin görünür porozite değerleri	54
Tablo 3.9. Granitlerin tek eksenli basınç dayanım değerleri elastisite modülü ve poisson oranı değerleri	55
Tablo 3.10. Üç eksenli basınç dayanımı değerleri.....	61
Tablo 3.11. Granitlerin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri	63
Tablo 3.12. Granitlerin dolaylı çekme dayanımı değerleri.....	64
Tablo 3.13. Granitlerin ultrasonik P-dalga hızı (V_p) değerleri	66
Tablo 3.14. IQ hesaplanan değerleri.....	68
Tablo 3.15. Granitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	69

Tablo 3.16.	Dolaylı çekme dayanımı normallik analizi	70
Tablo 3.17.	Dolaylı çekme dayanımı ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon	70
Tablo 3.18.	Dolaylı çekme dayanımı basit ve çoklu regresyon analizi.....	71
Tablo 3.19.	Görünür porozite normallik analizi	72
Tablo 3.20.	Görünür porozite ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon..	72
Tablo 3.21.	Görünür porozite basit ve çoklu regresyon analizi.....	73
Tablo 3.22.	Tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) testini normallik analizi	74
Tablo 3.23.	Tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon	74
Tablo 3.24.	Tek eksenli basma dayanımı (TEBD) basit ve çoklu regresyon analizi	75
Tablo 3.25.	Ultrasonik P-dalga hızı (V_p) normallik analizi	76
Tablo 3.26.	Ultrasonik P-Dalga hızı (V_p) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon	77
Tablo 3.27.	Ultrasonik P-dalga hızı (V_p) basit ve çoklu regresyon analizi.....	77
Tablo 3.28.	Elastisite modülü (E) normallik analizi.....	78
Tablo 3.29.	Elastisite modülü (E) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon	79
Tablo 3.30.	Elastisite modülü (E) basit ve çoklu regresyon analizi	79
Tablo 3.31.	Poisson oranı (ν) normallik analizi	80
Tablo 3.32.	Poisson oranı (ν) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon ..	80
Tablo 3.33.	Poisson oranı (ν)'nın basit ve çoklu regresyon analizi	81
Tablo 3.34.	Yoğunluk (ρ) normallik analizi.....	82
Tablo 3.35.	Yoğunluk (ρ) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon.....	82
Tablo 3.36.	Yoğunluk (ρ) için basit ve çoklu regresyon analizi	83
Tablo 3.37.	Kohezyon (c) normallik analizi (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)..	84
Tablo 3.38.	Kohezyon (c) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon	85
Tablo 3.39.	Kohezyon (c) basit ve çoklu regresyon analizi	85
Tablo 3.40.	İçsel sürtünme açısı (ϕ) normallik analizi (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)	86
Tablo 3.41.	İçsel sürtünme açısı (ϕ) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon	86
Tablo 3.42.	İçsel sürtünme açısı (ϕ) basit ve çoklu regresyon analizi.....	87
Tablo 3.43.	Patlatılabilirlik ile ilgili literatür özeti	88

Tablo 3.44. Patlatılabilirlikte, Kaya Mekaniği Deney Parametrelerini kullanan araştırmacılar	89
Tablo 3.45. Hino (1959)'ya göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yönden hesaplanması	91
Tablo 3.46. Ashby (1981)'ye göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yönden hesaplanması	92
Tablo 3.47. Rakishev (1982)'e göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yönden hesaplanması (a)	95
Tablo 3.48. Rakishev (1982)'e göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yönden hesaplanması (b)	95
Tablo 3.49. Lilly (1986)'ye göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yönden hesaplanması	97
Tablo 3.50. Gupta (1990)'ya göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yönden hesaplanması	98

SEMBOLLER DİZİNİ

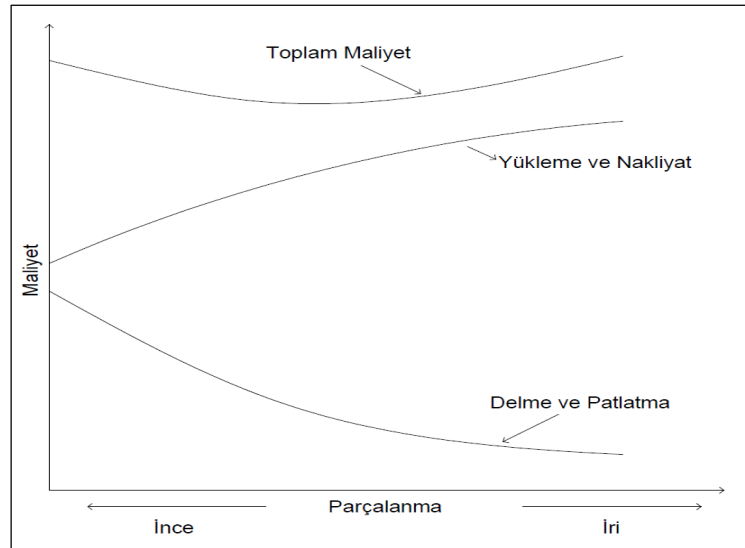
c	: Kohezyon
C	: Kaya sabiti
CE	: Özgül şarj (kg ANFO/ton)
E	: Elastisite Modülü (GPa)
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
IQ	: Kalite İndeksi
P	: Kırılma yükü (kN)
ρ	: Yoğunluk
σ_t	: Dolaylı çekme gerilmesi
σ_c	: Tek eksenli basınç dayanımı
n	: Görünür porozite
V_p	: Ultrasonik P dalga hızı
ν	: Poisson Oranı

Not: Bu listede verilmeyen bazı semboller metin içerisinde kullanıldıkları yerlerde tanımlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hammadde kaynağı olarak madencilik, insanlık için her zaman olmazsa olmaz bir mühendislik alanı olmuştur. Bu alandaki gelişmeler diğer sektörleri doğrudan etkilemekte ve maliyet açısından büyük önem arz etmektedir. Madencilik alanındaki ana malzemenin kayaç olduğu ve üretime kayacın kazılması ile başladığı unutulmamalıdır. Bu nedenle kayacın kazı süreçlerinde, gerekli tüm mühendislik çalışmaları dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Kazı sürecinde kullanılan ve her aşaması önemli maliyet unsurları içeren patlatma, bir mühendislik uygulaması olup hassas bir çalışma alanı olarak sektördeki yerini almıştır. Patlatmanın, günümüz madencilik uygulamalarında olduğu kadar özellikle tünelcilik ve ulaştırma projeleri açısından inşaat sektörü içerisinde de önemli bir yeri vardır. Patlatma uygulamasının sonuçları, kendisinden sonra gelen tüm işlemleri doğrudan etkilemektedir. Madencilikte yükleme ve nakliyat operasyonlarını doğrudan etkilediği gibi cevher hazırlama ve zenginleştirmede de boyut küçültme işlemlerinin ilk aşamasında kullanılmakta olup maliyet ve verimlilik açısından önemli etkiye sahiptir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Parçalanmanın delme, patlatma ve yükleme-nakliyat maliyetlerine etkisi (Harries ve Mercer, 1975).

Patlatmanın değerlendirilmesinde, maliyetin yanı sıra en önemli nokta planlanan hedefler ve hammaddenin kullanılacağı yere göre sonuçlar elde etmektir. Örneğin; deniz dolgusu için gerekli olan kayaç malzemesinin boyutunun büyük olması tercih edilirken, agrega olarak çok daha küçük boyutlar kullanılmaktadır.

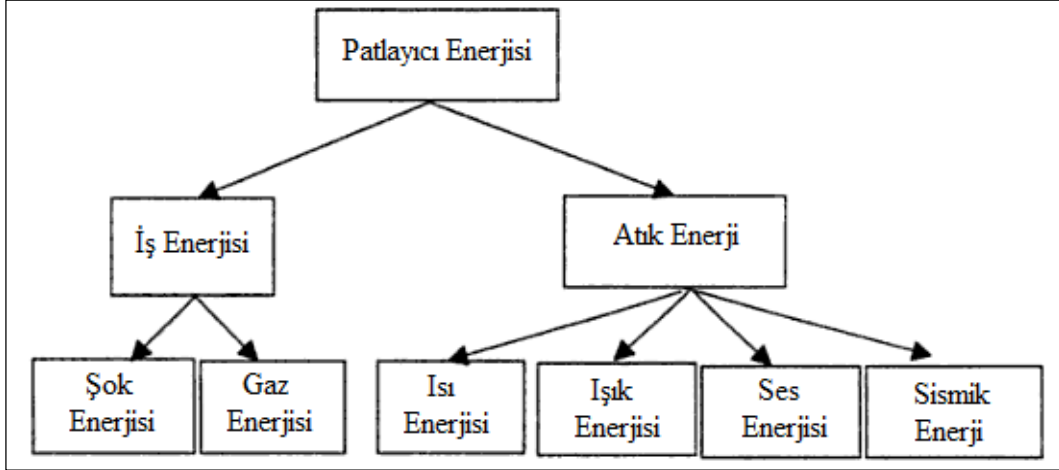
Teknolojinin gelişmesi, patlatmada verimliliği arttırmakta ve uygulama hatalarını büyük ölçüde azaltmaktadır. Teknolojinin gelişimiyle birlikte yeni üretilen patlayıcılar farklı birçok patlatma yöntemi geliştirilmesine olanak sunmuştur. Patlatma konusunda yapılan bilimsel çalışmalar, genel olarak saha çalışmaları şeklinde olduğundan, geliştirilen hesaplamalar deneye dayalı formüllerle olmaktadır. Bunun nedeni; kayaçların yapı olarak homojen olmaması ve patlatmayı etkileyen birçok parametrenin bulunmasıdır. Bu parametreler genel olarak; kayaç özellikleri, patlayıcı özellikleri ve patlatma tasarımıdır. Patlatmaya etki eden parametrelerden sadece patlayıcı özellikleri ve patlatma tasarımı üzerinde değişiklik yapılabilmesi mümkündür. Kayaç, doğal olarak oluştuğu için onun üzerinde herhangi bir değişiklik yapılması söz konusu değildir. Bu nedenle kayaç özellikleri iyi okunmalı ve anlaşılmamalıdır.

1.2. Patlatma ve Patlatılabilirlik

1.2.1. Patlatma ve Mekanizması

Patlatma mekanizması basitçe incelendiğinde; patlatmanın ilk aşaması patlama esnasında oluşan şok dalgası ve bu dalganın oluşturduğu çatlaklardır. Son aşamada ise; bu çatlaklara patlayıcının oluşturduğu gaz dolar ve basınç uygulayarak çatlakları serbest yüzeye kadar iletirler. Bu nedenle kayaçta patlatma öncesi var olan süreksizlikler yani kayacın yapısal özellikleri çok önemlidir.

Patlatma sürecini etkileyen parametrelerden biri patlayıcı enerjisi olsa da hedeflenen parçalanma için patlayıcı enerjisinin tamamı kullanılamamaktadır. Sadece şok enerjisi ve gaz enerjisi ile iş yapılmakta olup geri kalan enerji atıl olmaktadır (Şekil 1.2). Bu nedenle enerjinin verimli kullanımı, başarılı bir patlatma ve minimum çevresel etki anlamına gelmektedir.



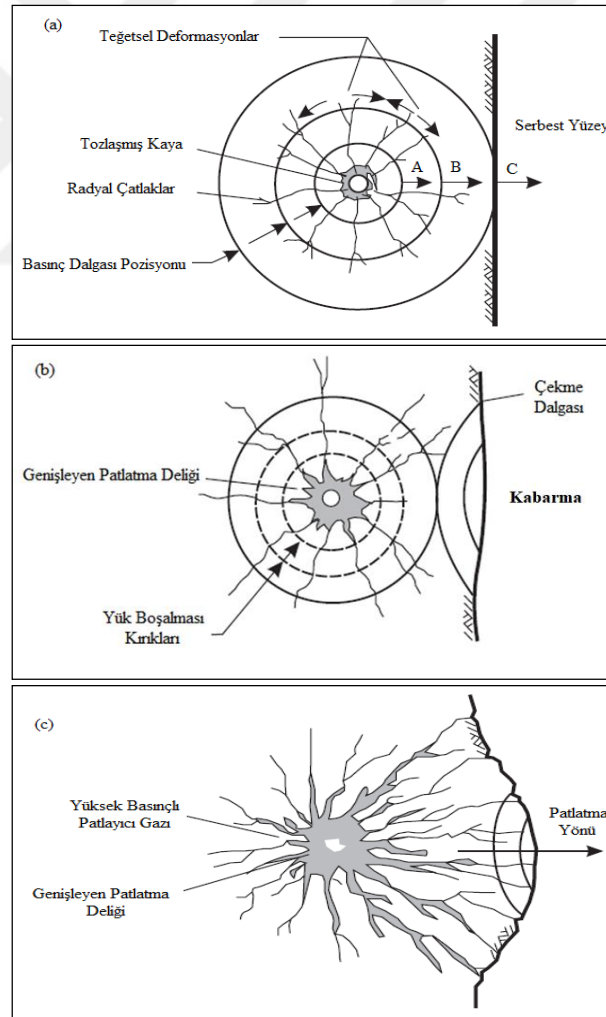
Şekil 1.2. Patlayıcı patladığında enerji dağılımı (Konya ve Walter, 1990).

Patlatmanın vazgeçilmez olarak uygulandığı madencilik, inşaat (altyapı projeleri), tünel inşaatı gibi çeşitli alanlarda patlatma sebebiyle çevre problemleriyle sıkça karşılaşılmaktadır (Cihangir vd. 2005). Özellikle patlatma kaynaklı titreşim ve onun azaltımı konusunda bir çok çalışma mevcuttur (Bollinger, 1971; Siskind vd., 1980; Anderson vd., 1982; Dowding, 1985; Siskind vd., 1989; Anderson, 1993; Persson vd., 1994; Muller ve Hohlfeld, 1997; Hoshino vd., 2000; Siskind, 2000; Chen ve Huang, 2001; Tripathy ve Gupta, 2002; Adhikari vd., 2004, Aldaş ve Ecevitoglu, 2008; Uyar Aldaş, 2010). Bu çalışmalar göz önüne alındığında önemli ve dikkat gerektiren bir uygulama olan patlatmanın tam ifade edilebilmesi için patlatılabilirlik konusu büyük önem arz etmektedir.

Patlayıcı patladığında birkaç milisaniye içinde yüksek sıcaklık ve basınca sahip gaz döner. Bu enerji, kaya kütlesi içine hızı 2000-6000 m/s olan basınç deformasyon dalgası şeklinde aktarılır (Wylie ve Mah, 2004; Kayabalı, 2006).

Patlama başladığında, deformasyon dalgası patlatma deliğinin etrafındaki kayaya nüfuz ederken delik çapının iki katı (sert kaya için geçerli olup, yumuşak kaya için daha geniştir) kadar mesafedeki kaya basınç ile ezilir (Şekil 1.3a). Basınç dalgası cephesi gerilme seviyesi hızla kayanın dinamik basınç dayanımının altına düşer ve tozlaşmış kaya zonunun ötesindeki kaya, teğetsel çekme gerilmelerinin oluşmasına sebep olan kuvvetli radyal basınca maruz kalır. Bu gerilmelerin kayanın dinamik çekme dayanımını aştığı yerlerde radyal çatlaklar oluşur. Bu çatlakların uzunluğu, patlayıcının enerjisine ve kayanın dayanım özelliklerine bağlı olup patlatma delik çapının 40-50 katı uzunluğunda olabilir (Wylie ve Mah, 2004; Kayabalı, 2006).

Basınç dalgası kaya içinde ilerlerken, kayadaki eş merkezli kırıklar radyal genişlemeye maruz kalır ve bunun sonucunda patlatma deliği etrafında teğetsel yük boşalması kırıkları oluşur. Bu iç içe kırıklar silindirik yüzeyleri takip ederler ve daha sonra serbest yüzeye doğru giderek yaklaşır. Basınç dalgası serbest yüzeye ulaştığı zaman çekme deformasyon dalgası olarak geri yansır. Yansıyan çekme dalgasının yeterince güçlü olması halinde herhangi bir serbest yüzeyden patlatma deliğine doğru kabarıp dökülme gelişir. Bu durum kayanın yükünün boşaltılmasına neden olur ve daha önce oluşan radyal kırıkları genişletir (Şekil 1.3b). Radyal genişlemeden ve basınç dalgalarının yansımalarından dolayı kayanın yükü düşerken, genişleyen gazların birim deformasyon dalgasıyla oluşturulan kırıkları açması ve etrafındaki kütleyi itmeye başlaması mümkün olur (Şekil 1.3c) (Wylie ve Mah, 2004; Kayabalı, 2006).



Şekil 1.3. Patlayıcı ile kaya kırılma mekanizması (Wylie ve Mah, 2004; Kayabalı, 2006).

Gazlar, malzemeleri itmeye başladığında birbirlerine çarpan kaya parçaları nedeniyle fazladan bir parçalanma daha olmaktadır. Bütün bu süreç, ancak başarılı bir planlamayla verimli olmaktadır. Patlatma sürecine etki eden parametreler dile getirilirken iki grup altında toplanmaktadır. Bu gruplandırmada esas olan, parametrelerde değişiklik yapmanın bizim elimizde olup olmadığıdır.

Kontrol edilebilen parametreler, hedeflenen patlatma verimi için üzerinde değişiklik yapılabilen parametreler şeklinde tanımlanabilir. Bunlar genel olarak;

- Patlayıcı özellikleri (patlayıcı enerjisi, patlayıcı cinsi, yoğunluk, donmaya karşı direnç, duyarlılık, kritik çap, detonasyon hızı vb.)
- Patlatma geometrisi (delik çapı, delik boyu, dip delgi, delik eğimi, sıkılama boyu, dilim kalınlığı, serbest yüzey sayısı, delikler arası mesafe, basamak yüksekliği vb.)
- Patlatma teknolojileri (ateşleme sistemi, ateşleme sırası vb.) ile ilişkilidir.

Kontrol edilemeyen parametreler patlatılacak malzemenin oluşumuyla ilişkilidir ve değişiklik yapılamaz.

- Jeolojik ve yapısal özellikler
- Süreksizlikler
- Kayaç dayanımı ve özellikleri
- Hava Durumu
- Su Durumu

1.2.2. Patlatılabilirlik

Patlatmada, basınç gerilme dalgası patlatma deliğinden serbest yüzeye doğru gider ve çekme gerilme dalgası olarak geri yansır. Geri yansıyan çekme gerilmesi kayanın çekme gerilmesini aştığı zaman bu gerilme ile kaya çatlar. Bu çatlama prosesi geriye kalan basınç gerilmesi zayıflayana kadar devam eder.

Patlatılabilirlik, kaya kütesinin patlatmaya karşı hassasiyetini gösterir ve özgül şarj ile yakından ilişkilidir (Dey ve Sen, 2003). Patlatılabilirlik konusunda günümüze kadar birçok araştırma yapılmış ve bu araştırmalarda daha çok arazi koşullarında yapılan deneysel patlatmalar kullanılmıştır. Yapılan araştırmalarda, kayanın mekanik ve deformasyon özellikleriyle sahadaki çalışmalar arasında ilişki aranmıştır. Ama genelde yapılan bu çalışmalar bölgeye özgü olmaktadır. Çalışmalarda geliştirilmiş olan patlatılabilirlik

indeksi üzerine de öneriler olmuştur. Yukarıda da belirtilmiş olduğu üzere patlatılabilirlik, özgül şarj ile yakından ilişkilidir. Çünkü özgül şarj, parçalanan patlayıcı miktarı ile onu kırmak için kullanılan kayanın hacminin birbirine oranıdır (Eş. 1).

$$\text{Özgöl Şarj} = \frac{\text{Patlayıcı Miktarı}}{\text{Kayanın Hacmi}} \quad (1)$$

Eşitlik 1’den anlaşılacağı gibi; patlatılabilirlik ile varılmak istenen sonuç aslında özgül şarjdır. Çünkü birim kayayı patlatmak için gereken patlayıcı miktarı, mühendislik çalışması için oldukça önem arz etmektedir. Fakat unutulmaması gereken konu patlayıcı kavramının geniş bir ifade olmasıdır. Çalışmalarda farklı tür ve güçlerdeki patlayıcılarla yapıldığı için geliştirilen patlatılabilirlik indekslerini genellemek, istenilen tatmin edici sonuçları vermemektedir.

Geçmişten günümüze yapılan çalışmalara bakıldığında;

Fraenkel (1954)’e göre; maksimum dilim kalınlığı, delik derinliği, şarj çapı ve şarj yüksekliği arasında deneysel bir ilişki olduğu öne sürülmektedir (Eş. 2) (Gokhale, 2011). Bu ilişkiye göre;

$$FS = \frac{(50 * V_{max})}{h^{0,3} * H^{0,3} * d^{0,8}} \quad (2)$$

FS : Patlatılabilirlik

V_{max} : Maksimum dilim kalınlığı (m)

H : Delik derinliği (m)

H : Şarj yüksekliği (m)

D : Şarj çapı (mm)

Hino (1959)’a göre, patlatılabilirlik katsayısı; basınç dayanımının çekme dayanımına oranıdır. Oluşan çatlakların uzunluğu ve tabakaların sayısı; kayanın çekme dayanımına, basınç dalgasının uzunluğuna ve genliğine bağlıdır (Eş. 3). Formülde “tk” tabaka kalınlığını ifade etmektedir (Eş. 4) (Dey ve Sen, 2003).

$$\text{Tabaka sayısı } (tas) \leq \frac{\text{Genlik}}{\text{Çekme Gerilmesi}} \quad (3)$$

$$tas \leq \frac{Dolga\ Uzunuğu}{2tk} \quad (4)$$

Hino (1959), aynı zamanda kayanın basınç dayanımı ve basınç gerilme dalgasının genliği arasında lineer bir ilişki olduğunu belirterek, genlik yerine basınç dayanımı kullanmaktadır (Eş. 5) (Dey ve Sen, 2003).

$$BC = \frac{\sigma_c}{\sigma_t} \quad (5)$$

BC: Patlatılabilirlik katsayısı, σ_c : Basınç dayanımı, σ_t : Çekme dayanımı

Hansen (1967) ise, Marrow Point barajı ve santral tesisi projesi için gereken uygun parçalanma için, patlayıcı miktarının tahminini sağlayan bir formül vermektedir (Eş. 6).

$$Q = B^2 \left\{ 0,0236 * \left(\frac{h_y}{B} + 1,5 \right) + 0,1984 * C_s * \left(\frac{h_y}{B} + 1,5 \right) \right\} \quad (6)$$

Q : Serbest yüzeyi olan tek bir delik için toplam şarj (kg)

B : Dilim kalınlığı (m)

h_y : Serbest yüzeyin yüksekliği (m)

C_s : Deneysel atımlarla hesaplanacak kaya sabiti

Aynı zamanda yukarıda hesaplanan toplam şarjın; delik sapması, patlayıcı gücü, delgi paterni ve aynı anda patlayan diğer şarjların etkisini göz önüne alan bir düzeltme Eşitlik 7’de önerilmektedir.

$$Q_c = \frac{F_h}{P_f} * \frac{S_m}{B} * 0,80 \quad (7)$$

F_h : Sabitleme faktörü = 1,0 (Dikey delik)’e 0,75’e kadar (Serbest kırılma delik dibinde)

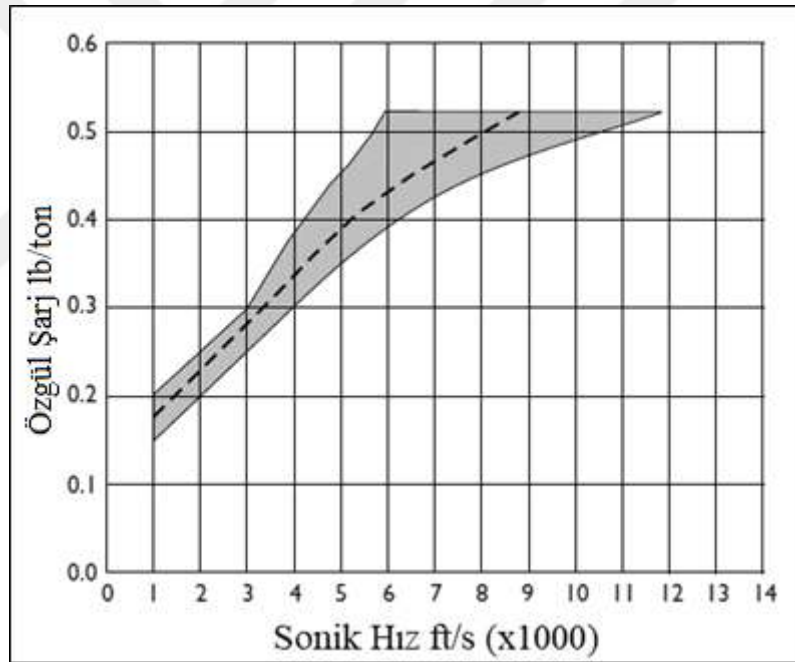
P_f : Patlayıcı faktörü =0,9 (%30 dinamit)’den 1,3’e kadar (%60 dinamit)

S_m : Delikler arası mesafe

B : Dilim kalınlığı (m)

Sassa ve Ito (1974), daha çok tünelticilik uygulamaları üzerine yapılan çalışmalarında; çatlak sıklığı değerleri ve laboratuvarda yapılan kaya mekaniği deneylerinden elde edilen değerler arasında regresyon analizleri yaparak, RBFİ kaya kırma saha indeksini önermektedir. Daha sonra bu çalışma geliştirilerek RBLI kaya kırma laboratuvar indeksi verilmektedir (Dey ve Sen, 2003).

Heinen ve Dimock (1976), Nevada'da (ABD) bulunan bakır madenindeki saha çalışmalarına istinaden patlatılabilirliği tanımlayarak özgül şarj ve sismik yayılma arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır (Gokhale, 2011). Buna göre kayada yayılma hızı arttıkça, ortalama özgül şarjın da arttığı belirtilmiştir. Sahada yapılan çalışmalara istinaden; parçalanma, özgül şarj, patern boyutu ve akustik hız arasındaki korelasyon grafiği Şekil 1.4'te belirtilmiştir.



Şekil 1.4. Parçalanma, özgül şarj, patern boyutu ve sonik hız arasındaki korelasyon (Heinen ve Dimock, 1976).

Langefors (1978), kayanın etkisini gösteren bir faktör (kaya sabiti) önermektedir (Eş. 8). C_0 limit şarjı temsil eder. C ise içerisinde tatmin edici kırılma için gereken teknik bir pay bulundurulur.

$$C = 1,2 * C_0 \quad (8)$$

C_0 değeri; kırılğan kristalin granitler için deneme atışlarıyla bulunmuş ve $0,17 \text{ kg/m}^3$, diğer kayaçlar için $0,28-0,35 \text{ kg/m}^3$ alınmaktadır. Fakat uygulamada $0,4 \text{ kg/m}^3$ olarak kabul edilmektedir. Bunun sebebi ise; kaya kütlesi ile ilgili diğer parametreler dikkate alınarak olası olumsuzluklara karşı güçlendirilmiş olmasıdır.

Praillet (1980), çalışmalarında dilim kalınlığı değerini; basamak yüksekliği, şarj yoğunluğu, detonasyon hızı, sıkılama yüksekliği, tek eksenli basınç dayanımı ve donanım boyutuna bağlı bileşenlerden oluşturulan bir fonksiyon olarak tanımlamıştır (Jimeno vd., 1995).

Borquez (1981) ise; patlatılabilirlik faktörünü (K_v), RQD kullanılarak dilim kalınlığının (delik yükünün) bulunması için hesaplanan delme denkleminde alterasyon katsayısı (Tablo 1.1) ile düzeltme yaparak hesaplamıştır (Eş. 9 ve 10) (Şekil 1.5) (Dey ve Sen, 2003; Jimeno vd., 1995).

$$ERQD = RQD * \text{alterasyon faktörü} \quad (9)$$

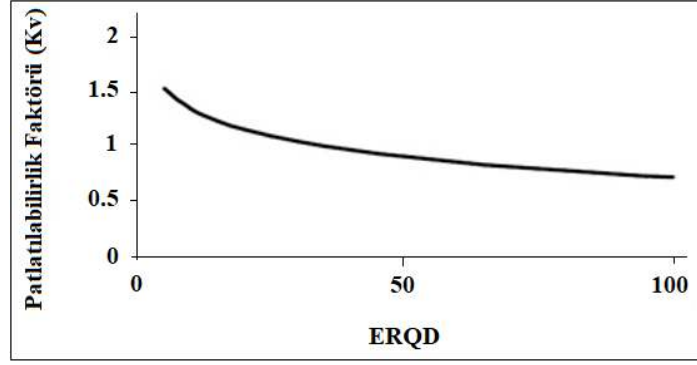
$$K_v = a + b * \ln(ERQD) \quad (10)$$

ERQD; eşdeğer RQD'yi, a ve b sabit sayıları ifade etmektedir.

Tablo 1.1. Alterasyon faktörü (Borquez, 1981).

Eklem Dayanımı	Alterasyon Faktörü
Güçlü	1,0
Orta	0,9
Zayıf	0,8
Çok Zayıf	0,7

Borquez (1981)'in yapmış olduğu ERQD ile patlatılabilirlik ilişkisi Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. ERQD ve patlatılabilirlik ilişkisi (Borquez, 1981).

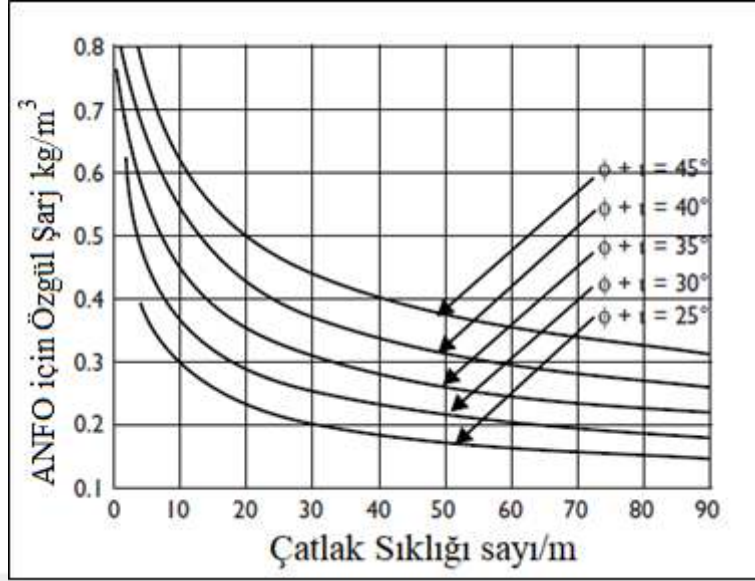
Ashby (1981), kaya kütlelerinin dayanımını temsilen etkin içsel sürtünme açısını, çatlak yoğunluğunu da temsilen çatlak sıklığını temel alarak Bougainville (Papua Yeni Gine) bakır madeninde yapılan patlatma için gerekli özgül şarjı ampirik olarak vermektedir. Bu ilişki geniş aralıkta doğal çatlaklar gözlenen porfiri bakır madeninde yapılan yüzlerce patlatmanın kaydedilmesi ve optimizasyonu ile elde edilmiştir (Eş. 11). Ashby (1981), çatlak sayısı/metre değerini çatlak sıklığını temsil etmek için kullanmaktadır.

$$\text{Özgül Şarj} = \frac{0,56 \cdot \tan(\phi + i)}{\sqrt[3]{\text{Çatlak sayısı/metre}}} \text{ kg/m}^3 \quad (11)$$

ϕ : İçsel Sürtünme açısı

i : Pürüzlülük açısı

Şekil 1.6'da özgül şarj ile çatlak sıklığı ve eklem kesme dayanımı arasındaki ampirik eşitlikle bulunmuş olan ilişki verilmektedir.



Şekil 1.6. Özgül şarj ile çatlak sıklığı arasındaki ilişki (Ashby, 1981).

Leighton vd. (1982), ise Mathis (1975)'in önerdiği RQI (Kaya Kalite İndeksi) değeri, döner delici kullanılarak aşağıdaki denklem ile hesaplanır (Eş. 12) (Jimeno vd., 1995).

$$RQI = E_h \frac{t}{H} \quad (12)$$

E_h : Delicinin hidrolik basıncı (kPa)

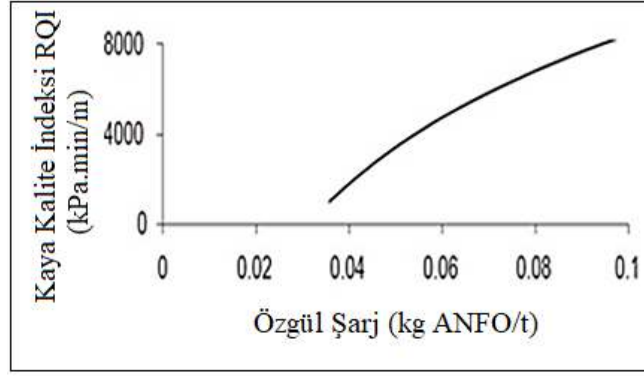
t : Delgi süresi (dk)

H : Patlatma deliği uzunluğu (m)

Leighton vd. (1982), RQI ile ANFO'nun özgül şarjı arasında bir korelasyon ($r = 0,98$) ortaya koymuştur (Şekil 1.7). Bu yaklaşımın temel sorunu; sadece belli bir çap ve delme makinesinde kullanılabilir olmasıdır. Leighton vd. (1982)'nin geliştirdiği formül ise Eşitlik 13'de görülmektedir;

$$\ln(CE) = \frac{RQI - 25000}{7200} \quad (13)$$

CE : Özgül şarj (kg ANFO/ton)



Şekil 1.7. RQI ve özgül şarj arasındaki korelasyon (Leighton, 1982).

Rakishev (1982); patlatılabilirliği, patlama ile çatlamaya karşı direnç olarak tanımlamaktadır (Eş. 14). Yapmış olduğu çalışmada verilen değerlerden hesaplanan ortalama d_n ve k değerleri Tablo 1.2’de verilmiştir.

$$V_{cr} = k\sqrt{g * d_n} + \frac{\sigma_{cor}}{\rho * V_p} \quad (14)$$

- V_{cr} : Kritik çatlak hızı
 g : Yerçekimi ivmesi
 k : Çatlak boşluğunun açılma derecesi
 d_n : Doğal yapısal birimin ortalama çapı
 V_p : Boyuna dalga hızı
 ρ : Kaya yoğunluğu
 σ_{cor} : Düzeltilmiş dayanım

Tablo 1.2. Rakishev (1982)’e göre ortalama d_n ve k değerleri

Kayaçlar	$d_{n,ort}$	k_{ort}
Granodiyorit	0,51	0,964
Kireçtaşı	0,64	0,835
Kumtaşları	0,52	0,845
Mermer	1,10	1,330
Skarnlar	0,72	1,000

Rakishev (1982)’e göre, normal patlatma koşullarında toplam kaya hacminin %10’u basma gerilmesi ile kırılır. Geriye kalan %90’lık kısım normal çekme gerilmesi ile kırılır.

Bu yüzden hata faktörü olarak düzeltme sunmuştur (Eş. 15). Yapılan hesaplamanın yorumu Tablo 1.3'e göre yapılır.

$$\sigma_{cor} = 0,1 * \sigma_c + \sigma_t \quad (15)$$

σ_c : Basınç Dayanımı (MPa)

σ_t : Çekme Dayanımı (MPa)

Tablo 1.3. Kritik çatlak hızı ile patlatılabilirlik arasındaki korelasyon (Rakishev, 1982).

Kritik çatlak hızı (m/s)	Patlatılabilirlik
$3,6 > V_{cr}$	Kolay patlatılır
$3,6 < V_c < 4,5$	Kısmen kolay patlatılır
$4,5 < V_{cr} < 5,4$	Zor patlatılır
$5,4 < V_{cr} < 6,3$	Çok zor patlatılır
$6,3 < V_{cr}$	Son derece zor patlatılır

Lopez ve Jimeno (1984), RQI'nın sınırlayıcılarını da hesaba katarak kaya karakteri delgi indeksini öne sürmüştür (Eş. 16) (Jimeno vd., 1995). Buna göre;

$$Ip \text{ delgi indeksi} = \frac{P_v}{\frac{B_a * N_r}{D^2}} \quad (16)$$

P_v : Penetrasyon hızı (m/sa.)

B_a : Bit üzerindeki baskı ağırlığı (453,59 kg)

N_r : Delgi hızı (rpm)

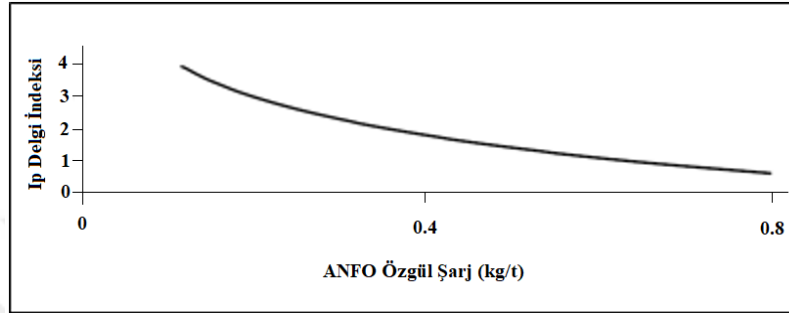
D : Delgi çapı (inç)

Bu formül aşağıdaki koşullarda geçerlidir;

- Delgi biti formasyona en uygun olandan seçilmelidir.
- Hava akışı delgi kırıntılarını uzaklaştırmak için yeterli olmalıdır.
- Sadece net penetrasyon hızı hesaba katılmalıdır (Bit değiştirme ve pozisyon değiştirme süreleri hesaba katılmaz).

Çeşitli madenler kullanılarak elde edilen veriler ile şarj faktörü ve I_p delgi indeksi arasında istatistiki regresyon analizleri yapılarak, aşağıdaki formül ve Şekil 1.8 ortaya konulmuştur (Eş. 17).

$$\text{Şarj Faktörü} = 1,124 * e^{-0,5727 * I_p} \text{ (ANFO } kg/m^3) \quad (17)$$



Şekil 1.8. I_p delgi indeksi ve özgül şarj arasındaki korelasyon (Lopez ve Jimeno, 1984).

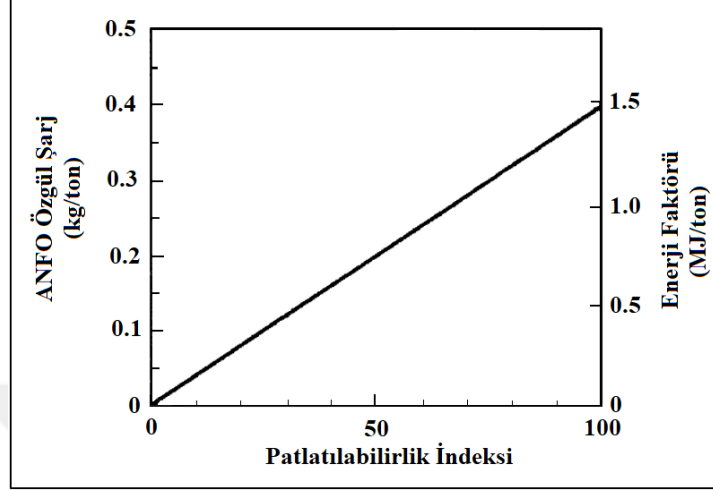
Lilly (1986) tarafından geliştirilen patlatma indeksi; eklem yoğunluğu ve yönelimi, özgül ağırlık ve sertlik gibi kaya kütlelerinin özelliklerinden çıkmaktadır (Eş. 18).

$$BI = 0,5 * (RMD + JPS + JPO + SGI + M) \quad (18)$$

BI = Patlatma indeksi

RMD (Kaya kütle tanıımı)	= 10	Ufalanabilir/Parçalanabilir kaya kütle
	= 20	Bloklu kaya kütle
	= 50	Tamamen masif kaya kütle
JPS (Düzlemler arası mesafe)	= 10	Yakın mesafeli (<0,1m)
	= 20	Orta dereceli (0,1-1,0 m)
	= 30	Geniş aralıklı (>1,0 m)
JPO (Eklem düzlem yönelimi)= 10	Yatay	
	= 20	Aynadan dışa dalımlı
	= 30	Ayna ile normal tabaka yönü
	= 40	Aynadan içe dalımlı

SGI : Özgöl ağırlık etkisi= $25 \cdot \text{Kayanın Özgöl Ağırlığı (t/m}^3) - 50$
M : Mohs sertliği (1-10)



Şekil 1.9. Patlatılabilirlik indeksi-ölgöl şarj ilişkisi (Lilly, 1986).

Ghose (1988); çalışmalarında kömür madeni koşulunda, kaya kütlesinin jeomekanik sınıflama sistemini öne sürmektedir ve ölgöl şarj ile patlatılabilirlik arasında korelasyon kurmaktadır (Jimeno vd., 1995; Dey ve Sen, 2003). Bu korelasyon sonucunda bulduğu denklem Eşitlik 19’da, denklem çözümü için katsayı karşılıkları Tablo 1.4’te ve hesaplanan BI’nın yorumu için gerekli olan veriler Tablo 1.5’te verilmiştir.

$$BI = (DR + DSR + PLR + JPO + AF1 + AF2) \quad (19)$$

BI : Patlatma indeksi
DR : Yoğunluk oranı
DSR : Süreksizlik açıklığı oranı
PLR : Nokta Yük Dayanım İndeksi Oranı
JPO : Eklem düzlem yönelimi oranı
AF1 : Düzeltme faktörü 1
AF2 : Düzeltme faktörü 2

Tablo 1.4. Patlatılabilirlik indeksi için tahsis edilmiş parametre oranları (Ghose, 1988)

Parametre	Aralıklar				
Yoğunluk (t/m ³)	<1,6	1,6-2,0	2,0-2,3	2,3-2,5	>2,5
	20	15	12	6	4
Süreksizlik açıklığı (m)	<0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-2,0	>2,0
	35	25	20	12	8
Nokta yük dayanım indeksi (MPa)	<1	1-2	2-4	4-6	>6
	25	20	15	8	5
Eklem düzlem yönelimi	DIF	SAF	SNF	DOF	HOR
	20	15	12	10	6
Düzeltilme faktörü 1	Oldukça çevrelenmiş				-5
	Makul şekilde serbest				0
Düzeltilme faktörü 2	Delik derinliği/Dilim kalınlığı >2				0
	Delik derinliği/Dilim kalınlığı 1,5-2				-2
	Delik derinliği/Dilim kalınlığı <1,5				-5

DIF: Aynadan içe dalımlı, SAF: Normal tabaka ile ayna arasında dar açı, SNF: Ayna ile normal tabaka yönü, DOF: Aynadan dışa dalımlı, HOR: Yatay

Tablo 1.5. Patlatılabilirlik ile özgül şarj arasındaki ilişki (Ghose, 1988).

Parametre	Değer				
Patlatılabilirlik İndeksi	30-40	40-50	50-60	60-70	70-85
Özgül şarj (kg/m ³)	0,7-0,8	0,6-0,7	0,5-0,6	0,3-0,5	0,2-0,3

Gupta vd. (1990) saha verilerine dayanarak çeşitli kaya dayanımları için özgül şarj (kg/m³) değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır (Eş. 20) (Gokhale, 2011; Dey ve Sen, 2003).

$$\text{Özgül Şarj} = 0,278 * B^{-0,407} * F_p^{0,62} \quad (20)$$

B : Geçerli dilim kalınlığı (m)

F_p : Protodyakonov dayanım indeksi (Eş. 21).

$$F_p = 1,06 * \frac{\sigma_c^2}{E} \quad (21)$$

σ_c : Basınç dayanımı (kg/cm²)

E : Elastisite modülü (kg/cm²)

JKMRC (1996), kömür katmanı üzerinde patlatılabilirlik analizleri yaparak patlatma performansını etkileyen kaya kütlesi özelliklerini Tablo 1.6'da sınıflandırmıştır (Pal Roy, 2005).

Tablo 1.6. Patlatılabilirlik vaka çalışması (JKMRC, 1996).

Parametreler	Dragline uygulaması	Dragline uygulaması ile döküm patlatması	Shovel uygulaması	Islak koşullarda Shovel Uygulaması	Önden Yükleyici
Kaya kütlesi					
Dayanım (MPa)	60	60	50	50	40
Yoğunluk (g/cm ³)	2,51	2,51	2,47	2,47	2,42
Elastisite modülü (GPa)	12	12	10	10	10
Yapı					
Blok boyutu (m)	2	2	2	2	0,5
Yapı (1-9)	5	5	5	5	3
Dizayn					
Hedef parçalanma boyutu (m)	0,5	0,5	0,3	0,3	0,15
İlerleme Mesafesi (1-9)	5	10	5	5	7
Kısıtlılık (1-9)	5	5	5	5	7
Ölçek (1-9)	3	3	5	5	7
Çevre					
Su (1-9)	1	1	1	5	1
İndeksler					
Dayanım	0,3	0,3	0,25	0,25	0,2
Kırılma	0,08	0,08	0,13	0,13	0,06
Have	0,25	0,51	0,26	0,26	0,36
Düzenleyici	-0,02	0,03	0,00	0,08	0,02
Özgül	Kg/t	0,18	0,24	0,17	0,21
şarj	Kg/m ³	0,44	0,61	0,42	0,39

Tablo 1.6'da bulunan indekslerden;

- Dayanım İndeksi; kayacın basınç dayanımının özgül şarj ile orantılı olduğunu gösterir.
- Kırılma İndeksi; gerekli olan kırılma derecesi yerinde blok boyutu ve hedeflenen parça boyutunun oranıdır.
- İlerleme Mesafesi İndeksi; gerekli olan ilerleme enerjisi elastisite modülü ile ters orantılıdır.
- Düzenleyici İndeksi; özgül şarjı yapı, ölçek ve sınırlandırma düzenleyici değeri ile ayarlamaktadır. Düzenleyici değeri 5 ise nötr, >5 ise zor ve <5 ise kolay şeklinde yorumlanır.

Han vd. (2000); kaya kütlesinin patlatılabilirliğini tanımlamak için yapay sinir ağlarını (YSA) kullanmıştır. Araştırmacılar, 6 girdi, 5 gizli ve 1 çıktı işlem elemanı kullanarak geri yayılım ağı dizayn etmişlerdir (Eş. 22).

$$K = \{L_h S_h, R_{cd} E_d P_c d_{cp}\} \quad (22)$$

L_h : 2*2 m² blok içindeki toplam çatlak uzunluğu (m)

S_h : 2*2 m² blok içindeki ortalama çatlak uzaklığı (m)

R_{cd} : Kayanın dinamik basma dayanımı (MPa)

E_d : Kayanın dinamik elastisite modülü (GPa)

P_c : Niteliksiz blok yüzdesi (%)

d_{cp} : Ortalama parça boyutu (mm)

K : Ağın çıkış parametresi

Patlatılabilirlik kavramı, Rustan vd. (2010)'nin çalışmasında, kayanın patlatma ile parçalanma kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Patlatılabilirlik için en önemli fiziksel ve mekanik kaya özellikleri;

- Akustik Empedans,
- Kaya yapısı ve süreksizliklerin sürtünme özellikleri ve
- Kaya kütlesinin su içeriği olarak belirtilmektedir.

Akustik empedans, kaya patlatılabilirliği (kritik dilim kalınlığı) ve kaya parçalanması (benzerlik indeksi) açısından önemli bir niceliktir. Akustik empedans (Z) (kg/m²s, Ns/m³ ya da Pas/m), materyalin yoğunluğu ve ultrasonik P dalgı hızının bir ürünü olarak tanımlanmıştır. Materyalin, enerji transfer özelliklerini karakterize ettiğı yazar tarafından belirtilmiştir. Empedans teorisi, patlatma deliğı çevresine komşu bölgeye patlayıcının ne kadar enerji ilettiğini yaklaşık olarak tanımlar (Eş. 23).

$$p_t = Z_R = \frac{Z_i}{Z_t} = \frac{2p_i}{(1+Z_R)} \quad (23)$$

Akustik empedans teorisi;

p_t : İletilen basınç (Pa)

- p_i : Yansıyan basınç (Pa)
 Z_R : Empedans Oranı
 Z_i : Yansıyan dalga empedansı
 Z_t : İletilen dalga empedansı

Gokhale (2011); kitabında numune patlatılabilirliği altında, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (NTNU) tarafından belirtilen patlatılabilirlik indeksini açıklamıştır. Bu patlatılabilirlik indeksi, birçok değişkeni hesaba katan bir formüldür (Eş. 24). Hesaplanan değer Tablo 1.7'deki karşılığına göre yorumlanır.

$$S_g = \frac{0,7364 * I_a^{0,61} * (\rho_e)^{0,72}}{\left(\frac{C}{1000}\right)^{0,4} * \left(\frac{W}{C}\right)^{0,25} * \rho^{0,19}} \quad (24)$$

- S_g : Kaya patlatılabilirlik indeksi
 I_a : Anizotropi indeksi = C_y/C_z
 C_y : Foliasyona paralel nemli kaya sonik hızı (m/s)
 C_z : Foliasyona normal nemli kaya sonik hızı (m/s)
 ρ : Nemli kayanın yoğunluğu (kg/L)
 ρ_e : Patlayıcının şarj yoğunluğu (kg/L)
 W : Patlayıcının detonasyon hızı (m/s)

Eşitlik 24'de verilmiş formülde bulunan C'nin değeri aşağıdaki eşitlik vasıtasıyla bulunmaktadır (Eş. 25).

$$C = \frac{C_y + C_z}{2} \quad (25)$$

Tablo 1.7. NTNU patlatılabilirlik gösterge değerleri (Gokhale, 2011).

Patlatılabilirlik kalitesi	Gösterge
İyi Patlatılabilir	0,38
Kısmen Patlatılabilir	0,47
Zayıf Patlatılabilir	0,56

Sawmliana ve Pal Roy (2012), tavan yönetiminin zor olduğu Fransız kömür üretim tekniği olan galeri yelpaze patlatma yöntemi için patlatılabilirlik önermiştir. Bu yöntemde, 3 temel jeomekanik parametre bulunmaktadır (Tablo 1.8). 100 puan üzerinden yapılan değerlendirmede, 65 puan jeomekanik parametrelerden 35 puanda düzeltme faktörlerinden gelebilmektedir.

Tablo 1.8. Temel jeomekanik parametreler ve sınıf değerleri (Sawmliana ve Pal Roy, 2012).

Parametre		Değer Aralıkları				
1	Yoğunluk (g/cm ³)	1,2-1,6		1,6-2,0	2,0-2,5	>2,5
	Sınıf değeri	15		11	8	5
2	Tabaka kalınlığı (m)	0,1-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	>2,0
	Sınıf değeri	30	25	20	15	10
3	TEBD (MPa)	10-25		25-35	35,50	>50
	Sınıf değeri	20		15	10	5

Tablo 1.9. Patlatma ile tavan göçebilirliğine göre patlatılabilirlik indeksi (Sawmliana ve Pal Roy, 2012).

Patlatılabilirlik İndeksi	Tavan Sınıflaması
>80	Çok kolay göçebilir
60-80	Kolay göçebilir
50-60	Kısmen göçebilir
40-50	Zor göçebilir
20-40	Önemli zorluk ile göçebilir
<20	Aşırı zorluk ile göçebilir

Sawmliana ve Pal Roy (2012), daha sonra bulunan sonucun karşılığı Tablo 1.9’da kontrol edilir ve yorumlanır. Düşük değer zor göçebilir anlamındadır.

1.3. Tezin Amacı

Mühendislikte yapılan çalışmalarda kullanılan birçok değişkenin değeri önceden bilindiği zaman problemlere yönelik kesin bir çözüm sunulabilmektedir. Örneğin; kütlesi belli olan bir cismin ona etkileyen kuvvet ile o cismin ivmesi hesaplanabilir. Başka bir örnek verilecek olursa; kesit alanı ile akışkan hızı bilinmekte olan borunun, kesitinden belirli bir zamanda geçen akışkanın hacmi bulunabilir (Bayazıt ve Yeğen Oğuz, 2005). Bu gibi

rastlantısallıktan uzak kesin bilgi içeren belirlenimci ifadeler net bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat özellikle yer bilimleriyle ilgili mühendislik olaylarının açıklanmasında bu kadar kesin ifadeler kullanılamamaktadır. Bu bakımdan kullanılmakta olan deney standartları gibi birçok olgu rastlantısallığı göz önüne alarak istatistiksel bir çalışma sonucu ortaya konulmuştur. Örnekle ifade edecek olursak, tek eksenli basınç dayanımı deneyi için minimum kaç tane deney yapılması gerektiği ve kaç tane numunenin kayacı temsil ettiği sorusunun cevabı, istatistiki verinin deney standartlarına dönüştürülmüş halidir. Bu açıdan istatistik bilimi mühendislik çalışmaları için büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında maden ve inşaat sektörleri için olmazsa olmaz bir mühendislik çalışması olan patlatma uygulamasının en basit ve temel ifade edilebilir hali olan patlatılabilirlik kavramına etki eden parametreler incelenmiştir. Literatürde belirtilmiş parametreler dışında patlatılabilirliğe etkisi olabilecek parametreler, yapılan petrografik analizler ve kaya mekaniği deneyleri sonucunda istatistiksel olarak ortaya konulmaya çalışılmış ve etkilerinin derecesi uyum analizleriyle ifade edilmiştir. Malzeme olarak granit hem faneritik dokusu hemde birçok mineral içerdiği için tercih edilmiştir.

1.4. Çalışma Bölgesinin Genel Jeolojisi

Numunelerin alındığı alanındaki granitik kayaçlar, değişik araştırmacılar tarafından farklı adlar altında incelenmiştir. Schultze-Westrum (1961), söz konusu kayaçları “Harşit Graniti” şeklinde tanımlarken Gedikoğlu (1978), “Harşit Granitik Karmaşığı” olarak tanımlamıştır. Türk-Japon ekibi (1985), Harşit çevresindeki granitik kayaçları Kürtün Granidioriti’ne dâhil etmişlerdir. Köprübaşı (1992), inceleme alanındaki granitik kayaçların büyük bir olasılıkla aynı magma odasından türemiş, birbiri ardına gelen magma akıntılarının katılaşmasıyla oluştuğunu, dolayısıyla diyoritten granite kadar çeşitli bileşimindeki bu magmatiklerin aralarında kesin sınır olmadığı ve tek bir ad altında (granit ve granodiorit) toplanamayacağını belirterek, söz konusu kayaçlar için “Harşit Granitoyidi” adını önermiştir. Granitoyid terimi genel anlamda holokristalen magmatik kayaçlar için kullanılmaktadır (Ceryan, 1999).

Harşit Granitoyidi, Harşit vadisinin Doğankent-Akköy arasında kalan kısmında, Söğütağzı Köyü’nde, Kozan Deresi yamaçlarında, Çatalağaç Köyü’nün güneyinde ve Doymuş Köyü’nde yüzeylenmişlerdir. Tipik Mostralarına Doğankent-Kürtün Yolu boyunca rastlanmaktadır (Ceryan, 1999). Arazide taze yüzeyleri gri renkte görülürler. İnce taneli

yapıya sahip olmasına rağmen kuvars feldispat ve hornblenler makroskobik olarak görülmektedir (Ceryan, 1999).

İkizdere yöresinde Biberöğlu volkanitleri (Alt Kretase), İkizdere Granitoyidi (Tersiyer) dayklar, Alüvyonlar ve Yamaç molozu (Kuvarterner) yüzeylenmektedir (Tüdeş vd., 1991). Granitlerin alındığı alan yaşlıdan gence doğru; Paleozoyik yaşlı metamorfik temel, Mesozoyik yaşlı Hamurkesen Formasyonu, Berdiga Formasyonu, Mecitli Formasyonu, Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu, Çağlayan Formasyonu, Çayırbağ Formasyonu, Bakırköy Formasyonu ve Kaçkar Granitoidleri, Senozoyik yaşlı Kabaköy Formasyonu ve Beşirli Formasyonu ile Kuvarterner yaşlı taraça, alüvyonların ve yamaç molozlarının yüzeyleme verdiği belirlenmiştir (Acar, 2015).

İkizdere Granitoyidi litolojik olarak genellikle; granit ve granodiyorit türü kayalar içerir. Ancak bu kayaların volkanitlerle dokanak yapan kenar kısımlarında mikrogranitler de görülmektedir. Granitoidi oluşturan kayalar arazide pembemsi gri ve beyazımsı gri renklerde. Granitoidi oluşturan kayalar içinde iri ortoklaz kuvars plajiyoklaz kristallerini makroskobik olarak izlemek mümkündür. Biyotitli olanlarda ise biyotitler gözle görülür şekilde dikkat çekmektedir (Tüdeş, 1994).

1.5. Kaya Mekanikinde İstatistiksel Değerlendirmeler

Kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri, mineralojik ve dokusal özelliklerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır (Tuğrul ve Zarif, 1999).

Bu özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmalarda; tek eksenli basınç dayanımı, üç eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanım indeksi, Schmidt çekici gibi testler kaya dayanımının belirlenmesinde en yaygın yöntemlerdir. Bunların arasında, üç eksenli test en doğru sonuç verir, ancak sürekli bir görüntü sunmaz. Tek eksenli basınç testleri, test örneğinin boyutu ve şekli, yükleme hızı, mineraloji, tane boyutu, tane şekli ve yükleme hızı gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Asadi, 2017).

Tek eksenli basınç dayanımını (TEBD) belirlemek için doğrudan ve dolaylı teknikler mevcuttur. Direkt yaklaşımda TEBD, laboratuvar TEBD testlerinden belirlenir (Amani ve Shahbazi, 2013). Dolaylı yöntemler nispeten basittir ve genellikle herhangi bir numune hazırlığı gerektirmez. Belirlenmiş standartlara dayanan standart deneysel test yöntemlerinin pahalı donanım gerektirmesi ve numune hazırlama yöntemlerinin zor ve zaman alıcı olması nedeniyle dolaylı yöntemler daha elverişlidir (Asadi, 2017). Bu nedenle, TEBD değerleri

daha basit, daha hızlı ve daha ekonomik bir şekilde basit matematiksel modeller ile öngörülebilmektedir (Amani ve Shahbazi, 2013).

Literatürde farklı kayaç türleri ve granitik kayaçların fiziksel, mekanik veya petrografik özellikleri arasındaki ilişki istatistiki yönden ampirik formüllerle ortaya konulmuştur (İrfan ve Dearman, 1978a; İrfan ve Dearman, 1978b; Gökçeoğlu ve Aksoy, 2000; Chang, 2004; Yaşar ve Erdoğan, 2004; Sönmez vd., 2004; Teymen, 2005; Chang vd., 2006; Ceryan vd., 2007; Ceryan vd., 2008; Babacan vd., 2012; Karakul ve Ulusay, 2012; Wasantha vd., 2012; Gupta ve Sharma, 2012; Amani ve Shahbazi, 2013; Chatterjee vd., 2013; Nefeslioğlu, 2013; Heidari vd., 2013; Yurdakul ve Akdaş, 2013; Najibi vd., 2015; Ahmadi-Sheshde ve Cheshomi, 2015; İnce ve Fener, 2016; Er ve Tuğrul, 2016; Stan-Kleczeck, 2016, Asadi, 2017; Ghafoori vd., 2018). Tez kapsamında yapılan araştırmada sadece granitik kayaçlar kullanıldığından bu kayaçlar üzerine yapılmış çalışmalar ele alınmıştır.

Tuğrul ve Zarif (1999), Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden aldıkları granitik kayaçların mühendislik özellikleri ve petrografik özellikleri arasındaki ilişkileri basit doğrusal regresyon analizleri ile ifade etmişlerdir. Her bir numunenin özgül ağırlık (ρ), kuru (γ_d) ve doymuş (γ_s) birim ağırlığı, su emme, etkili (n_e) ve toplam gözeneklilik (n_t), sonik hız (V_p), Schmidt sertliği (SHV), nokta yük indeksi (I_s), tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), çekme dayanımı (σ_t) ve elastisite modülü (E) belirlemek için deneyler yapılmıştır. Deney verilerinin, her bir numune için; dağılımlarını, ortalamalarını, standart sapmalarını ve varyanslarını belirlemek için istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Kayaçların petrografik karakteristiklerinin mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek için kuvars/feldspat (plajiyoklaz ve potasyum feldspat) oranı ve tane boyutu değerlerini regresyon analizleri kullanılarak diğer mühendislik özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Tuğrul ve Zarif (1999); kuvars içeriğinin toplam porozite ve kuru birim hacim ağırlık üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Bunun sebebi, özşekilsiz kuvars tanelerinin diğer tanelerin arasındaki boşlukları doldurmasından kaynaklanmaktadır. Kuvars/feldspat oranının artmasıyla kuru birim hacim ağırlık değerinin arttığı, toplam porozite değeri artarkende de kuru birim hacim ağırlık değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bunun da kuvars içeriği ile toplam porozite değeri arasında ters bir ilişkiyi ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. Mineral içeriği ile tek eksenli basınç dayanımı arasında basit doğrusal regresyon analizi neticesinde, kuvars/feldspat oranını ile tek eksenli basınç dayanımı arasında lineer bir etkileşim olduğu belirtilmiştir. Bir diğer ilişkide, çekme dayanım verisi

ile kuvars/feldspat oranında elde etmişlerdir. Bu ilişki %95 güven aralığında önemli değildir çünkü feldspattaki alterasyon oranının bu oranı etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca, graniti oluşturan ana minerallerin (kuvars, plajiyoklaz, potasyum feldspat, biyotit ve amfibol) oranının kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ile olan etkileşimini belirtmişlerdir. Ayrıca deney verilerinde feldspat oranının kayaç dayanımının azalmasında etkili olduğu tespit edilmiştir. Tane boyutunun test edilen kayaçlarda dayanımı etkileyen önemli bir parametre olduğu belirtilerek ufak tane boyutlu kayaçların dayanımlarının diğerlerine nazaran yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Diğer mineral yüzdelere göre potasyum feldspatla tek eksenli basınç dayanımı arasındaki yüksek korelasyon olduğu belirtilmiştir. Ayrıca toplam ve efektif porozitenin artarken kuru birim hacim ağırlık ve ultrasonik P-dalga hızının da azaldığı belirtilmiştir.

Meulenkamp ve Grima (1999) tarafından yapılan çalışmada, kaya örneklerinde TEBD'nin sertlik testlerinden elde edilmesi için bir sinir ağı uygulaması sunulmuştur. Bu yaklaşımın uygunluğunu araştırmak için ağı sonuçları geleneksel istatistiksel ilişkilerle elde edilen tahminlerle karşılaştırılmıştır. İstatistiksel olarak kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerine göre TEBD tahmini Eşitlik 26 ve Eşitlik 27'de verilmiştir.

Basit Regresyon sonucu,

$$TEBD = 1,75 * 10^{-9} L^{3,8} \quad R^2 = 0,806 \quad (26)$$

Çoklu regresyon sonucu,

$$TEBD = 0,25 L + 28,14 \rho - 0,75 n - 15,47 TB - 21,55 KT \quad R^2 = 0,903 \quad (27)$$

L: Ekuotip sertlik değeri

TB: Tane boyutu

KT: Kayaç türü

Arel ve Tuğrul (2001) tarafından yapılan çalışmada, granitik kayaçların fiziksel özelliklerinde doygun birim ağırlık (γ_s), kuru birim ağırlık (γ_d), etkili porozite (n_e) ve toplam porozite (n_t) ile TEBD arasındaki ilişkiyi Eşitlik 28, 29, 30 ve 31'de belirtmiştir. %95 güven aralığında TEBD ile fiziksel özellikleri arasında güçlü non-lineer bir korelasyon olduğu verilmiştir.

$$TEBD = 3,66 * 10^{-13} e^{1,28} \gamma_d \quad r=0,85 \quad (28)$$

$$TEBD = 1,97 * 10^{-8} e^{0,86} \gamma_s \quad r=0,84 \quad (29)$$

$$TEBD = 317 e^{-0,46} n_e \quad r=-0,95 \quad (30)$$

$$TEBD = 597 e^{-0,34} n_t \quad r=-0,94 \quad (31)$$

Ceryan vd. (2007 ve 2008)'de yapılan çalışmada, mikrokırık+boşluk oranı arttıkça kayaçtaki boyuna dalga hızının (V_p) azaldığı belirtilmektedir. Ayrıca granitik malzemenin çekme dayanımı, serbest basınç dayanımı ve elastisite modülü ve deformasyon modülünün örneğin katı kısmının boyuna dalga hızı ile doğru orantılı ve ayrışma indeksi ile ters orantılı değiştiğini belirtmiştir.

Mishra ve Basu (2013) tarafından yapılan çalışmada granit, şist ve kumtaşının tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) tahmininde farklı indeks testlerinin ve analiz tekniklerinin (yani, regresyon analizleri ve bulanık çıkarım sistemi) etkinliklerinin karşılaştırmalı bir değerlendirmesi yapılmıştır. İlgili kayaçlar için TEBD ve makaslama indeks deneyi (BPI), nokta yük kuvveti ($Is(50)$), Schmidt çekici sertliği (SHV), ultrasonik P-dalga hızı (V_p) ve fiziksel özellikler (etkin porozite ve yoğunluk) gibi endeksler belirlenmiştir. Sonuç olarak granit numuneleri için aşağıdaki ampirik formül sunulmuştur.

$$TEBD = EXP (0,0066 BPI + 0,030 Is(50) + 0,01 SRH + 0,00018 Vp + 2,807) \quad (32)$$

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Bu çalışma kapsamında, patlatma koşulları için kayacın özelliklerinin kolay anlaşılabilir olması ve mineralojisinin kolay tespit edilebilmesi nedeniyle Karadeniz bölgesinde bulunan faneritik dokuya sahip beş farklı granit örneği kullanılmıştır.

Magmatik kayalar içerisinde en çok bilinen granitik kayalardır. Faneritik dokuya sahip granitlerin bileşiminde %25-35 kuvars ve %50'nin üzerinde feldspat bulunmaktadır.

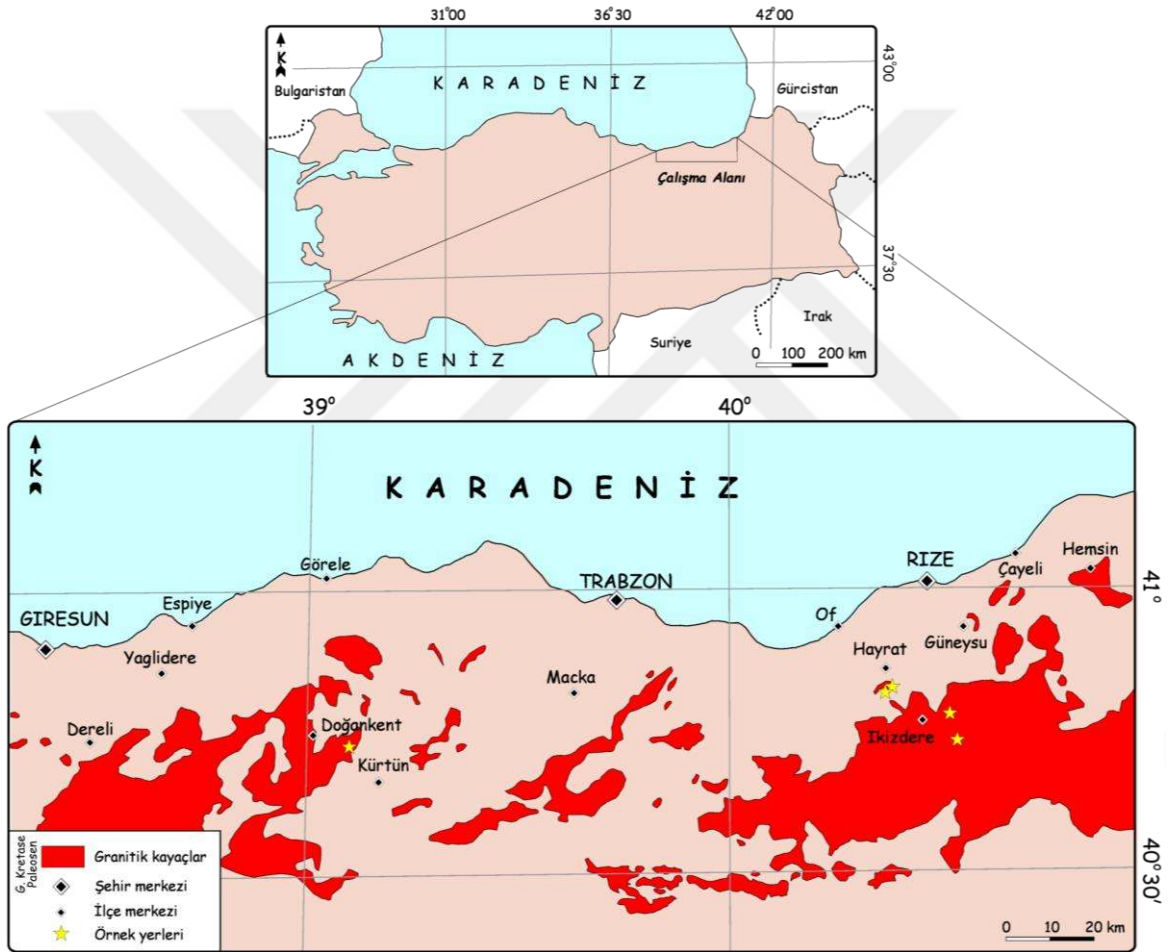
Kuvars kristalleri, çoğunlukla açık gri renkli ve camsı görünümündedirler. Feldspat kristalleri ise camsı olmayıp, genellikle düzgün kenarlı ve pembeden beyaza kadar değişen renk tonlarında izlenirler. Granitlerin diğer bileşenleri ise çoğunlukla biyotit ve amfibol ile bazen muskovit grubu minerallerden oluşur. Koyu renkli bileşenler, %20'nin altında olmasına rağmen bazen kayanın görünümünde ön plana çıkabilir ve kayaya koyu renkli bir görünüm kazandırabilirler. Bazı granitlerde ise potasyum feldspat egemen mineraldir ve kayaya koyu pembemsi ya da kırmızımsı bir renk kazandırabilir. Ancak genellikle feldspat taneleri beyaz renklidir ve kaya açık gri renk tonlarında gözlenir. Porfirik dokulu granitlerde orta tane boyuna sahip mineraller yanında, özellikle daha iri, bir ya da birkaç cm iriliğinde, feldspatlarda gözlenebilir (Şahin, 2012).

Granitlerin volkanik eş değerleri olan ve açık renkli bileşenlerden oluşan riyolitler, pembeden açık griye kadar farklılık gösteren renklerde gözlenirler. Afanitik dokunun yanı sıra hızlı soğuma nedeniyle camsı doku da izlenir. Genellikle potasyum feldspat ve kuvars fenokristalleri içerirler. Granitlerin aksine riyolitik kayalara doğada daha az rastlanır (Şahin, 2012).

Granitik kayalar, taş ocağı, tünel açma, madencilik, yamaç stabilitesi ve kaya malzemesini yapı malzemesi olarak kullanılan çeşitli mühendislik özelliklerini göstermektedir (Tuğrul ve Zarif, 1999). Granit, mukavemeti çok yüksek olan magmatik bir kayadır. Yüksek mukavemetinden dolayı, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanıldığı gibi madencilikte de derin madencilik işlemleri çoğunlukla granitik kayalar çevresinde yapılmaktadır (Heidari vd., 2013).

Bu tez çalışması kapsamında Doğu Karadeniz Bölgesinde beş farklı bölgeden alınmış olan granit numuneleri üzerinde kaya mekaniği deneyleri, mineralojik inceleme ve

istatistiksel çalışmalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan granit numuneleri Giresun'un Doğankent (Harşit) ilçesinden (1 adet), Trabzon'un Of ilçesinden (2 adet) ve Rize'nin İkizdere ilçesinden (2 adet) temin edilmiştir. Harşit Granitoyidi'nden alınan numuneler Doğankent-Kürtün yolu üzerindeki ocaktan alınmıştır. İkizdere'den alınan numunelerden bir tanesi İkizdere-Ovit Dağı istikametinde 6. km'den, ikinci örnek ise İkizdere-Ilıcaköy yolu 2. km'den alınmıştır. Of'tan getirilen granit numuneleri Hayrat bölgesinde bulunan granit ocağından alınmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Numunelerin alındığı bölgeleri ve jeolojisini gösteren harita

Farklı bölgelerden K.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarına getirilen granit numunelerinden ilk olarak karot alma makinası ile NX (~54,7 mm) çaplı silindirik karot numuneleri alınmıştır (Şekil 2.2a). Alınan karot numunelerinin alt-üst kısımları karot kesme-düzeltme cihazında kesilerek düzeltilmiştir (Şekil 2.2b). Kesme işleminden sonra deneysel çalışmalarda kullanılan standartlara uygunluğu açısından

numunelerin alt-üst yüzeyleri böhme aşındırma cihazında düzeltilerek numunelerin alt-üst yüzeylerinin pürüzlülüğü giderilmiş ve paralelliği sağlanmıştır (Şekil 2.2c). Hazırlanan numuneler kaya mekaniği testlerine tabi tutulmadan önce her test için ayrı ayrı sınıflandırılmış ve numuneler kodlama yöntemiyle isimlendirilmiştir (Şekil 2.2d).



Şekil 2.2. Numunelerden karotların alınması (a), kesilerek boyutlandırılması (b), alt-üst yüzeylerinin düzleştirilmesi (c) ve hazırlanmış numunelerin görünümü (d)

Hazırlanan numuneler, kayaların mekanik, fiziksel ve deformasyon özelliklerini yansıtabilecek şekilde kaya mekaniği deneylerine tabi tutulmuş ve bu deneysel çalışmalar “Yöntem” bölümünde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.2.Yöntem

2.2.1. Kaya Mekanik Deneyleri

Granit kayacına ait hazırlanan karot numuneleri üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyi (TEBD), elastisite modülü (young modülü; E) ve poisson oranının (ν) tayini, üç eksenli basınç dayanımı deneyi (ÜEBD; c , ϕ), dolaylı çekme deneyi (DÇD; σ_t), yoğunluk (ρ), birim hacim ağırlık (BHA), görünür porozite (n), boşluk oranı tayini (BOT) (suya doyurma yöntemi ile) deneyleri ISRM (2007)'ye ve ultrasonik P-dalga hızı deneyi (V_p) ASTM-D2845'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir Gerçekleştirilen kaya mekaniği deneyleri ilerleyen bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

2.2.1.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi (TEBD), kaya malzemelerinin üzerine uygulanan belirli bir basınç altında kırılmadan önce ne kadar yüke dayandığını belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

TEBD testi için 5 farklı granit kayacının her birinden boy/çap (L/D) oranı 2,5-3,0 arasında ve NX karot çapına sahip olacak şekilde 5'er tane (toplam 25 tane) silindirik numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, yükleme hızı 0,75 MPa/s olan 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü pres vasıtasıyla teste tabi tutulmuştur (Şekil 2.3). Her granit kayacı için 5 adet TEBD sonucu için numunelerin kırılma yükleri (P) bilgisayar tarafından kayıt edilmiştir. Deneyi yapılan numunelerin TEBD değerleri Eşitlik 33 ve 34'de verilen formüller kullanılarak hesaplanmış ve ortalamaları alınarak nihai TEBD değerleri bulunmuştur.

Numune alanı;

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (33)$$

Tek eksenli basınç dayanımı;

$$TEBD = \frac{P}{A} \quad (34)$$

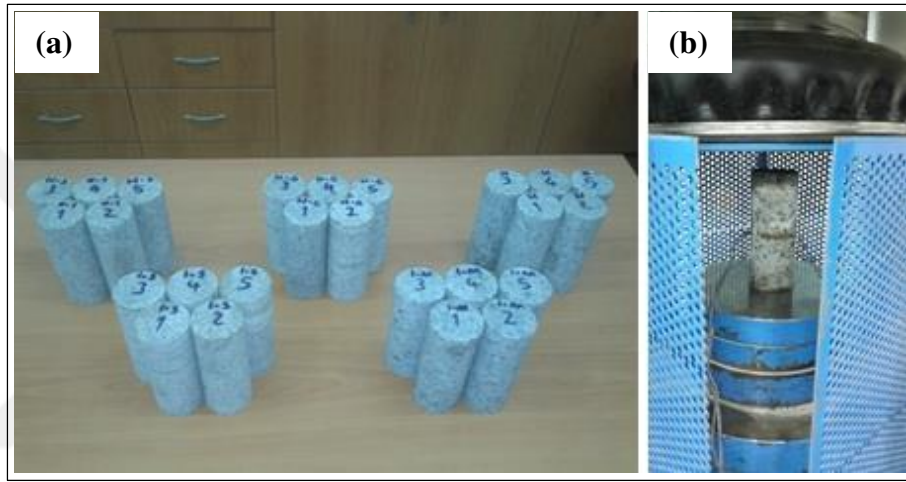
formülleri ile hesaplanmaktadır. Burada;

D : Numune çapı (mm)

TEBD : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

P : Kırılma yükü (kN)

A : Numunenin yüke maruz kalan kesit alanı (mm²)



Şekil 2.3. TEBD testi için hazırlanmış numuneler (a) ve numunenin bilgisayar kontrollü preste görünümü (b)

2.2.1.2. Elastisite Modülü (Young Modülü) ve Poisson Oranının Tayini

Bu deney, silindirik şekilli sağlam karot örneklerinin tek eksenli yükleme koşulunda “gerilim-birim deformasyon” grafiğinin çizilmesi ve Elastisite modülü ile Poisson oranının hesaplanması için yapılır (Ulusay vd., 2011). Deney için tek eksenli basınç dayanımı numunelerine, çapsal ve eksenel olarak birim deformasyon ölçerler (strain gauges) yapıştırılmıştır. Elastisite modülü (young modülü) ve poisson oranının tayininde TML marka deformasyon ölçerler (strain gauges) kullanılmıştır (Şekil 2.4 ve Tablo 2.1). Strain gage, deformasyon ölçer olup boy değişimine bağlı olarak elektriksel direncin değişmesi ilkesinden yararlanmak üzere deney örnekleri üzerine yapıştırılan küçük boyutlardaki özel dirençlere verilen addır (Köse ve Kahraman, 2014). Birim deformasyon ölçerlerin

yapıştırılmasında siyanoakrilat tipi yapıştırıcı kullanılmıştır. Çünkü bu tip yapıştırıcı ölçümlerde farklılığı minimum olan en iyi yapıştırıcıdır (Kömürlü vd., 2016).

Tablo 2.1. TML birim deformasyon ölçer özellikleri

Tip	PFL-30-11-3LT
Uzunluk	30 mm
Ölçer faktörü	$2,11 \pm 1 \%$
Ölçer direnci	$120 \pm 0,5 \Omega$
Enine duyarlılık	- 0,6 %
Sıcaklık kompenzasyonu	$11 \times 10^{-6}/C^{\circ}$
Giriş-Çıkış kablosu	10/0,12 3W 3m



Şekil 2.4. TML deformasyon ölçer (a) ve deformasyon ölçer yapıştırılmış numunenin görünümü (b)

Elastisite modülü (E) ve Poisson oranının (ν) belirlenmesinde kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$E = \left\{ \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \right\} \quad (35)$$

$$\nu = \frac{\varepsilon_y}{-\varepsilon_x} \quad (36)$$

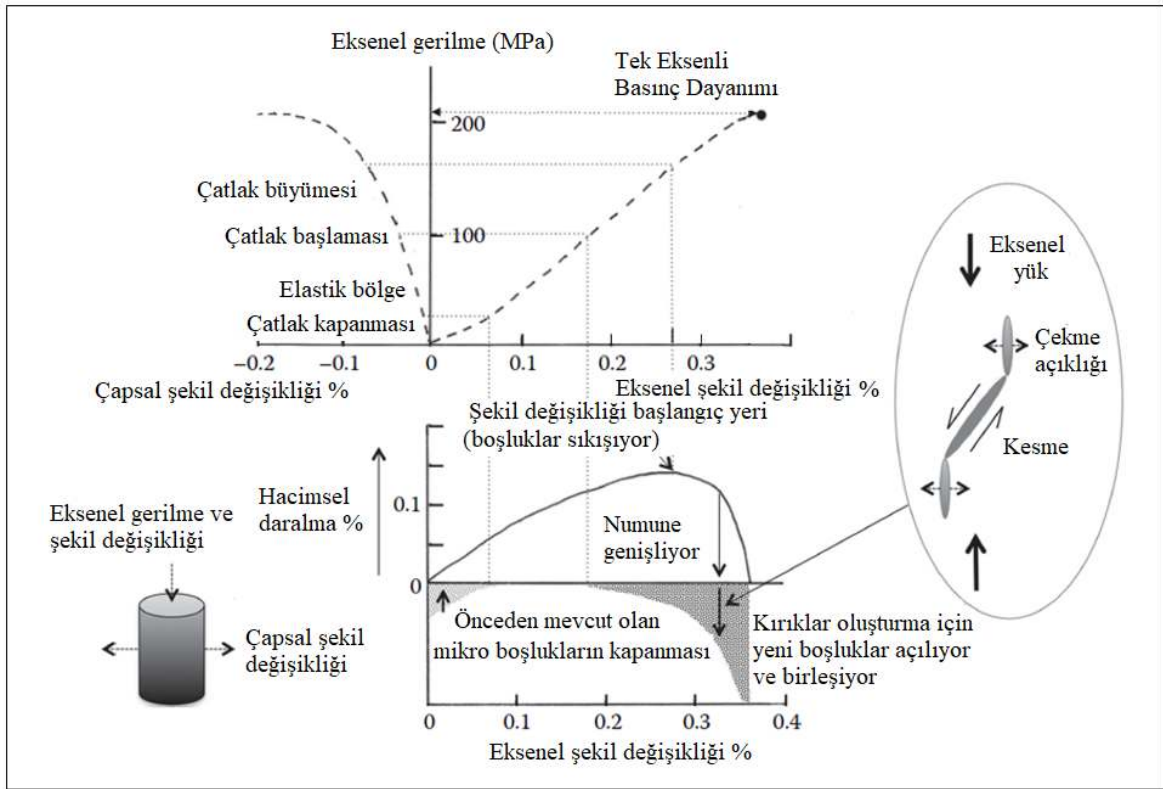
Burada;

E : Elastisite modülü (GPa),

$\Delta\sigma$: Gerilme farkı (MPa),

- $\Delta \epsilon$: Deformasyon farkı (10^{-6} mm)
- ν : Poisson Oranı
- ϵ_y : Çapsal birim deformasyon ($\epsilon_{y2} - \epsilon_{y1}$)
- ϵ_x : Eksenel birim deformasyon ($\epsilon_{x2} - \epsilon_{x1}$)

Yapılan deneysel çalışma sonucunda, kaya malzemelerinin gerilme - birim deformasyon ilişkisini gösteren eğri genellikle Şekil 2.5'teki gibi olmaktadır.



Şekil 2.5. Kaya malzemelerinin eksenel ve çapsal gerilme-birim deformasyon ilişkisi (Hencher, 2015).

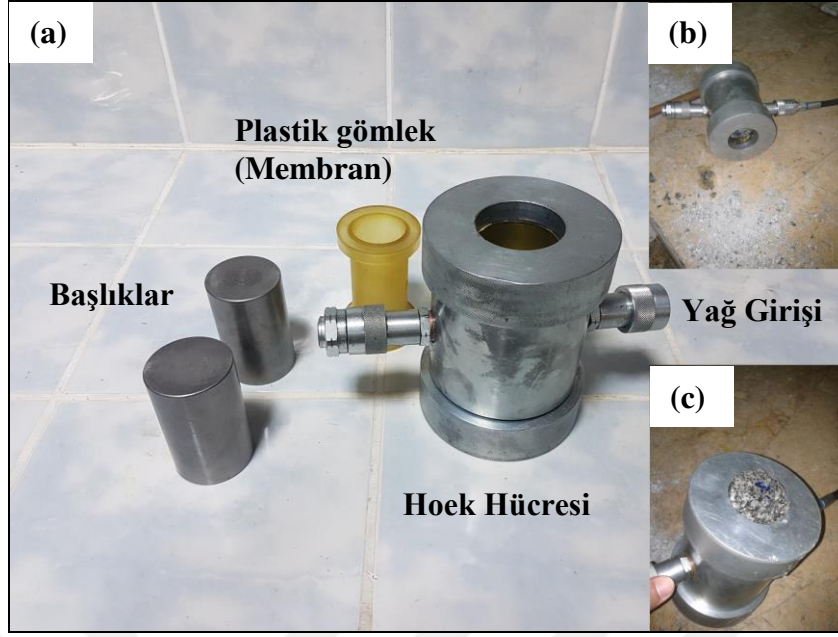
2.2.1.3. Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Bu deney, üç eksenli sıkışmaya maruz kalan silindirik kaya örneklerinin makaslama dayanımı parametrelerinin saptanması amacıyla yapılmaktadır. Deney verileri kullanılarak kayacın yenilme zarfı çizilir ve bu zarftan kayaç malzemesinin içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) parametreleri belirlenmektedir (Ulusay vd., 2011).

Üç eksenli basınç dayanımı (ÜEBD) deneyi için öncelikle Hoek hücresine membran yerleştirilmiş, ardından numune ve küresel başlıklar deney hücresine konulmuştur. Yanal basınçın numuneye her yönden eşit gelebilmesi için membranın tamamen yağ ile dolması gereklidir. Bunun için hava çıkış vidası kullanılarak membran içindeki hava çıkartılmıştır. Bu deneyde boy/çap oranı 2 olan NX çaplı karotlar kullanılmıştır. ÜEBD testi 3 farklı yanıl basınç (3, 6 ve 9 MPa) (Şekil 2.6a, b ve c) altında, her bir kayaç için 9 örnek olacak şekilde yanıl basınç ünitesine sahip 300 ton kapasiteli bilgisayar kontrollü pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.6d). Ayrıca ÜEBD deney hücresinin (Hoek Hücresi) görünümü ve deney sonrasında numunenin çıkarılışı Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.6. ÜEBD deneyinde yanıl basınçlar 3 MPa (a), 6 MPa (b), 9 MPa (c) ve ÜEBD test ünitesi (d)



Şekil 2.7. Üç eksenli deney hücresinin (Hoek Hücresi) görünümü (a), Hoek Hücresi bağlantı şekli (b), kırılmış numune çıkarılırken (c).

Her bir granit kayacından hazırlanan karot numunelerinin ÜEBD testleri yapıldıktan sonra Hencher (2015)'den uyarlanan Şekil 2.8'de temsili olarak verilen biçimde en büyük aksinel basınç (σ_1) ve en küçük yanal basınç (σ_3) kullanılarak, farklı granit çeşitlerine ait yenilme koşulunu tanımlayan Mohr-Coulomb yenilme zarfı grafikleri çizilmiştir. Mohr-Coulomb yenilme zarfı grafiklerinden yararlanılarak normal gerilme (σ_n), makaslama dayanımı (τ), kohezyon (c), ve içsel sürtünme açısı (ϕ) gibi parametreler belirlenmiştir.

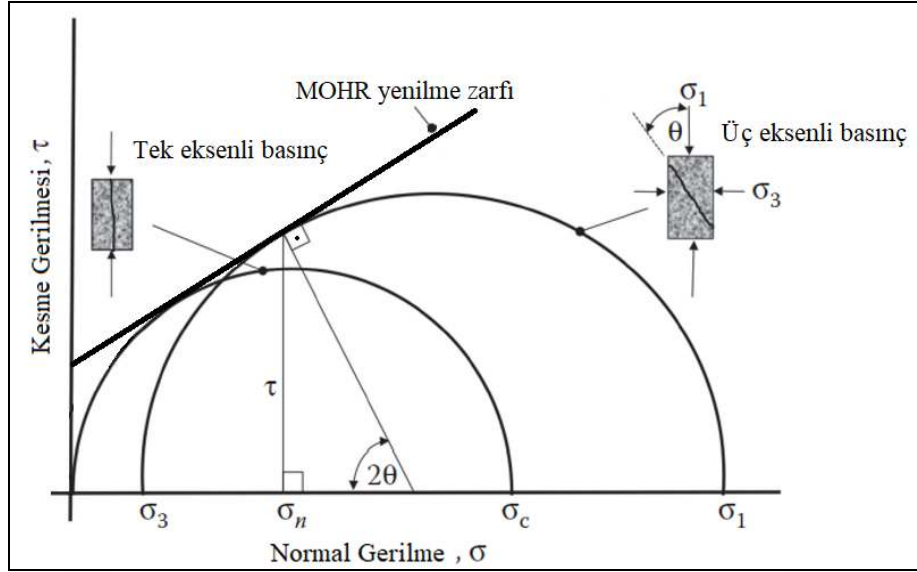
Kayanın kesme dayanımı ve dayanım parametreleri ile içsel sürtünme açısı (ϕ) arasındaki ilişki Coulomb tarafından aşağıdaki ifade ile tanımlanır (Eş. 37).

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (37)$$

Burada;

τ , makaslama dayanımı ve

σ_n , yenilme yüzeyine etkileyen normal gerilme şeklinde ifade edilmektedir.



Şekil 2.8. Mohr- Coulomb yenilme zarfının temsili görünümü (Hencher, 2015).

ÜEBD deneylerinde en büyük dikey basınç (σ_1) ve en küçük yanal basınç (σ_3) dayanımları kullanılarak, her bir deney için yenilme koşulunu tanımlayan Mohr zarfları çizilmektedir. Dairenin ortak teğetinin τ eksenini kestiği nokta kohezyonu (c), teğetin eğimi ise içsel sürtünme açısını (ϕ) verir. Kaya malzemelerinin dayanımı, yanal basınç seviyelerinden oldukça yüksek olduğu durumlarda Mohr daireleri iç içe girebildiği için ve bu daireler için ortak bir teğet çizilmesi güçleşir. Bu durumda makaslama dayanım parametreleri Eşitlik 38 ve 39 vasıtasıyla çizilen grafikten belirlenir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

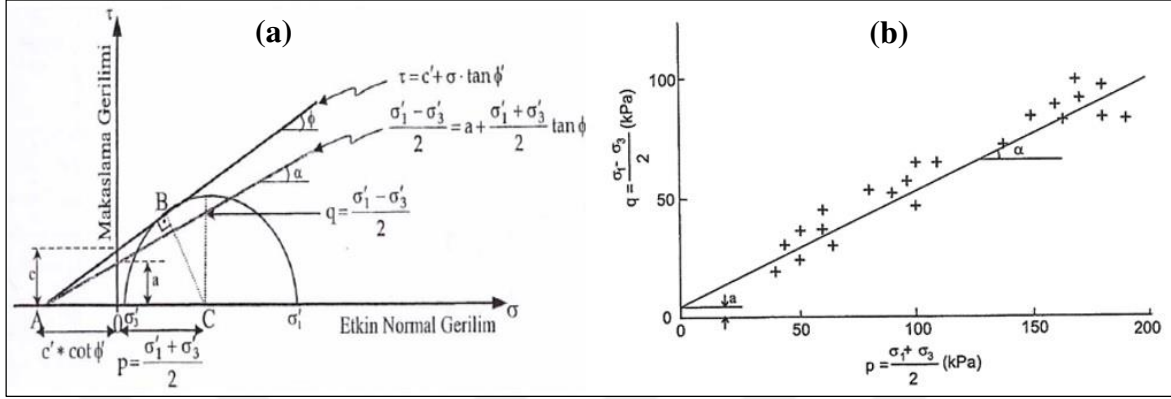
$$p = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} \quad (38)$$

$$q = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \quad (39)$$

Şekil 2.9a'da D noktasından geçen doğru ile Mohr zarfı arasındaki analitik ilişki görülmektedir. p ve q veri çiftleri doğrusal regresyon analizi ile değerlendirilir ve elde edilen doğrunun eğimi " α " ile bu doğrunun q eksenini kestiği " a " değeri esas alınarak, kaya malzemesinin parametreleri aşağıdaki eşitlikleri ile hesaplanır (Eş. 40 ve 41) (Şekil 2.9b) (Ulusay ve Sönmez, 2007).

$$c = \frac{a}{\cos \phi} \quad (40)$$

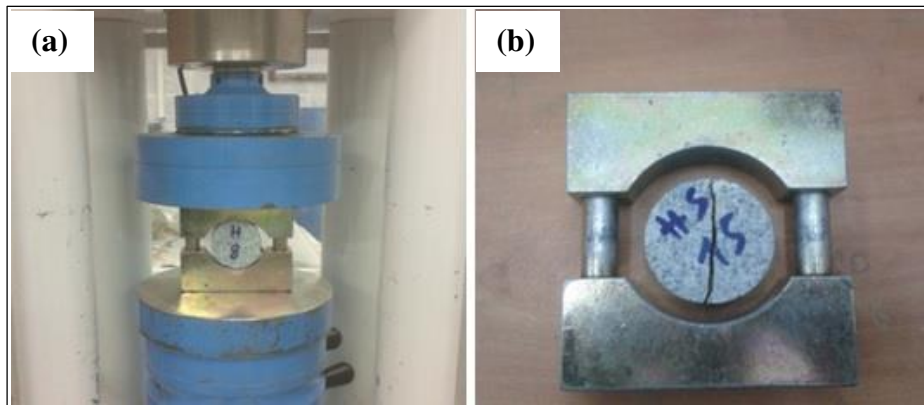
$$\phi = \sin^{-1}(\tan \alpha) \quad (41)$$



Şekil 2.9. p-q yönteminin esası (a) ve Fell ve Jeffery (1987) tarafından çok sayıda üç ekseli deney sonuçlarından genelleştirilmiş yenilme zarfının belirlenmesini gösteren tipik p-q grafiği (b) (Ulusay ve Sönmez, 2007; Ulusay vd., 2011).

2.2.1.4. Dolaylı Çekme Deneyi

Bu deney, disk biçiminde hazırlanmış kaya numunelerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tespiti amacıyla yapılmaktadır. Bu yöntem örneklerin hazırlanması ve pratik bir deney olması sebebiyle doğrudan yöntemle göre daha yaygın kullanılmaktadır (Ulusay vd., 2011). Bu deney her bir kayaç için boy/çap oranı 0,5 olan 10 adet numune hazırlanmış olup deney cihazı olarak test aparatı ile 30 ton kapasiteli pres kullanılmıştır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. 30 tonluk preste dolaylı çekme deneyi (a) ve kırılmış numune (b)

Çalışmada; Mellor and Hawkes (1971) tarafından önerilen dolaylı çekme analiz metodu uygulanmıştır (Eş. 42).

$$DÇD = \frac{0,636 \cdot F}{D \cdot L} \quad (42)$$

DÇD : Numunenin dolaylı çekme dayanımı (MPa)

F : Yenilme anındaki yük; (kN)

D : Numunenin çapı; (cm)

L : Numunenin kalınlığı; (cm)

2.2.1.5. Ultrasonik P-Dalga Hızı Deneyi (Vp)

5 farklı granit kayacından hazırlanan 5'er adet (toplam 25 adet) silindirik karot numunesinin ultrasonik P-dalga hızı (Vp) testleri, ASTM-D2845 standartlarına uygun olarak 0,1 µs hassaslıkta sinyal süresine ve 54 kHz sinyal frekansına sahip Pundit-Plus model test cihazı ile yapılmıştır (Şekil 2.11). Vp testinden önce karot numunelerin alt ve üst yüzeyleri böhme aşındırma cihazı ile düzeltilmiş ve pürüz kalmaması sağlanmıştır. Numunelerin boyu (uzunluk) 0,1 mm hassaslığa sahip kumpas ile ölçülerek kaydedilmiştir. Cihaz problemlerinin karotla temas edeceği yüzeye iletimin daha iyi olması için ince bir tabaka halinde ultrason jeli sürülmüştür. Test yöntemi olarak sürekli modda doğrudan iletim tekniği seçilmiştir. Vp testi sırasında numunelere temas eden gönderici ve alıcı problara herhangi bir baskı yapılmamıştır. Elde edilen geçiş süresi test sonucu olarak kaydedilmiş ve Eşitlik 43 yardımıyla Vp değeri hesaplanmıştır.



Şekil 2.11. Ultrasonik P- dalga hızı (Vp) testi

$$V_p = \frac{L}{t} \quad (43)$$

V_p : P dalga hızı (km/s)
 L : Numune boyu (km)
 t : Dalga geçiş süresi (s)

2.2.1.6. Kalite İndeksi (IQ)

Fourmaintraux (1975) yapmış olduğu çalışmada boyuna ultrasonik P dalga hızı ile kayacı oluşturan minerallerin hızları arasında bir ilişki bulmuştur (Goodman, 1989). Geliştirdiği hesap yöntemi sonucu ortaya çıkan katsayıya Kalite İndeksi (IQ) adını vermiştir (Eş. 44 ve Tablo 2.2). Bu indeksi görünür porozite ile birlikte kayaç içerisindeki mikro fisür miktarını bulmak için kullanmıştır.

$$IQ (\%) = \frac{V_o}{V_h} * 100 \quad (44)$$

IQ : Kalite indeksi
 V_o : Ölçülen P dalga hızı (m/s)
 V_h : Hesaplanan P dalga hızı (m/s)

$$\frac{1}{V_h} = \sum_i \frac{C_i}{V_{h,i}} \quad (45)$$

C_i : “i” Mineralinin yüzde dağılım oranı (%)
 $V_{h,i}$: “i” Mineralinin P dalga hızı (m/s)

Tablo 2.2. Minerallerin P dalga Hızları (Fourmaintraux 1976, Ersoy ve Acar 2016).

Mineral Adı “i”	$V_{h,i}$ (km/s)
Kuvars	6,050
Alkali Feldispat	5,800
Plajiyoklaz	6,250
Mafik Mineral	6,500

2.2.1.7. Fiziksel Özelliklerin Tayini

Her bir kayaç için hazırlanmış düzgün geometriye sahip 5 karot örneğinden çap ve boy değerleri kumpas yardımıyla ölçülerek hacimler hesaplanmıştır. Daha sonra örnekler hassas terazide tartılmıştır. Bir sonraki aşama için örnekler 105 °C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 24 saat bekletilmiş ve ardından desikatörde 30 dakika soğumaları beklenilerek kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Örnekler daha sonra su içerisinde 48 saat bekletilmiş olup yüzeylerindeki su kâğıt havlu ile kurulanıp suya doygun ağırlıkları bulunmuştur. Fiziksel özellik tayini için kullanılan numunelere mekanik test uygulanmamıştır.

2.2.2. Mineralojik İncelemeler

Granit örnekleri üzerinde mineralojik tanımlamaların yapılabilmesi için üç ayrı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda amaç, kayaç örneklerindeki minerallerin ve bunların miktarlarının belirlenmesidir. Bir başka deyişle petrografik olarak incelenme sonucunda; granitlerin yapıları, dokuları ve içerikleri ortaya konularak kayaçların tanımlaması yapılmıştır.

Kayaç örneklerinin mineralojik bileşimleri, bileşenlerin kayaç içerisindeki yüzde miktarları, dokusal ve alterasyon özellikleri tespit edilerek, uygun bir şekilde sınıflandırılıp adlandırılır. Sadece faneritik yapıdaki magmatik kayaçlarda veya iri taneli kumtaşlarında uygulanabilir (URL-1, 2017).

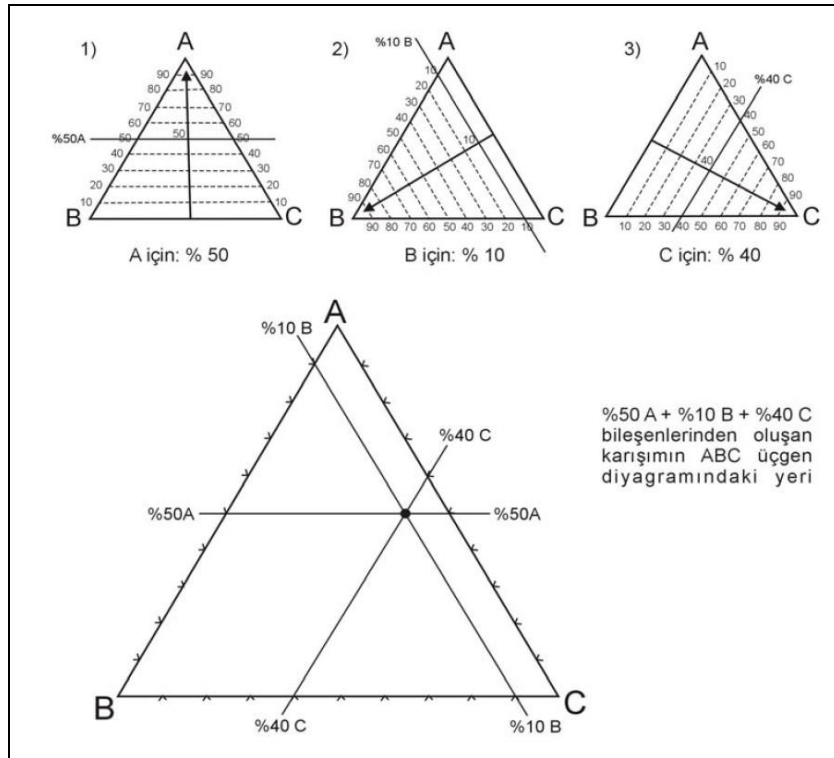
Doğu Karadeniz bölgesinden alınan 5 farklı granit üzerinde petrografik özellikleri belirlemek ve inceleme yapmak için Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları'nda, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları'nda ve MTA'nın Ankara Laboratuvarlarında petrografik tanımlamalar ve mineral dağılımlarının tespiti yapılmıştır. Sonuç olarak; minerallerin yüzde dağılımları ve boyutları tespit edilmiştir (Ek Tablo 1).

Magmatik kayaçları öncelikle oluşum ortamına göre sınıflamak gerekir. Daha sonra hesaplanacak olan mineralojik içeriği yardımıyla, oluştuğu ortama göre diyagramlar kullanılarak isimlendirme yapılır. Göstermiş oldukları dokusal özellikleri ile magmatik kayaçların yerleştikleri derinlikler belirlenir (Tablo 2.3) (Helvacı ve Ersoy, 2009).

Tablo 2.3. Magmatik kayaların doku türlerine göre oluşum ortamları (Helvacı ve Ersoy, 2009).

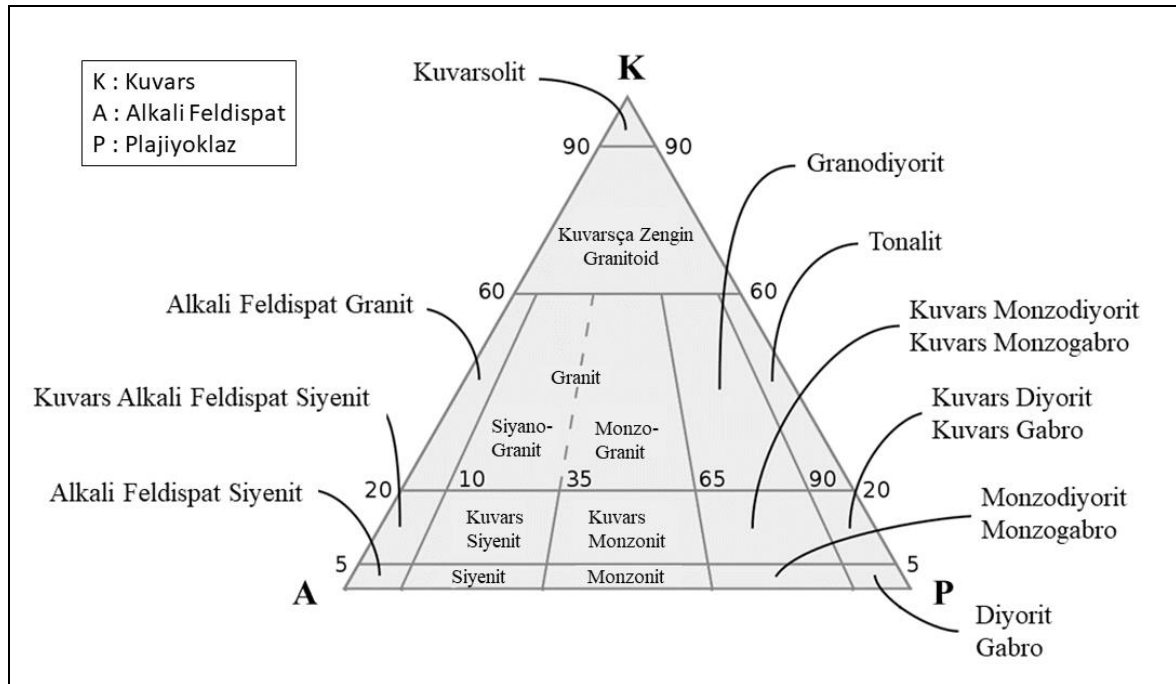
Doku Türü	Yerleşim Derinliği	Kayaç Örneği
Holokristalen	Derinlik	Granit, Dünit
Holokristalen	Yüzey	Andezit, Riylolit
Ofitik Doku	Damar Kayacı	Diyabaz
Poligonal Doku	Damar Kayacı	Aplit

Magmatik kayalarda mineralojik sınıflama, üçgen diyagramın köşelerinde belirli mineraller gösterilerek yapılır (Helvacı ve Ersoy, 2009). İçeriği belli olan bir karışımı üçgen diyagramda, her bileşenin karışımındaki yüzdesi her köşenin karşısındaki kenardan (A noktası için BC kenarı) köşeye doğru artacak şekilde o kenara çizilen paralellerin kesişim noktası simgeler. Üçgenin ağırlık noktasında her mineral aynı yüzde ile karışmış demektir. Şekil 2.12’de %50 A, %10 B ve %40 C bileşenlerinden oluşan bir karışım örneği gösterilmiştir. En önemli hususlardan birisi de üçgen diyagramlarda hesaplanan oranların toplamının 100 olmasıdır. Tersisi durumda her mineralin kenarlara doğru çizilen paralelleri bir noktada kesişmeyecek ve üçgen içerisinde bir nokta değil bir üçgen oluşacaktır (Helvacı ve Ersoy, 2009).



Şekil 2.12. Üçgen diyagramın kullanılması (Helvacı ve Ersoy, 2009).

Magmatik kayalar üçgen diyagramlarda sınıflarken üçgenin köşelerine yerleştirilecek mineraller kayacın içeriğine göre seçilir. Çeşitli bileşimlerdeki derinlik ve yüzey kayaları için K-A-P (Kuars, Alkali Feldispat, Plajiyoklaz) üçgen diyagramı kullanılır (Şekil 2.13) (Streckeisen, 1974).



Şekil 2.13. Magmatik kayalar için K-A-P üçgen diyagramı (Streckeisen, 1974).

2.2.3. İstatistiksel Çalışmalar

Günümüzde istatistiksel değerlendirme için birçok paket program kullanılmaktadır. Bunlardan en fazla kullanılanları, SPSS, SAS, MINITAB, SYSTAT ve EXCEL gibi programlardır. Bu çalışmada sonuçların istatistiksel değerlendirmesi için SPSS 17.0 paket programı kullanılmıştır.

İstatistiksel testler, "parametrik sına ma testleri" ve "parametrik olmayan sına ma testleri" olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Verilerin, bu testlerden hangisine uygun olduğunu belirlemek için normallik testi yapılmaktadır. Eğer ortalamaların karşılaştırılmasında veriler normal dağılıma sahip ise parametrik sına ma testleri, veriler normal dağılıma sahip değil ise parametrik olmayan sına ma testleri uygulanır (Tekin, 2006).

İstatistikte değişkenler; bağımlı, bağımsız, sürekli, nominal, ve ordinal değişkenler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada elde edilen veriler, ölçümle belirlenen ve belli

bir aralıkta ya da sonsuz bir şekilde ihtimal dâhilindeki tüm sayılardan oluşabilecek sayı temelli değişkenler olduğundan istatistikte sürekli değişkenler sınıfına girmektedir. İstatistiksel yöntemler tüm değişkenler için uygulanmayıp sadece gerekli görülenlere uygulanmıştır. Elde edilen verilerin doğruluk ve/veya ilişki analizleri; korelasyon; basit ve çoklu doğrusal regresyon analizlerini içermektedir. Korelasyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığı, ilişki varsa yönü ve gücünü inceleyen analizdir. Regresyon analizi; değişkenlerden birisi belirli bir miktar değiştiğinde diğer değişkenin ne kadarlık değişim gösterdiğini inceleyen analizdir (Draper ve Smith 1981; Acar, 2015).

Korelasyon, iki sayısal ölçüm arasındaki ilişkinin yönünü ve derecesini belirlemek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Bu yöntemde değişkenlerin bağımlı ya da bağımsız değişken olması önem taşımaz. Ancak korelasyon analizi yapabilmek için, her iki değişkenin de sürekli olmaları ve normal dağılım göstermeleri gerekmektedir (Kalaycı, 2006; Kılıç, 2007). Pearson korelasyon katsayısı, kısmi korelasyon katsayısı, phi, Spearman sıra korelasyonu, Kendall's Tau, olaganlık katsayısı ve eta kullanılan korelasyon analizi yöntemleridir (Kılıç, 2007). Pearson korelasyon katsayısı değerlerin normal dağılımı durumunda x ve y değişkenleri arasındaki doğrusal bağımlılığın bir ifadesidir. Bütün değerleri için aynı yönde değişmek koşuluyla doğrusal olmayan bağımlılıkların ölçüsü olan Spearman sıra korelasyonu, verilerin normal dağılmadığı durumda kullanılır (Bayazıt ve Yeğen Oğuz, 2005). Bir korelasyon katsayısının yorumlanabilmesi için; “p” değerinin 0,05’ den daha küçük olması gerekir. Korelasyon katsayısı “-1” ile “+1” arasındadır. Korelasyon katsayısı negatif ise iki değişken arasında ters ilişki vardır, yani “değişkenlerden biri artarken diğeri azalmaktadır”. Korelasyon katsayısı pozitif ise değişken arasında pozitif bir ilişki vardır, yani “değişkenlerden biri artarken diğeri de artmaktadır”. Pearson Korelasyon katsayısına (r) göre, $r < 0,25$ ise çok zayıf ilişki ya da korelasyon yok, 0,26 - 0,49 arasında ise zayıf korelasyon, 0,50 - 0,69 arasında ise orta şiddette korelasyon, 0,70 - 0,89 arasında ise yüksek korelasyon, $> 0,90$ ise çok yüksek korelasyon olduğu değerlendirilir (Kalaycı, 2006).

Regresyon analizi, bir bağımlı değişkenin bir ya da daha fazla bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini matematiksel olarak ifade eden denklemi vermektedir. Böylelikle, değişkenlerden birinden faydalanarak öteki değişkenin alabileceği değer hesaplanabilmektedir. Regresyon analizinin amacı araştırmadaki değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek, böyle bir etkileşim varsa bu ilişkiyi anlatan regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak yapılacak tahminlerin

güven aralıklarını hesaplamaktır (Bayazıt ve Yeğen Oğuz, 2005). Model de yer alan serbest değişken sayısı bir olduğunda basit doğrusal regresyon modelinden, iki veya daha fazla olduğunda ise çoklu doğrusal regresyon modelinden söz edilir (Serper, 2010). Ayrıca birden fazla ve korelasyon halindeki bağımlı değişkenlerin bağımsız değişkenler tarafından yorumlanmaya çalışılan regresyon analizi ise çoklu (multivariate) doğrusal regresyon analizi olarak bilinmektedir (Doğan ve Yılmaz, 2017).

Kaya mühendisliğinde çoklu regresyon analizi, araştırmacılar tarafından ilgili kaya özellikleri arasında bir tahmin modeli oluşturmak için kullanılmıştır. Kaya mekaniği özellikleri arasında basit regresyon analizlerine göre çoklu regresyon analizi, daha iyi tahmin performans sergilemiştir.

Regresyon, bağımlı ve bağımsız değişken (ler) arasındaki ilişkiyi ve doğrusal eğri kavramını kullanarak, bir tahmin eşitliği geliştirir (Acar 2015). Regresyon analizinde bu tezde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi temsil eden matematiksel denklem kullanılmıştır. Regresyon analizi sonuçlarının yorumlanması bazı katsayılar ile ifade edilmektedir. Belirlilik katsayısı (R^2) değeri; bağımlı değişkendeki bir değişimin bağımsız modele eklenen bağımsız değişkenlerle hangi oranda ifade edildiğini belirtir (Kılıç, 2007). Ayrıca regresyon analizi sonucunda elde edilen matematiksel modellerin anlamlılığını gösteren “F istatistiği” ve anlamlılık düzeyini gösteren “Sig. Değeri” regresyon modellerinin yorumlanmasında önemlidir. Bu sig. (p) değeri $< 0,05$ olduğunda bu modelin anlamlı bir model olduğuna ulaşılır. Yani F değeri anlamlı bulunduysa üzerinde çalışılan modelin tümüyle istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucu çıkmaktadır. Eğer bu değer (Sig.) $0,05$ ’in üzerinde olsaydı ilişkinin anlamsız (rastlantısal) olduğu yorumu yapılacaktır (Dursun, 2012).

Aralıklı ve ölçümlü gibi sayısal verilerin analizinin yapılabilmesi yani parametrik veriler için ön şart verilerin normal dağılım göstermesidir. SPSS 17’ye veriler girilerek normallik testleri yapılmıştır. “Analyze > Descriptive Statistics > Explore” menüsünde “Statistics” bölümünden testin güvenilirliği belirlenir. “Plots” bölümden ise normallik testi seçilir. Sonuçlarda iki farklı test verilmiştir. Bunlardan biri “Kolmogorov-Smirnov”, diğeri ise “Shapiro-Wilk” testidir. Bu iki test içerisinde Shapiro-Wilk en güçlü test olmakla beraber veri sayısı az olduğunda doğrudan tercih edilmektedir. Ayrıca veri sayısının 10’dan az olduğu durumda yani mineral yüzde dağılımları, içsel sürtünme ve kohezyon verileri için One-sample Kolmogorov Smirnov testi ile normal dağılım analizleri yapılmıştır. Z değeri

ve buna bağılı anlamlılık düzeyi (asyp. Sig.) $p>0,05$ olduğundan veriler normal dağılım göstermektedir.

Verilerin normal dağılım gösterdiğinin tespitinden sonra değişkenler arasında ilişkinin derecesi Korelasyon analizi ve bu ilişkinin fonksiyonel şeklinin tespiti için regresyon analizleri yapılmıştır. Kayaç özelliklerinin birbirleriyle olan ilişkisi Pearson korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir ve aralarındaki doğrusal ilişkinin derecesi regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Verilerin korelasyon matrisi Ek Tablo 2’de verilmiştir.

Aralarında korelasyon olan parametreler belirlendikten sonra bu parametreler arasındaki ilişkiyi matematiksel ifade etmek için SPSS programında çoklu regresyon analizi uygulanmıştır. Analiz önce ENTER metodu ile yapılmış aralarında korelasyon olan bağımsız değişkenlerin etkileri görülmüş bu nedenle ikinci defa yapılan çoklu regresyon analizinde STEPWISE metodu kullanılmıştır. Analiz sonucu oluşan matematiksel modelin anlamlı olup olmadığı ANOVA analizi çıktısında F ve Sig. Değeri ile belirlenmektedir. Sig. $< 0,05$ olduğunda model anlamlı çıkmaktadır.

Stepwise metodunda amaç çoklu doğrusal bağlantı problemine çözüm üretmektir. Çoklu doğrusal bağlantı problemi; bağımlı değişkeni açıklama oranını arttırmak için eklediğimiz bağımsız değişkenlerin kendi aralarında bulunan korelasyon nedeniyle ortaya konulan matematiksel ifadenin anlamsızlaşmasıdır. Bu yüzden Stepwise seçildiğinde birbirleriyle ilişkisi olanları elimine ederek anlamlı en güçlü modeli belirlemektedir.

Ayrıca bu çalışma kapsamında, korelasyon katsayısına ek olarak, tahmini ve ölçülen verilerle modellerin öngörülen performanslarını kontrol etmek amacıyla regresyon sonucu çıkan modellerin hesaplanan tahmin ve ölçülen değerleri arasında Ortalama Karekök Hata (Root Mean Square Error - RMSE) ve Ortalama ve Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error - MAPE) analizleri hesaplanmış olup ve her iki modelin tahmin performansları karşılaştırılmıştır. Tahmin değerlerinin ölçülen değerlere ne derecede yakın olduğunu belirlemek amacıyla % tahmin hatası (Eş. 46) yapılmıştır. MAPE (Eş. 47) ve RMSE (Eş. 48) değeri her zaman pozitif değer almakla birlikte ideal değeri sıfıra yakın olmalıdır (Tablo 2.4) (Karaman, 2015).

$$Tahmin\ Hatası\ (\%) = \frac{y - y'}{y} 100 \quad (46)$$

$$MAPE\ (\%) = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{y - y'}{y} \right] 100 \quad (47)$$

$$RMSE (\%) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y - y')^2} \quad (48)$$

Burada; y , ölçülen değer ve
 y' , tahmin edilen değerler olup,
 N ise veri sayısıdır.

Tablo 2.4. MAPE değerlerinin sınıflandırılması (Lewis, 1982, Karaman, 2015).

MAPE (%)	Değerlendirme
$MAPE \leq \%10$	Çok iyi tahmin
$\% 10 < MAPE < \% 20$	İyi tahmin
$\% 20 < MAPE < \% 50$	Kabul edilebilir tahmin
$MAPE > \% 50$	Yanlış tahmin

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mineralojik İncelemeler ve Kayaçların Sınıflandırılması

MTA’da yaptırılan mineralojik incelemeler neticesinde; Harşit (H), Hayrat Gri (HG), Hayrat Sarı (HS), İkizdere Sarı (İS) ve İkizdere Mavi (İM) numunelerinin mineralojik bileşimi aşağıdaki tabloda (Tablo 3.1) belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Kayaçların yüzde mineralojik bileşimi

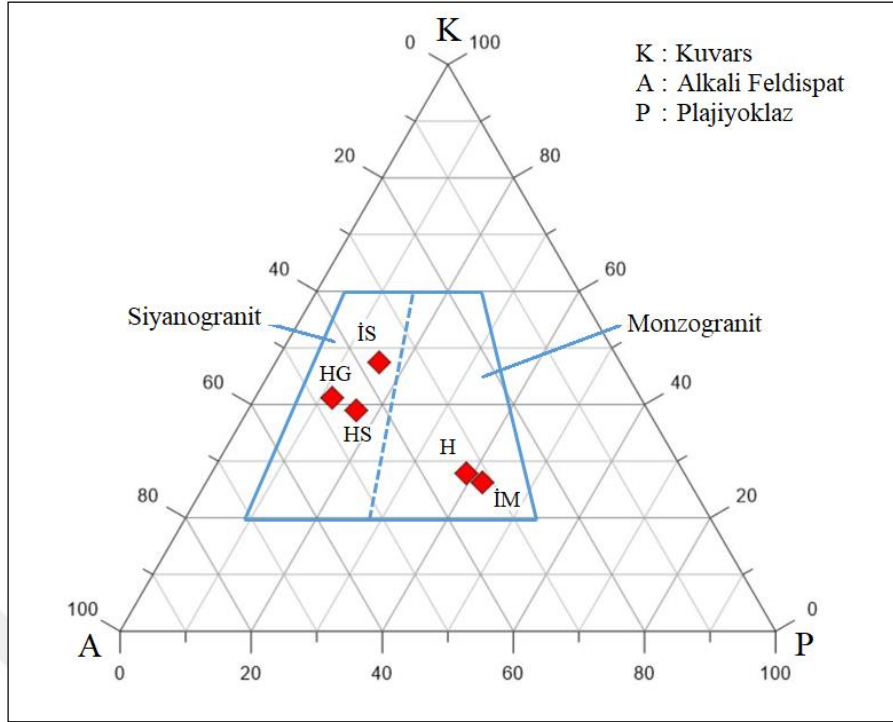
Numune adı	Mineral Yüzdeleri (%)				
	Kuvars	Alkali Feldispat	Plajiyoklaz	Mafik	Diğer
İM	25	30	40	4	1
İS	45	35	15	4	1
HS	35	40	15	5	5
HG	35	40	10	5	10
H	25	30	35	8	2

Derinlik kayaçlarının adlandırılmasında yapmak için K-A-P (Q-A-P) diyagramı kullanılmaktadır. MTA’dan alınan veriler ışığında diyagramda çizilen doğruların kesim noktasına göre kayaçlar adlandırılmıştır. Bu işlem öncesi üçgende kullanılacak kuvars, alkali feldispat ve plajiyoklaz minerallerinin değerleri 100 üzerinden yeniden hesaplanarak değerlendirilmiştir (Tablo 3.2). Sonuç olarak tüm kayaç numunelerinden H ve İM monzogranit sınıfında HS, HG ve İS siyenogranit sınıfında yer almaktadır (Şekil 3.1.).

Tablo 3.2. Numunelerin KAP yüzdeleri

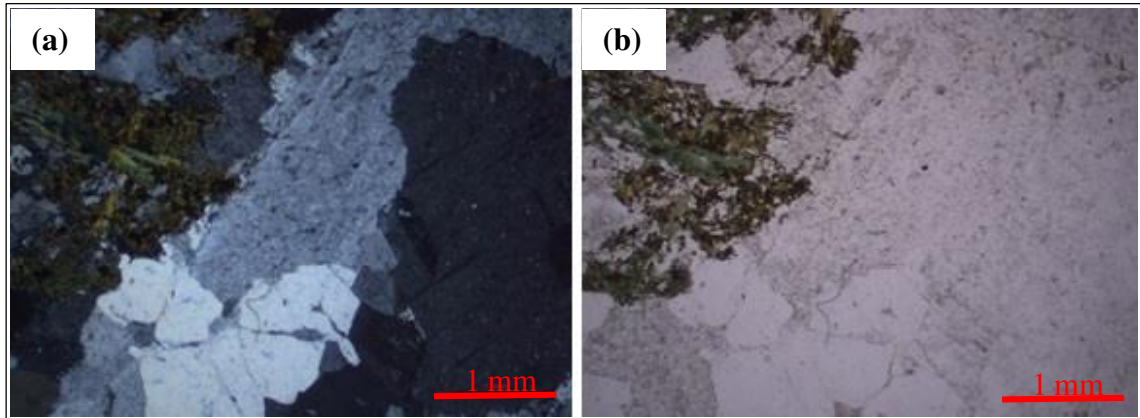
Mineraller	MTA Raporu Verileri					Hesaplanan Veriler				
	İM	İS	HS	HG	H	İM	İS	HS	HG	H
K	25	45	35	35	25	26,32	47,37	38,89	41,18	27,78
A	30	35	40	40	30	31,58	36,84	44,44	47,06	33,33
P	40	15	15	10	35	42,10	15,79	16,67	11,76	38,89
Toplam	95	95	90	85	90	100	100	100	100	100

K: Kuvars, A: Alkali feldispat, P: Plajiyoklaz

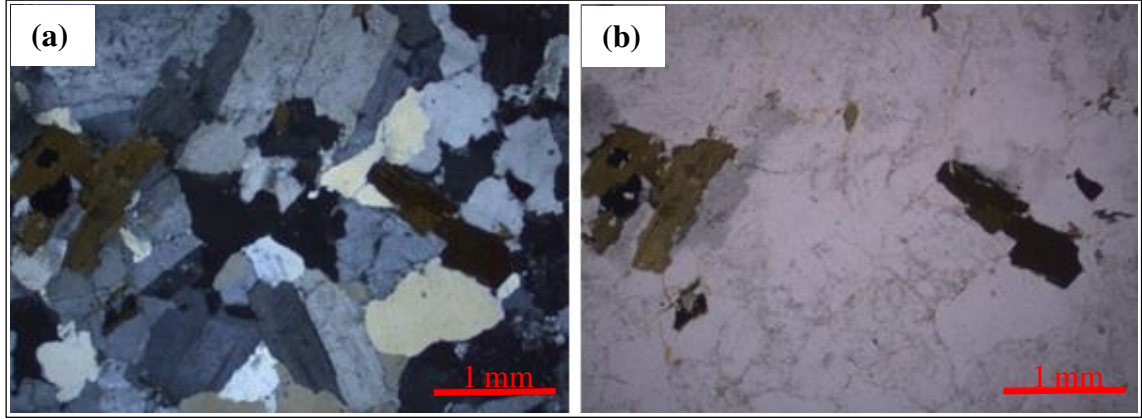


Şekil 3.1. Üçgen Diyagramla kayaçların sınıflanması

İkizdere Mavi (İM) numunesi, makroskobik tanımlamaya göre faneritik dokulu ve açık gri renklidir. Mikroskopik tanımlamaya göre ise; holokristalin taneli dokulu olup derinlik kayacıdır (Tablo 2.3). Bu örnekte mineraller diğer örneklerle nazaran daha iri tanelidir. Plajiyoklazlarda polisentetik ikizlenme ve zonlanma mevcuttur. Amfibol mineralleri biyotit ile birlikte izlenmektedir. Bazı kısımlarda çok az miktarda ince çizgiler şeklinde demiroksitleşmeler mevcuttur. Feldispatlarda serizitleşmeler izlenmiştir (Şekil 3.2).



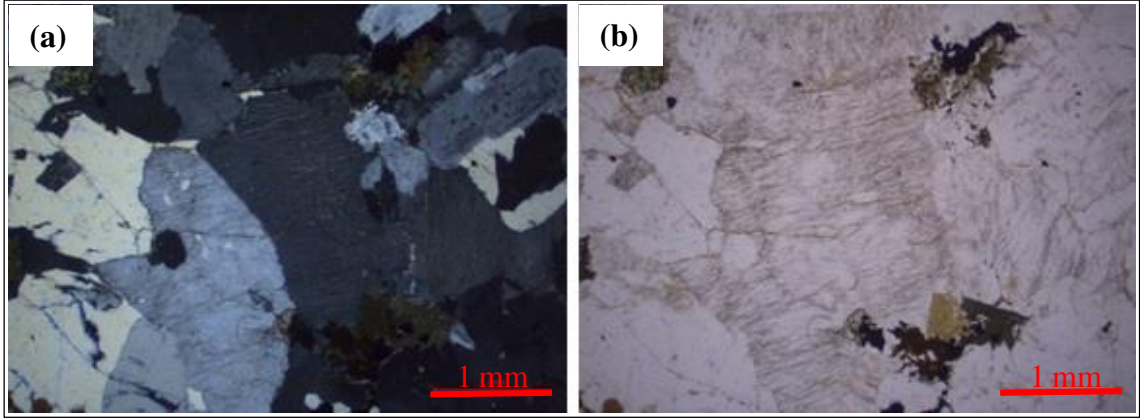
Şekil 3.2. İkizdere Mavi (İM) numunesi mikroskopik görüntüsü (a) Çift Nikol (ÇN) görüntüsü (b) Tek Nikol (TN) görüntüsü



Şekil 3.3. İkizdere Sarı (İS) numunesi mikroskopik görüntüsü ÇN görüntüsü (a) TN görüntüsü (b)

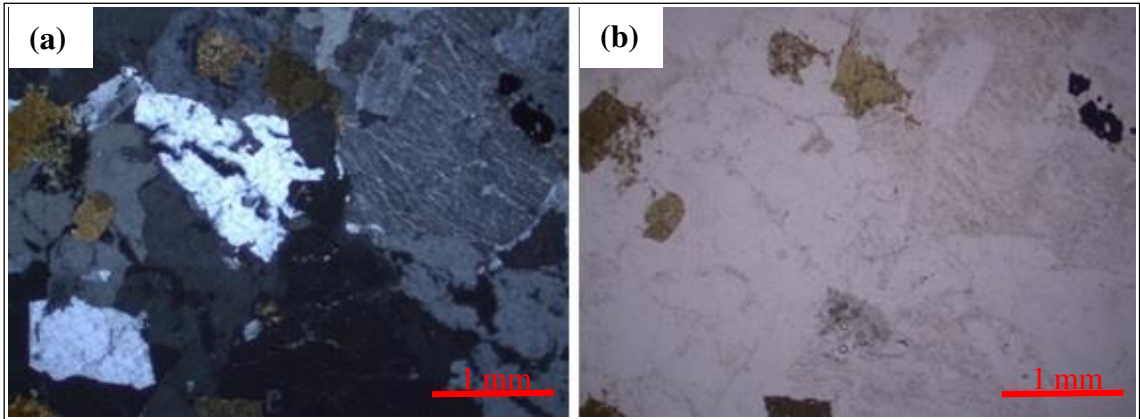
İkizdere Sarı (İS) numunesi, makroskopik tanımlamaya göre faneritik dokulu ve pempemsi gri renklidir. Dokusal yapısı incelendiğinde genel olarak holokristalin taneseli doku izlenmektedir (Tablo 2.3). Ortoklas minerallerinde pertitleşme yaygındır, ayrıca bu örnekte mirmekitik dokuya rastlanmıştır. Biyotitlerde kloritleşme ve feldispatlarda serizitleşme şeklinde alterasyonlar izlenmiştir (Şekil 3.3).

Hayrat Sarı (HS) numunesi, makroskopik tanımlamaya göre faneritik dokulu ve pempemsi gri renklidir. Mikroskopik tanımlamaya göre ise holokristalin taneseli dokulu olup derinlik kayacıdır (Tablo 2.3). Örnekte genel olarak holokristalin taneseli doku izlenmektedir. Yaygın olarak ortoklas minerallerinde pertitleşme izlenmektedir. Biyotitler incelendiğinde bir kısmında kloritleşme görülmüştür. Feldispatlarda serizitleşme ve killeşme şeklinde alterasyonlar izlenmiştir (Şekil 3.4). Plajiyoklaslarda polisentetik ikizlenme ve yer yer kenar kısımlarında zonlanmalar mevcuttur.



Şekil 3.4. Hayrat Sarı (HS) numunesi mikroskopik görüntüsü ÇN görüntüsü (a) TN görüntüsü (b)

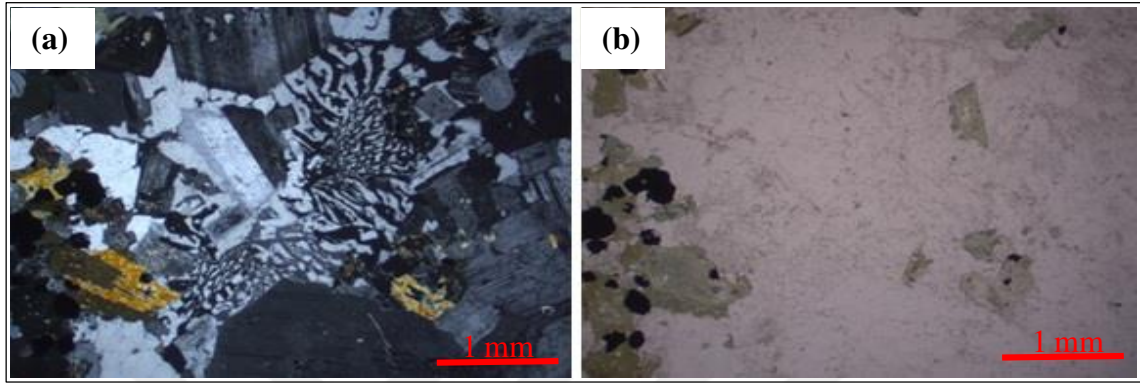
Hayrat Gri (HG) numunesi, makroskopik tanımlamaya göre feneritik dokulu ve pempemsi gri renklidir. Dokusal olarak holokristalin taneseli dokulu olup derinlik kayacıdır (Tablo 2.3). Ortoklas minerallerinde pertitleşme yaygın olarak izlenmektedir. Biyotitlerde diğer örneklerle nazaran çok az bir kloritleşme mevcut olup, feldispatlarda serizitleşme ve killeşme şeklinde alterasyonlar izlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Hayrat Gri (HG) numunesi mikroskopik görüntüsü ÇN görüntüsü (a) TN görüntüsü (b)

Harşit (H) numunesi, makroskopik tanımlamaya göre faneritik dokulu ve açık gri renklidir. Mikroskopik tanımlamaya göre ise; Holokristalin taneseli, granofirik, mikrografik dokulu olup magmatik kayaların doku türlerine göre sınıflandırılması derinlik kayacıdır (Tablo 2.3). Kuvars ve feldispat arasında gelişen granofirik ve mikrografik gibi özel dokular da gelişmiştir. Amfibol grubu mineraller mevcuttur. Biyotitlerde kloritleşme, feldispatlarda

serizitleşme ve killeşme şeklinde alterasyonlar izlenmiştir. Plajiyoklazlarda polisentetik ikizlenme ve yer yer kenar kısımlarında zonlanmalar mevcuttur. Opak mineraller çoğunlukla öz şekillidir. Örnekte plajiyoklaz miktarının alkali feldispatlara oranla biraz fazla olduğu izlenmiştir. (Tablo 3.2, Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Harşit (H) numunesinin mikroskopik görüntüsü ÇN görüntüsü (a) TN görüntüsü (b)

3.2. Çalışılan Kayaçların Mühendislik Özellikleri

3.2.1. Granitlerin Fiziksel Özellikleri

3.2.1.1. Yoğunluk

5 farklı granit grubuna (İkizdere Mavi; İM, İkizdere Sarı; İS, Hayrat Sarı; HS, Hayrat Gri; HG ve Harşit; H) ait numunelerin kumpas yöntemi ile hesaplanan yoğunluk değerleri Tablo 3.3’de gösterilmiştir.

Granit grupları incelendiğinde, ortalama yoğunluk değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ortalama yoğunluk değerinin en küçük olduğu grup 2,613 g/cm³ ile İS iken en büyük ortalama yoğunluk değeri H grubunda 2,699 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Granit grubu numunelerinin standart sapma ($\pm 0,010$ - $\pm 0,019$) değerleri oldukça düşüktür (Tablo 3.3.).

Tablo 3.3. Granitlerin yoğunluk deneyi sonuçları değerleri

Granit Grubu	Ortalama (g/cm ³)	Maksimum (g/cm ³)	Minimum (g/cm ³)	Standart Sapma (± g/cm ³)
İM	2,639	2,659	2,629	0,012
İS	2,613	2,629	2,599	0,011
HS	2,619	2,633	2,608	0,010
HG	2,621	2,634	2,606	0,012
H	2,699	2,723	2,678	0,019

Bulunan yoğunluk değerlerinin, granit kayacı üzerine daha önce yapılmış çalışmalar ile benzer sonuçlar içerdiği görülmüştür. Tüdeş (1994) yaptığı çalışmada İkizdere Granitoyidi'nin ortalama yoğunluk değerini 2,65 g/cm³ olarak belirtmiştir. Ceryan (1999) tarafından Harşit Granitoyidi'nden alınan numuneler ayrışma derecelerine göre sınıflanmış ve yoğunluk değerlerinin 2,58 - 2,76 g/cm³ arasında değiştiğini tespit etmiştir. Benzer şekilde, Harşit granitleri üzerinde çalışmalar yapan Çapık ve Yılmaz (2009), yoğunluk değerlerini 2,76 g/cm³ olarak bulmuşlardır. Acar (2015) tarafından Doğu Karadeniz bölgesinden alınan granit örnekleri ile yapılan çalışma sonucunda yoğunluk değerlerinin 2,60 - 2,71 g/cm³ arasında değiştiği belirtilmiştir.

3.2.1.2. Birim Hacim Ağırlık

Deneysel çalışmalarda kullanılan granit kayaçlarına ait numunelerin doğal, kuru ve doymun birim hacim ağırlık (BHA) deneylerinin sonuçları Tablo 3.4'te verilmiştir.

Ortalama doğal birim hacim ağırlık (DBHA_{Ort}) değerlerine bakıldığında, Harşit grubu kayacına ait numunenin DBHA_{Ort} değeri 26,473 kN/m³ ile en yüksek iken, en düşük DBHA_{Ort} değeri İkizdere Sarı (25,630 kN/m³) grubu numunelerde elde edilmiştir. Numunelerin DBHA deneyleri sonucunda elde edilen standart sapma değerlerinin 0,1 - 0,2 arasında değiştiği ve DBHA_{Ort} değerinin yüksek olan kayacın standart sapmasının da fazla olduğu görülmektedir (Tablo 3.4). Bu çalışmada elde edilen DBHA sonuçları ile uyumlu olarak, Acar (2015) granit kayacı üzerine yapmış olduğu çalışmasında doğal birim hacim ağırlık değerlerini 25,28 - 26,16 kN/m³ arasında bulmuştur. Bir başka araştırmacı ise benzer kayaç grubunda yaptığı deneyler sonucunda DBHA değerlerini 21,48 - 26,68 kN/m³ arasında hesaplamıştır (Ceryan, 1999). DBHA değerlerinin 21,48 kN/m³'e kadar düşmesi, ayrışma derecesinin artması ile ilişkilendirilmiştir.

Tablo 3.4. Granitlerin doğal birim hacim ağırlık değerleri

Granit Grubu	DBHA _{Ort} (kN/m ³)	DBHA _{Maks} (kN/m ³)	DBHA _{Min} (kN/m ³)	Standart Sapma (± kN/m ³)
İM	25,877	26,077	25,783	0,117
İS	25,630	25,783	25,488	0,107
HS	25,681	25,822	25,577	0,102
HG	25,704	25,832	25,557	0,119
H	26,473	26,704	26,263	0,188

Tablo 3.5, farklı granit grubuna ait numunelerin maksimum, minimum ve ortalama kuru birim hacim ağırlık (KBHA) deneyi sonuçlarını göstermektedir.

Tüm örneklerin KBHA değerleri incelendiğinde; Harşit grubu kayacının KBHA değeri en yüksek çıkarken (26,685 kN/m³), İkizdere Sarı (İS) numunesinin KBHA değerinin diğer numunelere göre daha düşük çıktığı belirlenmiştir. Ortalama kuru birim hacim ağırlık ve standart sapma değerlerinin ise Harşit grubu dışında birbirlerine oldukça yakın çıktığı gözlemlenmiştir (Tablo 3.5). Daha önce benzer kayaç gruplarında çalışmalar yapan araştırmacıların (Tüdeş, 1994; Acar, 2015) bulduğu kuru birim hacim ağırlık değerlerinin sırasıyla 25,60 kN/m³ ve 25,25 - 26,12 kN/m³ arasında çıktığı ve bu çalışmada çıkan sonuçlar ile benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Ceryan (1999)'ın yapmış olduğu çalışmada en düşük kuru birim hacim ağırlık (20,69 kN/m³ < 25,449 kN/m³) değerinin bu çalışmaya göre oldukça düşük olması ayrışma derecesiyle açıklanabilir.

Tablo 3.5. Granitlerin Kuru Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Granit Grubu	KBHA _{Ort} (kN/m ³)	KBHA _{Maks} (kN/m ³)	KBHA _{Min} (kN/m ³)	Standart Sapma (± kN/m ³)
İM	25,847	26,047	25,753	0,117
İS	25,588	25,734	25,449	0,106
HS	25,636	25,773	25,528	0,100
HG	25,663	25,802	25,518	0,118
H	26,448	26,685	26,234	0,191

5 farklı granit grubuna (İkizdere Mavi; İM, İkizdere Sarı; İS, Hayrat Sarı; HS, Hayrat Gri; HG ve Harşit; H) ait numunelerin yapılan deneyleri sonucunda hesaplanan doygun birim hacim ağırlık (DyBHA) değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

Farklı tür granit kayaçlarına ait numunelerin hesaplanan tüm değerleri incelendiğinde Harşit grubu numunelerinin diğer numunelere kıyasla daha yüksek DyBHA değerine sahip olduğu açıkça görülmektedir. DyBHA sonuçları en düşük hesaplanan kayaç grubu ise İkizdere Sarı (İS) numunesidir. Standart sapma değerleri de birim hacim ağırlık değerleriyle benzer özellik göstermiştir (Tablo 3.6). Ceryan (1999)'ın Harşit granitleri üzerinde yapmış olduğu çalışmada en yüksek doygun birim hacim ağırlık değeri bu çalışmayla uyumlu olarak 26,68 kN/m³ olarak belirlenmişken en düşük DyBHA değerinin (22,36 kN/m³<26,302 kN/m³) ayrışma derecesinden dolayı oldukça düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, Harşit Granitoyid bölgesinde çalışma yapan Çapık ve Yılmaz (2009) ortalama doygun birim hacim ağırlık değerini 26,68 kN/m³ bulmuşlardır.

Tablo 3.6. Granitlerin Doygun Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Granit Grubu	DyBHA _{Ort} (kN/m ³)	DyBHA _{Maks} (kN/m ³)	DyBHA _{Min} (kN/m ³)	Standart Sapma (± kN/m ³)
İM	25,906	26,106	25,812	0,116
İS	25,673	25,822	25,528	0,108
HS	25,730	25,871	25,626	0,097
HG	25,745	25,871	25,606	0,112
H	26,503	26,724	26,302	0,184

3.2.1.3. Ağırlıkça Su Emme

Granit örneklerinin ISRM (2007) standartlarına uygun olarak yapılan ağırlıkça su emme deneyi sonuçları Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7'deki veriler değerlendirildiğinde ağırlıkça su emme değerleri içerisinde % 0,15 değeriyle H grubunda en küçük değer elde edilirken en büyük değer ise HS grubunda % 0,42 olmuştur. Standart sapma değerleri birbirine yakın % 0,023 ile % 0,034 arasında dağılım göstermiştir (Tablo 3.7). Acar (2015)'ın yapmış olduğu çalışmada bulunan değerler bu çalışma ile paralellik göstermektedir.

Tablo 3.7. Granitlerin Ağırlıkça Su Emme (ASE) Değerleri

Granit Grubu	ASE_{Ort} (%)	ASE_{Maks} (%)	ASE_{Min} (%)	Standart Sapma (%)
İM	0,23	0,25	0,19	0,023
İS	0,33	0,36	0,29	0,026
HS	0,37	0,42	0,33	0,033
HG	0,33	0,36	0,29	0,027
H	0,21	0,24	0,15	0,034

3.2.1.4. Görünür Porozite

Farklı bölgelerden temin edilmiş granit örneklerinin görünür porozite sonuçları belirlenmiş ve Tablo 3.8’de gösterilmiştir. Tablo 3.8 incelendiğinde; ortalama görünür porozite sonuçlarının % 1,00 değerini aşmadığı tespit edilmiştir. Granit grupları arasında ortalama değerler dikkate alındığında İM ve H numuneleri düşük değerleri ile diğerlerinden net bir şekilde ayrılmaktadır. Ortalama değerler dikkate alındığında en küçük ve en büyük değerler sırasıyla H ve HS grubunda % 0,56 ve % 0,98 olarak elde edilmiştir (Tablo 3.8). Çapık ve Yılmaz (2009) yaptıkları çalışmada Harşit Granitoyidi için görünür porozite değerini % 1,12 olarak bulmuşlardır. Tüdeş (1994) İkizdere Granitoyidi için hacimce su emme miktarını % 0,98 olarak belirtmiştir. Acar (2015) tarafından yapılan çalışmada % 0,58 - % 1,30 aralığında değişen değerler bulunmuştur.

Tablo 3.8. Granitlerin görünür porozite değerleri

Granit Grubu	Ortalama (%)	Maksimum (%)	Minimum (%)	Standart Sapma (%)
İM	0,60	0,65	0,51	0,056
İS	0,85	0,93	0,75	0,069
HS	0,98	1,09	0,87	0,083
HG	0,86	0,93	0,75	0,073
H	0,56	0,65	0,41	0,093

3.2.2. Granitlerin Dayanım ve Deformasyon Özellikleri

3.2.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

5 farklı granit grubuna (İkizdere Mavi; İM, İkizdere Sarı; İS, Hayrat Sarı; HS, Hayrat Gri; HG ve Harşit; H) ait NX çaplı silindirik karot numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) sonuçları ve elastisite modülü ve poisson oranı sonuçları ise Tablo 3.9’da gösterilmiştir.

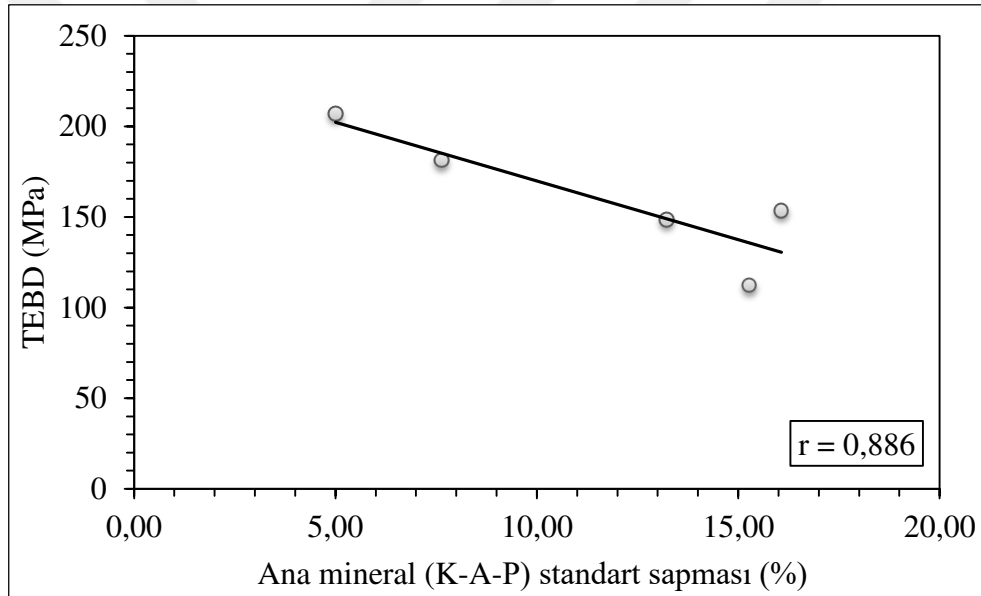
Tablo 3.9’da verilmiş olan tek eksenli basınç dayanımı ortalama (TEBD_{Ort.}) değerleri incelendiğinde; en yüksek basınç dayanımı Harşit (H: 206,89 MPa) numunesinden elde edilirken en düşük dayanım İkizdere Sarı (İS: 112,39 MPa) numunesinden sağlanmıştır. TEBD_{Maks} ve TEBD_{Min} değerleri de ortalama değerlere benzer şekilde gerçekleşmiştir. Standart sapma sonuçlarına bakıldığında, Harşit Sarı (HS) ve Harşit Gri (HG) numunelerinin diğer numunelere kıyasla TEBD değerleri arasında (15,3 MPa - 15,6 MPa > 3 MPa - 9,8MPa) oldukça fazla fark olduğu belirlenmiştir. En düşük standart sapma değerleri Harşit (H) numunelerinde gözlemlenmiştir. Numunelerin elastisite modülü sonuçlarının TEBD değerleri ile paralellik gösterdiği ve TEBD değeri arttıkça numunelerin elastisite modülünün de arttığı açıkça görülmektedir. Poisson oranı sonuçları incelendiğinde ise net bir ilişkinin olduğu söylenememektedir (Tablo 3.9). Daha önce yapılan çalışmalar göz önüne alındığında bu çalışmada elde edilen tek eksenli basınç dayanım değerlerinin literatür ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Çapık (2008) tarafından yapılan çalışmada Harşit Granodiyoritine ait silindirik ve küp numunelerin TEBD değerleri sırasıyla 221 MPa ve 217 MPa olarak bulunmuştur. Tüdeş (1994) ise İkizdere Granodiyoritinde yaptığı çalışmada kayacın TEBD’nı 130,02 MPa bulmuştur. İkizdere’de yapılan bir başka çalışmada TEBD 149,57 - 187,81 MPa arasında değişmiştir (Acar, 2015).

Tablo 3.9. Granitlerin tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranı değerleri

Granit Grubu	TEBD _{Ort} (MPa)	TEBD _{Maks} (MPa)	TEBD _{Min} (MPa)	Standart Sapma (±MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson oranı
İM	181,28	187,77	174,78	4,705	67,05	0,21
İS	112,39	121,51	97,00	9,828	47,21	0,25
HS	148,39	165,17	131,5	15,278	45,97	0,25
HG	153,23	168,20	134,93	15,599	60,03	0,22
H	206,89	211,67	201,53	3,924	69,14	0,20

Tek eksenli basınç dayanımı testleri yapılan 5 farklı granit kayacına ait numunelerin mineralojik analizleri sonucunda belirlenen ana mineral (K-A-P) standart sapması - TEBD ilişkisi Şekil 3.7’de ve mineral dağılımları - TEBD ilişkisi Şekil 3.8’de verilmiştir.

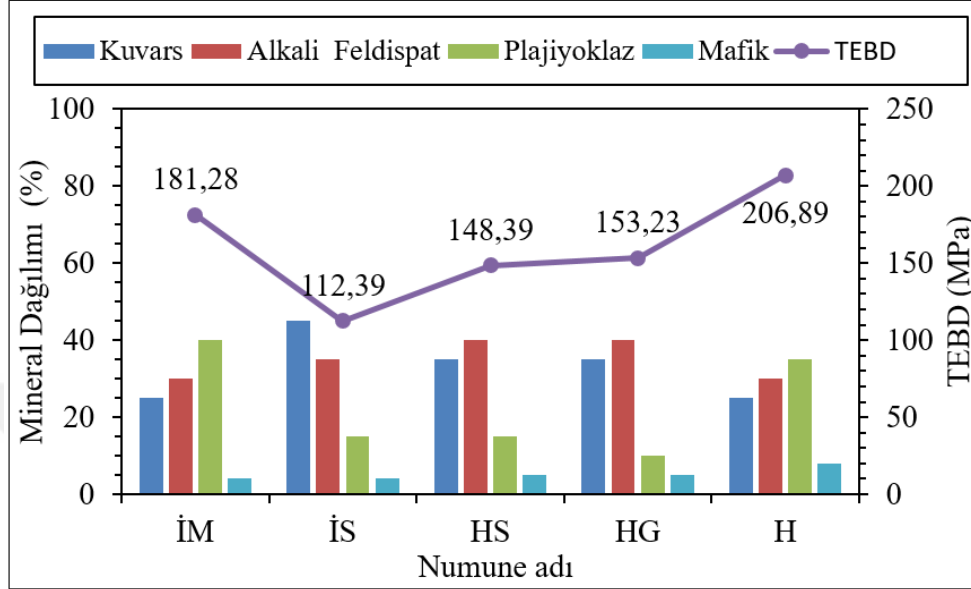
Her kayaç grubunun ortalama tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) ve ana mineral standart sapması (AMSS) değerleri incelendiğinde çalışmada kullanılan kayalarındaki AMSS değeri arttıkça TEBD değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Grafikten, AMSS (%) değeri ile TEBD arasında güçlü bir korelasyon katsayısına ($r = 0,886$) sahip negatif yönlü bir ilişki bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 3.7). Bu çalışmada elde edilen bulgularla uyumlu olarak Acar (2015) tarafından yapılan çalışmada da AMSS değeri düşük olduğunda kayaların tek eksenli basınç dayanımının arttığı görülmüştür.



Şekil 3.7. Granitlerin ana mineral (K-A-P) standart sapması ile TEBD arasındaki ilişki

Şekil 3.8 incelendiğinde, kayalar içerisindeki mafik mineral ve plajiyoklaz minerali miktarı arttıkça kayaların TEBD artarken, kuvars ve alkali feldispat mineralleri miktarı arttıkça TEBD değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.9). Kayalara ait mineral içeriği tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) ilişkisi grafikleri incelendiğinde; mafik mineral içeriği - TEBD (Şekil 3.9a) ve plajiyoklaz minerali içeriği - TEBD (Şekil 3.9c) arasında yüksek korelasyon katsayısına ($r = 0,710$ ve $r = 0,770$) sahip pozitif bir ilişki elde edilmişken, kuvars minerali içeriği - TEBD (Şekil 3.9b) arasında oldukça yüksek ($r = 0,965$) ve alkali

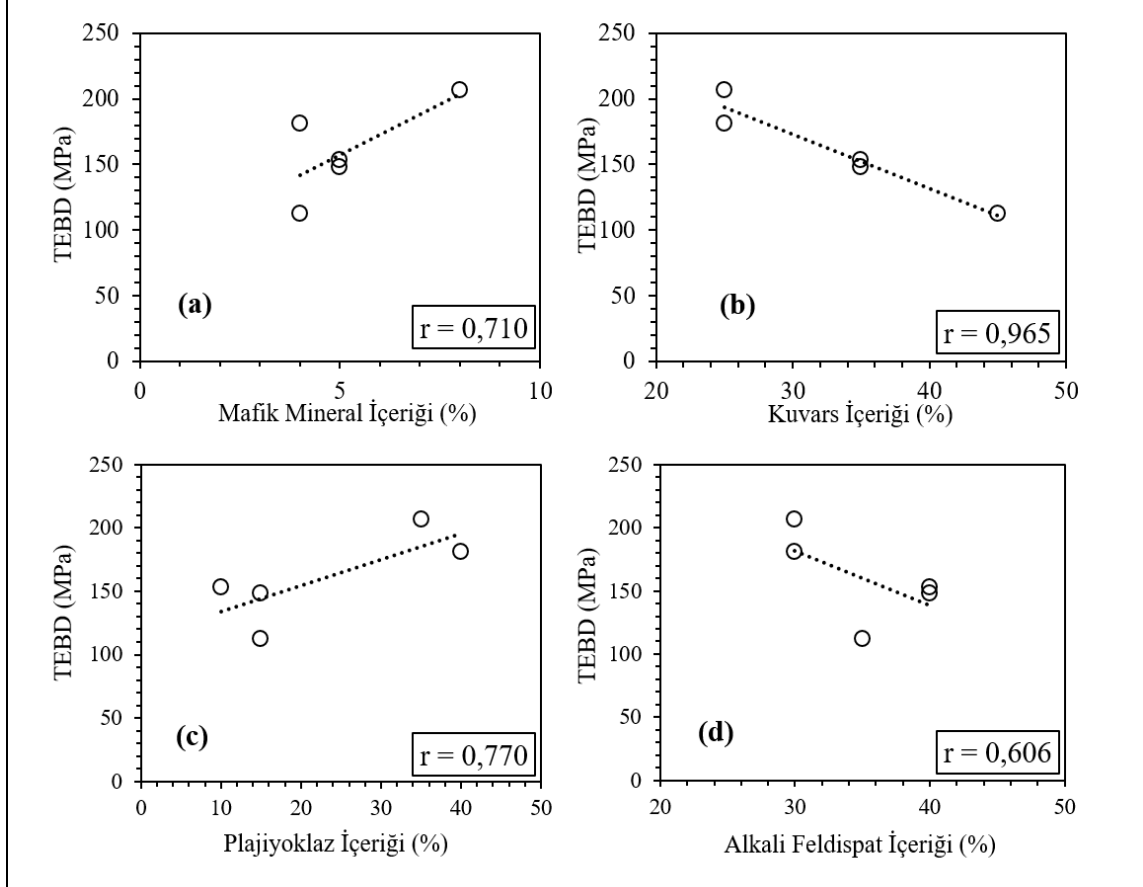
feldispat minerali içeriği - TEBD (Şekil 3.9d) arasında orta düzey ($r = 0,606$) korelasyon katsayılarına sahip negatif ilişkiler elde edilmiştir.



Şekil 3.8. Granit numunelerinin Mineral Dağılımı - TEBD ilişkisi

Daha önce yapılmış çalışmalarda Tuğrul ve Zarif (1999) ve Gültekin vd. (2013), plajiyoklaz minerali içeriği ile TEBD arasında negatif yönlü ilişkiler elde ederlerken, Yılmaz vd. (2011) ve Sousa vd. (2013), bu çalışmada elde edilen bulgularla uyumlu olarak pozitif bir ilişki elde etmişlerdir. Fakat minerallerin tane boyut dağılımının tek eksenli basınç dayanımı üzerinde etkisinin olabileceği unutulmamalıdır. Bu çalışmada granit numuneleri içerisindeki minerallerin homojen bir boyutta dağılmış olduğu gözlemlenmiştir ve TEBD üzerinde etkisinin olmadığı söylenebilir. Mafik minerali içeriği açısından literatürde yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında Acar (2015) bu çalışmada elde edilen sonucun tam tersine mafik mineral miktarı ile TEBD arasında negatif bir ilişki elde etmiştir. Bu farklılığın, mineral tane boyutundan kaynakladığı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, bu tez çalışmasında elde edilen kuvars minerali içeriği-TEBD ilişkisinin, literatürde bulunan çalışmalarla benzerlik gösterdiği belirlenmiştir (Yılmaz vd., 2011; Sousa vd, 2013; Gültekin vd., 2013; Hofmann vd., 2015). Alkali feldispat minerali içeriği ile TEBD arasındaki negatif yönlü ilişki Yılmaz (2011)'ın yaptığı çalışmada da elde edilirken, daha önce yapılan çalışmalarda bu çalışmanın aksine pozitif yönlü ilişkiler de elde edilmiştir (Tuğrul ve Zarif, 1999; Sousa vd, 2013; Gültekin vd., 2013; Hofmann vd., 2015). Bu farklılıkların sebebi

genel olarak tane boyutu olduğu düşünülmekte olup bu çalışmada tane boyutu homojen olduğu için etkisi minimum düzeydedir (Ek Tablo 1).

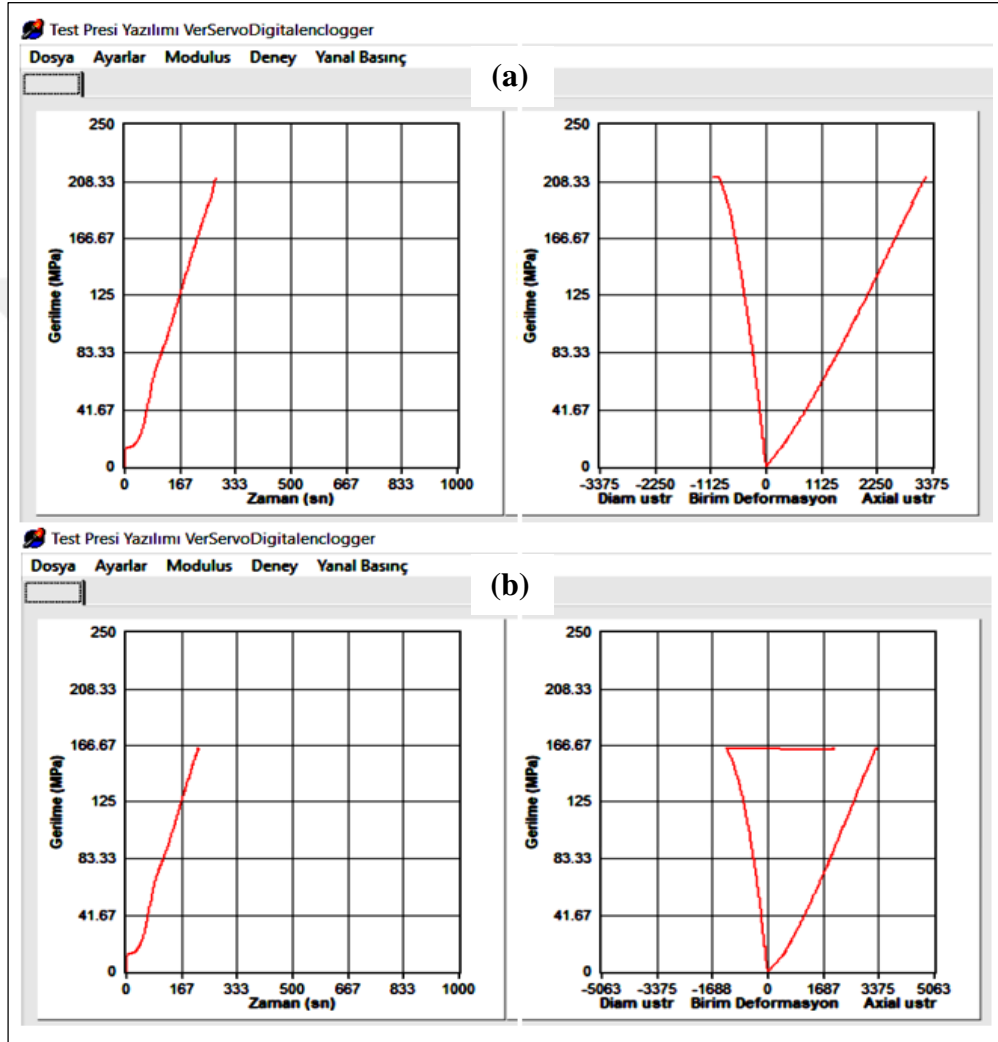


Şekil 3.9. Mineral içeriği-TEBD ilişkisi; Mafik mineral-TEBD (a), Kuvars-TEBD (b), Plajiyoklaz-TEBD (c) ve Alkali Feldispat-TEBD (d)

Standartlara uygun olarak hazırlanmış numunelerin üzerine yapıştırılmış olan birim deformasyon ölçerler yardımı ile kayalar da tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılırken, deformasyonlar anlık kayıt edilmiş ve elde edilen elastisite modülü (E) ve poisson oranı (ν) sonuçları Tablo 3.9’da verilirken Şekil 3.10’da Harşit (H) ve Hayrat Gri (HG) numunelerinin deformasyon davranışlarına ait grafikleri gösterilmiştir.

Tablo 3.9 incelendiğinde TEBD arttıkça numunelerin elastisite modüllerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca elastisite modülü arttıkça numunelerin poisson oranlarının azaldığı tespit edilmiştir. 5 farklı granit grubu içerisinde elastisite modülü en yüksek olan kayac Harşit grubu numuneleridir ve bu numunelerin poisson oranı da diğer numunelere göre daha düşüktür (Şekil 3.10). Tüdeş (1994) İkizdere Granitoidine ait numuneler ile yapmış olduğu

deformasyon testinde elastisite modülü ve poisson oranını sırasıyla 55,31 GPa ve 0,26 olarak bulmuştur. Araştırmacının bulduğu sonucun bu çalışmada kullanılan İkizdere Mavi ve İkizdere Sarı adlı numunelerin ortalama elastisite modülü sonucu ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca poisson oranları arasında da çok büyük bir farklılık bulunmamaktadır.

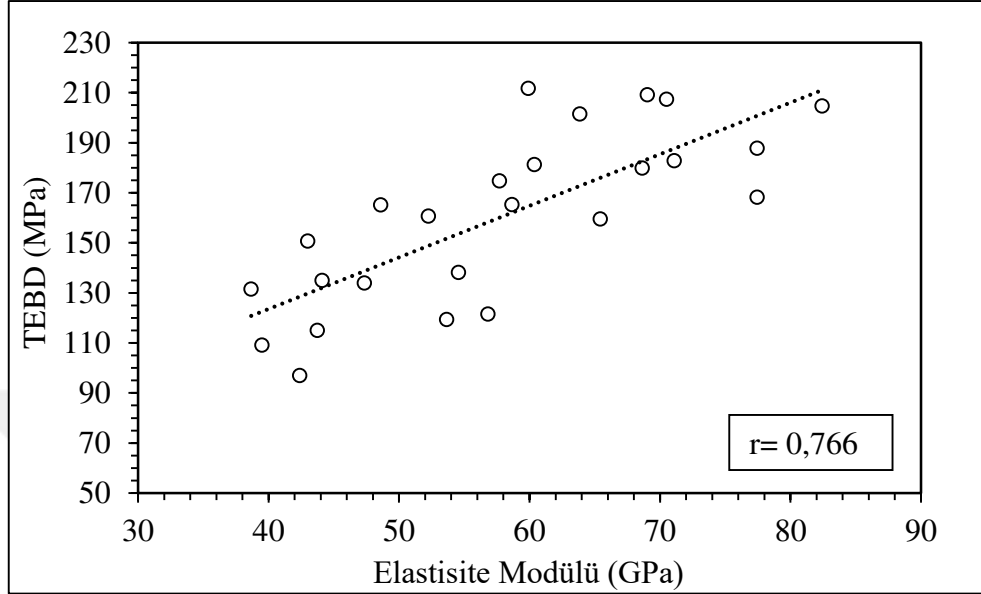


Şekil 3.10. TEBD cihazına entegre deformasyon ölçer ekran görüntüsü Harşit numunesi (a) ve Hayrat Gri numunesi (b)

Tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) ve birim deformasyon ölçer vasıtasıyla yapılan elastisite modülü ölçüm sonuçları arasındaki ilişki Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Grafikten, elastisite modülünün artmasıyla numunelerin TEBD değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca elastisite modülü ile TEBD arasındaki ilişkinin pozitif yönlü olduğu ve korelasyon katsayısının (r) 0,766 olduğu belirlenmiştir. Geçmişte granit kayacı

üzerine yapılan birçok çalışmada bu çalışmayla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir (Eberhardt vd., 1999; Tuğrul ve Zarif, 1999; Sousa, 2005; Hofmann vd., 2015; Zhao vd., 2015).



Şekil 3.11. Elastisite Modülü-TEBD ilişkisi

3.2.2.2. Üç Eksenli Basınç Dayanımı

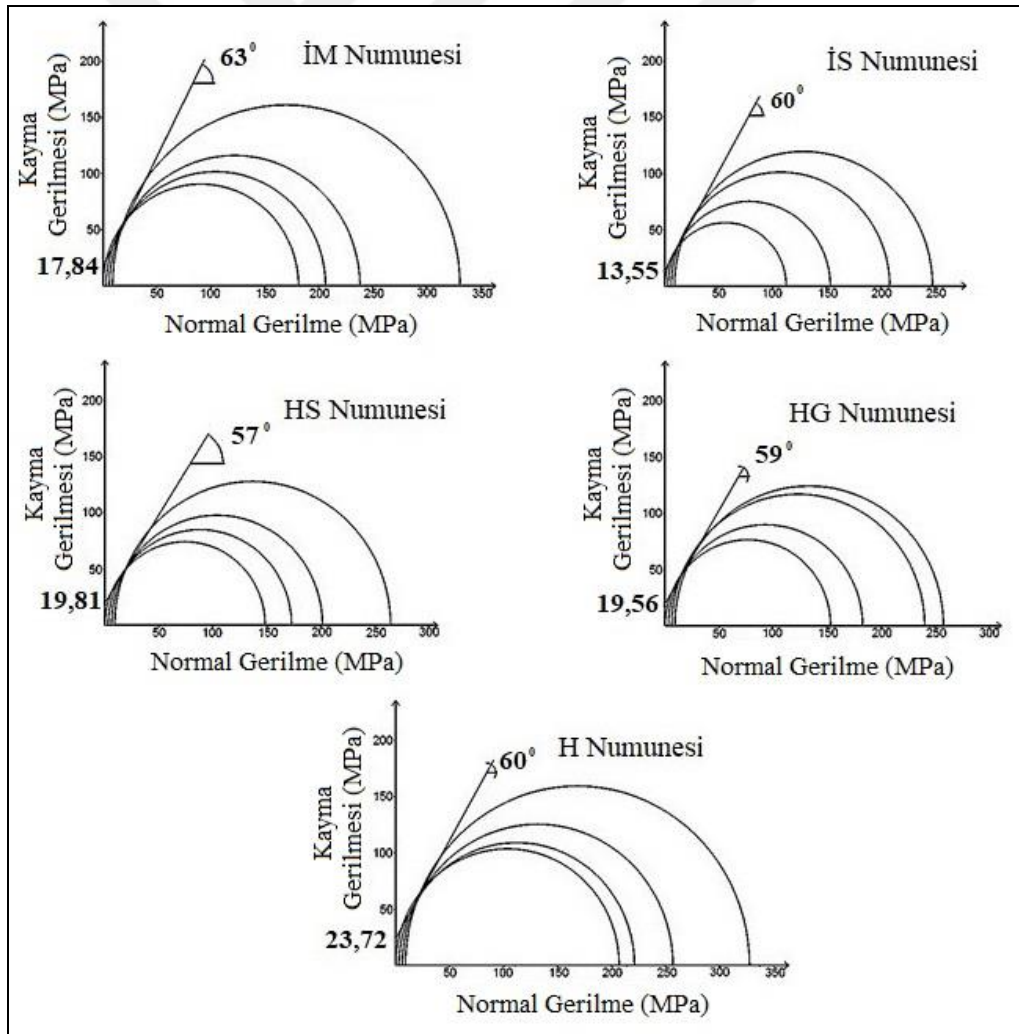
5 farklı granit kayacından boy/çap oranı = 2 olacak şekilde hazırlanan silindirik karot örneklerinin TEBD (yanal basınç; $\sigma_3 = 0$) ve 3 farklı yanal basınç ($\sigma_3 = 3, 6$ ve 9 MPa) altında elde edilen üç eksenli basınç dayanımı (ÜEBD) sonuçları Tablo 3.10'da verilmiştir.

Numunelerin ÜEBD değerleri, yanal basınç değerlerinin artmasıyla granit grubu türünden bağımsız olarak artmıştır. Granit kayaçları içerisinde TEBD sonuçlarıyla benzer şekilde 3 ve 6 MPa yanal basınçta en yüksek ÜEBD değerini Harşit numunesi üretirken, yanal basınç 9 MPa seviyesine yükseltildiğinde İkizdere Mavi (İM) numunesinin Hayrat (H) numunesini geçtiği belirlenmiştir. Bunun sebebinin kayaçların içerdiği minerallerin tane boyutundan kaynaklandığı düşünülmektedir. En düşük ÜEBD ise genel olarak İkizdere Sarı numunesinde gerçekleşmiştir. (Tablo 3.10).

Tablo 3.10. Üç eksenli basınç dayanımı değerleri

Granit Grubu	TEBD	Üç eksenli basınç dayanımı (MPa)		
		$\sigma_3=3$ MPa	$\sigma_3=6$ MPa	$\sigma_3=9$ MPa
İM	181,28	206,24	237,99	330,65
İS	112,39	153,26	208,24	247,86
HS	148,39	172,83	201,52	264,49
HG	153,23	182,84	240,27	257,71
H	206,89	221,07	256,67	327,64

Granit numunelerinin ÜEBD testleri sonucunda yanal basınç değerlerine karşılık gelen dikey basınç (TEBD) değerleri kullanılarak her bir granit numunesinin Mohr kırılma zarfları çizilerek kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri grafikler üzerinde belirlenmiştir (Şekil 3.12).

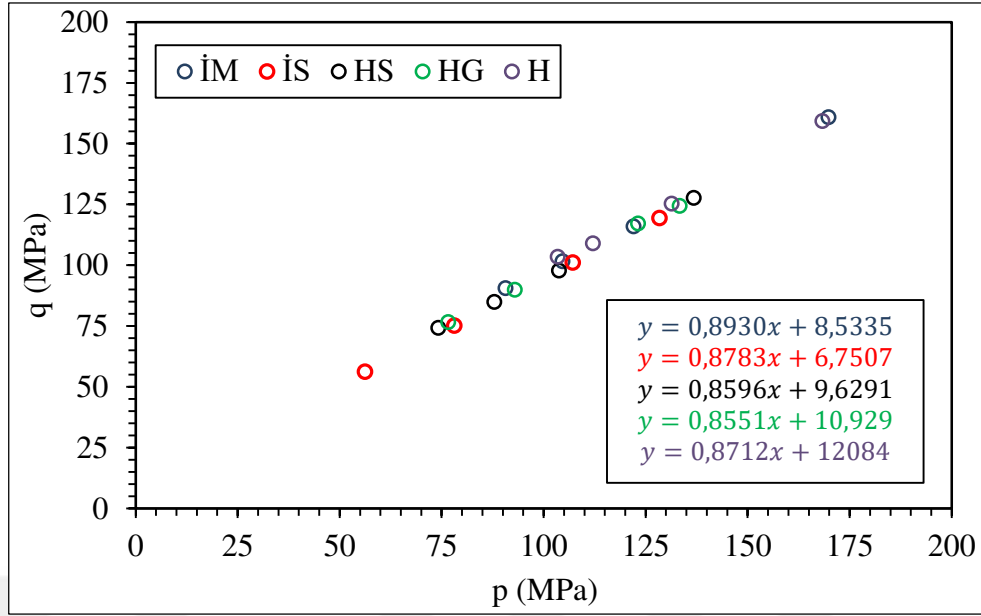


Şekil 3.12. Granit grubu kayaçların Mohr kırılma zarfı çizimleri

Çizilen Mohr kırılma zarfı grafiklerine bakıldığında, numunelerin kohezyon değerlerinin 13,55 MPa - 23,72 MPa arasında, içsel sürtünme açılarının ise 57-63° arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 3.11). Kohezyon değerleri, numunelerin farklı yanal basınç seviyeleri altındaki düşey basınç (TEBD) değerlerinin artmasıyla birlikte artmıştır. Önceki çalışmalar ile kıyaslama yapılacak olursa; bu tez çalışmasında kullanılan Harşit numunesinin sonuçları ile benzer olarak Ceryan (1999) tarafından Harşit numuneleri ile yapılan çalışmada, taze kayacın kohezyonu ve içsel sürtünme açısı sırasıyla 18,63 - 24,03 MPa ve 59° - 61° arasında değiştiğini, az ayrılmış kayaç için ise değerlerin sırasıyla 17,16 - 20,59 MPa ve 58° - 61° derece arasında değiştiğini ifade edilmiştir. Tüdeş (1994) ise, Granodiyorite ait kohezyon değerlerini 19,61 MPa ve içsel sürtünme açısını 54,5° olarak belirtmiştir. Harşit Granitoidin’de granitik malzeme için bulunan içsel parametreleri Lump (1962; 1983), Lee (1987), Krank ve Watters (1983) ve Baynes vd. (1978)’nin deneysel sonuçlarında belirtmiş oldukları değerlere benzerdir.

Tablo 3.10’da verilen yanal basınç ve onlara karşılık gelen dikey basınç (TEBD) değerleri ile Şekil 3.12’de çizilen Mohr kırılma zarfı grafiklerinde yanal basınç değerlerine karşılık TEBD değerleri oldukça yüksek çıktığı için çizilen Mohr kırılma zarfları iç içe geçmiştir. Bu nedenle numunelerin Mohr kırılma zarflarının çizimi sonucu elde edilen numunelerin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açıları (ϕ) her bir numunenin “p” ve “q” gerilme parametreleri Eşitlik 38 ve 39 vasıtasıyla hesaplanmış ve Şekil 3.13’de p-q ilişkisi grafiği hazırlanmıştır. “p-q” ilişki grafiğinden elde edilen $y = ax + b$ denklemlerinde $a = \tan\alpha$ olup, bu değerler Eşitlik 40 ve 41’de yerine koyularak kohezyonları (c) ve içsel sürtünme açıları (ϕ) tekrar hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri Tablo 3.11’de verilmiştir.

Formüller yardımıyla hesaplanan kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri incelendiğinde, c’nin 14,12 - 24,62 MPa ve ϕ ’nin 58,77° - 63,25° arasında değiştiği ve bu değerlerin Mohr kırılma zarfı grafikleri vasıtasıyla belirlenen değerlere oldukça yakın çıktığı görülmüştür (Tablo 3.11). Ayrıca, çizilen Mohr dairesinden elde edilen sonuçlar ile matematiksel formüller vasıtasıyla hesaplanan sonuçlar arasında uyum analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda RMSE ve MAPE uyum değerleri her iki parametre içinde çok kuvvetli uyum olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 3.13. Granit numunelerinin “p” ve “q” parametrelerinin birbirleri ile ilişkileri

Tablo 3.11. Granitlerin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri

Granit Grubu	Çizim ile hesaplanan		Formül ile hesaplanan	
	c (MPa)	ϕ (°)	c (MPa)	ϕ (°)
İM	17,84	63,00	18,96	63,25
İS	13,55	60,00	14,12	61,44
HS	19,81	57,00	18,84	59,27
HG	19,56	59,00	21,08	58,77
H	23,72	60,00	24,62	60,60
RMSE			1,062	1,241
MAPE			5,38	1,64

3.2.2.3. Dolaylı Çekme Dayanımı

5 farklı granit grubuna ait kayalardan hazırlanan numunelerin dolaylı çekme dayanımı (DÇD) testi sonuçları Tablo 3.12’de verilmiştir.

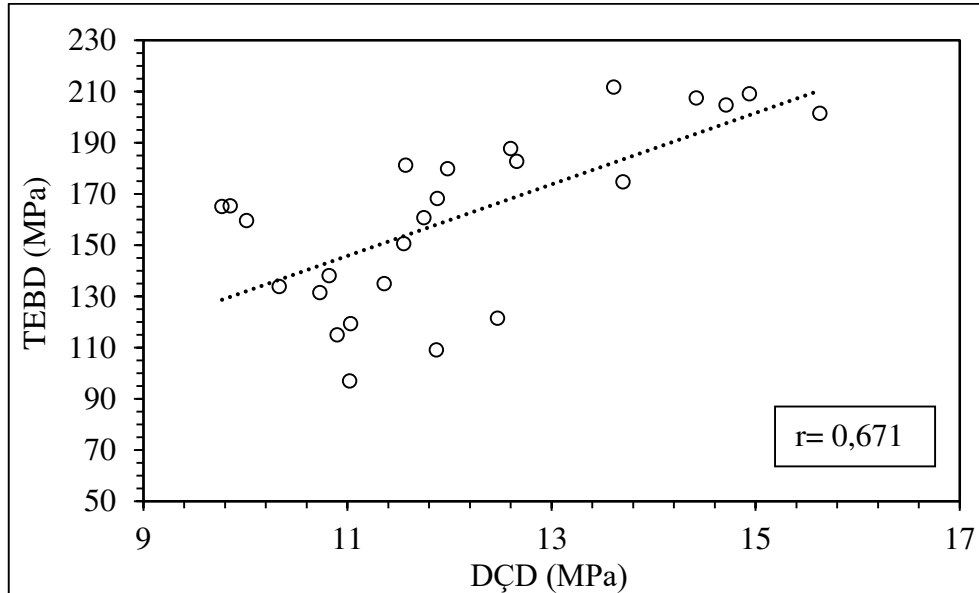
Dolaylı çekme dayanımı değerlerinin TEBD değerleriyle benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Numuneler içerisinde en yüksek ortalama DÇD değerine Harşit grubu numunelerde ulaşılırken Hayrat Sarı numunesinin DÇD diğer numunelere kıyasla daha düşük seviyede kalmıştır. Standart sapma değerleri incelendiğinde ise her kayaç grubu için deneye tabi tutulan 10 farklı numune içerisinde $\pm 0,95 - \pm 1,5$ MPa kadar farklılık ortaya çıkmıştır (Tablo 3.12). Literatürde Harşit kayacı üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde,

Çapık ve Yılmaz (2009) DÇD değerlerini bu tez çalışmasında çıkan sonuçlar ile uyumlu olarak 12,4 - 15,3 MPa arasında tespit etmiştir. Ceryan (1999) ise aynı bölgede yaptığı çalışmada ayrışma derecelerine göre kayaçların DÇD sonuçlarını incelemiş ve ayrışmamış malzemede 11,47 - 15,49 MPa arasında, II. derece ayrışmış malzemede ise 4,61 - 10,98 MPa arasında farklılık gösteren değerlere ulaşmıştır. İkizdere Granitoyidi üzerine yapılan çalışmada ise Tüdeş (1994) dolaylı çekme direncini 11,26 MPa olarak tespit etmiştir.

Tablo 3.12. Granitlerin dolaylı çekme dayanımı değerleri

Granit Grubu	Ortalama (MPa)	Maksimum (MPa)	Minimum (MPa)	Standart Sapma ($\pm$ MPa)
İM	12,50	14,43	11,15	0,987
İS	11,46	14,78	9,75	1,501
HS	10,83	12,53	9,76	0,954
HG	10,78	13,14	9,58	1,150
H	14,66	16,28	13,43	1,015

Farklı granit grubu kayaçlarından temin edilen numuneler ile gerçekleştirilen TEBD ve DÇD testleri sonuçlarının birbiriyle olan ilişki grafiği Şekil 3.14’de gösterilmiştir.

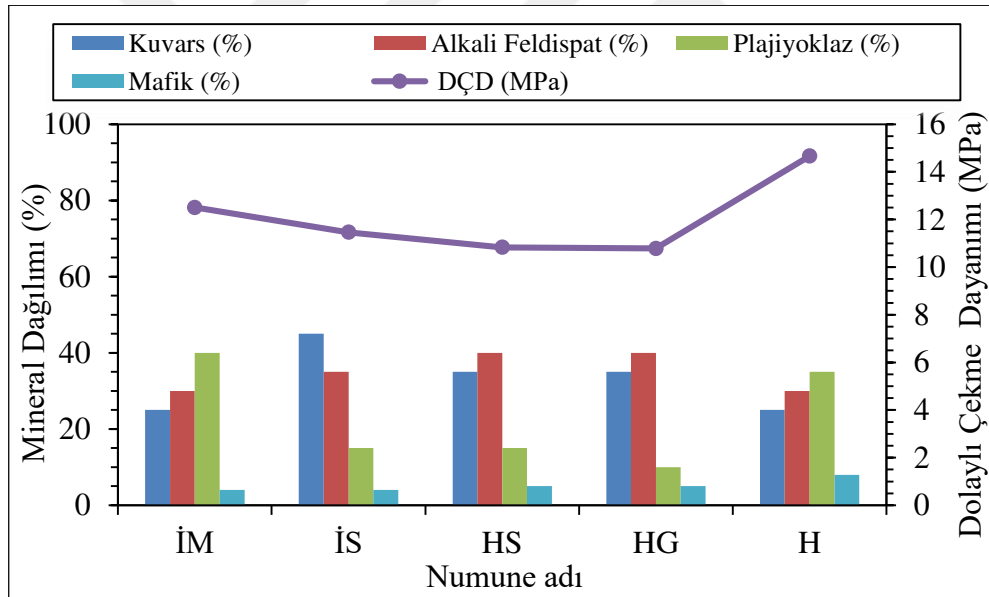


Şekil 3.14. Dolaylı Çekme Dayanımı ile TEBD arasındaki ilişki

Grafik incelenecek olursa, kayaçların dolaylı çekme dayanımının artmasıyla tek eksenli basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Numunelerin DÇD - TEBD ilişkisine ait korelasyon katsayısının yüksek düzeyde ($r = 0,671$) olduğu ve aralarında pozitif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. TEBD - DÇD arasında benzer ilişkiler granitler üzerine yapılan geçmiş çalışmalarda da tespit edilmiştir (Tuğrul ve Zarif, 1999; Yılmaz vd., 2011; Hofmann vd., 2015).

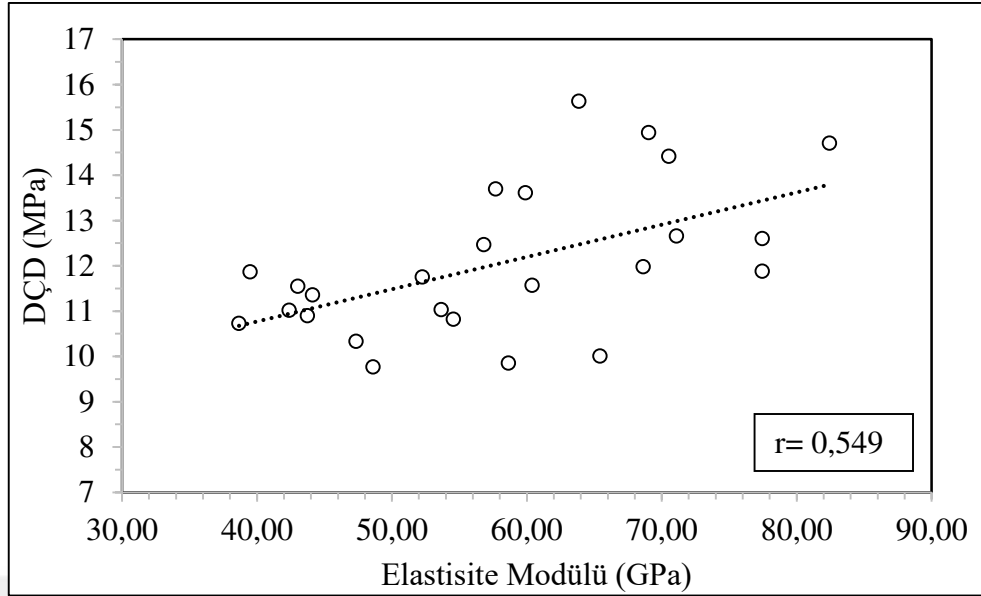
Dolaylı çekme testleri yapılan 5 farklı granit kayacına ait numunelerin mineralojik analizleri sonucunda belirlenen mineral dağılımları - DÇD ilişkisi Şekil 3.15’de verilmiştir.

Şekil 3.15 incelendiğinde, genel olarak kayaçlar içerisindeki plajiyoklaz minerali miktarı arttıkça kayaçların DÇD’nın arttığı, alkali feldispat mineralleri miktarları arttıkça DÇD değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Mafik minerali içeriklerinin düşük seviyelerde artmasıyla DÇD değerlerinde artma eğilimi olduğu söylenebilir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Granitlerin mineral dağılımları ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki

Şekil 3.16’da numunelerin elastisite modülü ve DÇD arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde elastisite modülü ile TEBD arasında gerçekleşen pozitif yönlü ilişki burada da tespit edilmiştir. Ayrıca ilişkinin korelasyon katsayısının orta kuvvet seviyesinde olduğu ve elastisite modülü ile DÇD arasında $r = 0,549$ bir uyum olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Elastisite modülü ile dolaylı çekme dayanımı arasındaki ilişki

3.2.2.4. Ultrasonik P-Dalga Hızı (Vp)

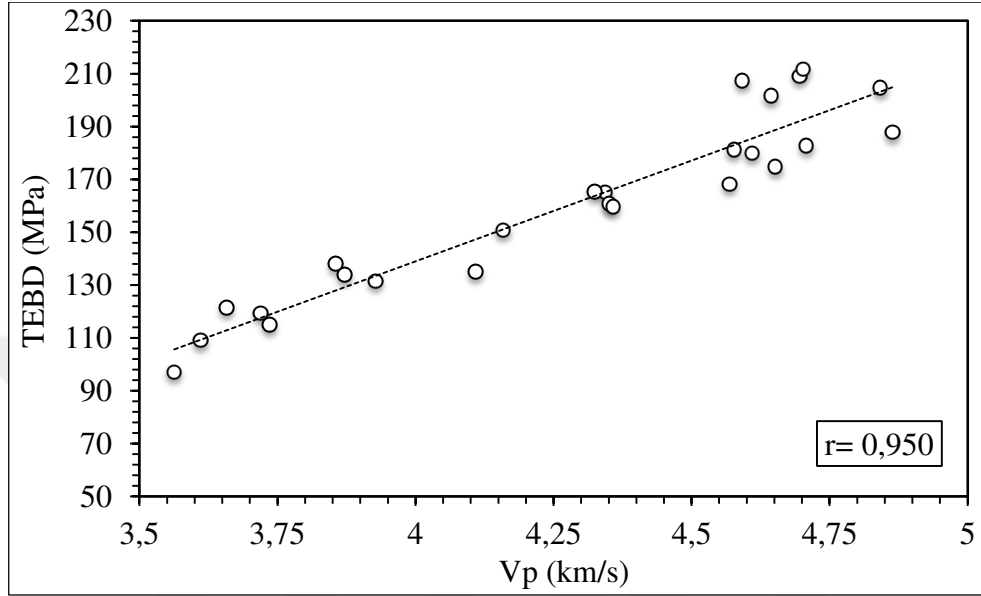
Granit grubu kayaçlardan standartlara uygun olarak hazırlanan silindirik karot numunelerinin ultrasonik P-dalga hızı (Vp) testi sonuçları Tablo 3.13’de verilmiştir.

Numunelerin ortalama ultrasonik P-dalga hızı (Vp) testi sonuçları incelendiğinde Vp değerlerinin 3,658 - 4,695 km/s arasında değiştiği ve farklı kayaç grubu içerisinde en yüksek Vp değerini Harşit grubu numunelerinin ürettiği tespit edilmiştir. İkizdere Mavi numunesi de Harşit numunesine oldukça yakın bir Vp değeri üretmiştir. İkizdere Sarı (İS) numunesinin ise daha önce incelenmiş olan kaya mekaniği parametrelerinde (TEBD, DÇD, ÜEBD ve elastisite modülü) olduğu gibi ultrasonik P-dalga hızı da düşük seviyede seyretmiştir. Standart sapma değerleri ise oldukça düşük ($\pm 0,073$ - $\pm 0,271$) seviyelerde gerçekleşmiştir (Tablo 3.13).

Tablo 3.13. Granitlerin ultrasonik P-dalga hızı (Vp) değerleri

Granit Grubu	VpOrt (km/s)	VpMaks (km/s)	VpMin (km/s)	Standart Sapma ($\pm$ km/s)
İM	4,682	4,864	4,577	0,113
İS	3,658	3,736	3,563	0,073
HS	4,131	4,351	3,872	0,225
HG	4,243	4,569	3,855	0,271
H	4,695	4,842	4,592	0,093

Ultrasonik P-Dalga hızı ve TEBD testleri sonucunda 5 farklı kayaç grubuna ait toplam 25 numuneden elde edilen V_p ve TEBD değerlerine ait ilişki grafiği Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Ultrasonik P-Dalga hızı ile TEBD arasındaki ilişki

Granit numunelerinin V_p değerlerinin artmasıyla TEBD değerlerinin arttığı açıkça görülmektedir. Ayrıca, V_p ve TEBD arasında oldukça yüksek korelasyon katsayısına ($r=0,950$) sahip güçlü bir uyum olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada bulunan sonuçları destekler nitelikte önceki araştırmalarda da V_p ile kaya mekaniği özellikleri arasında yakın ilişkilerin olduğu bildirilmiştir. (Tuğrul ve Zarif, 1999; Yaşar ve Erdoğan, 2004; Kahraman, 2007; Sharma ve Singh, 2008; Yağız, 2001; Khandelwal, 2013; Aydın, 2014; Karaman vd., 2015).

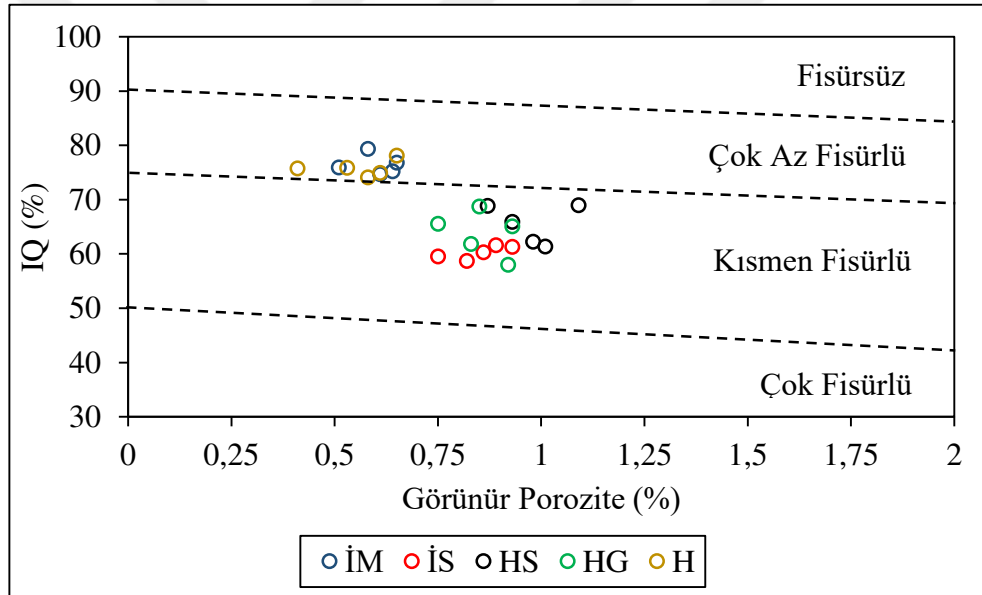
3.2.2.5. Kalite İndeksi (IQ)

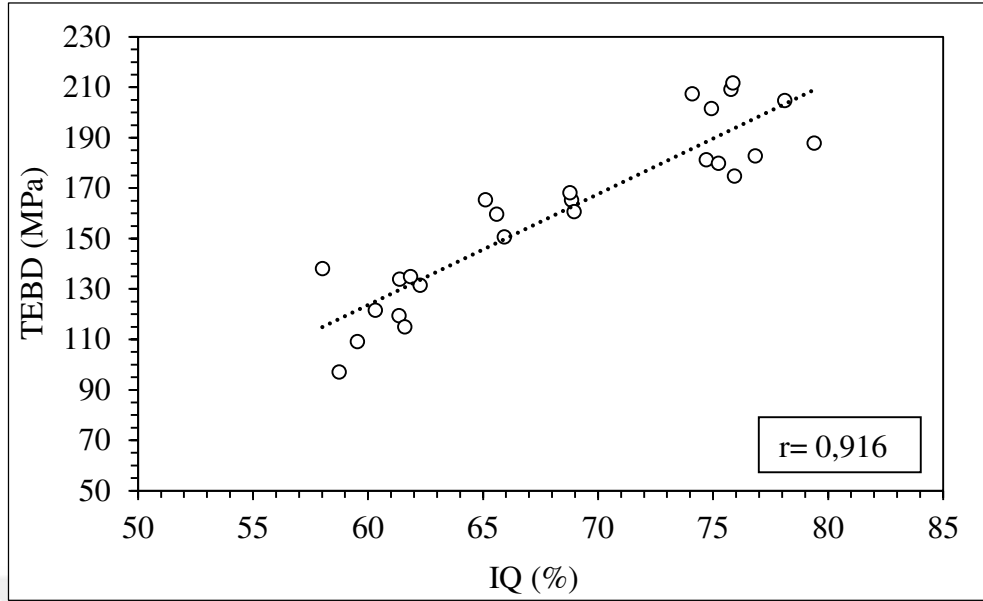
Yukarıdaki formüllere göre kayaç numunelerinin mikro-fisür dereceleri bulunabilmesi için Fourmaintraux (1975)’un önerdiği kalite indeksi kullanılmıştır (Tablo 3.14).

Tablo 3.14. IQ hesaplanan değerleri

Granit Grubu	V _{hesaplanan} (km/s)	IQ _{Ort} (%)	IQ _{Maks} (%)	IQ _{Min} (%)	Standart Sapma ($\pm$ %)
İM	6,127	76,42	79,39	74,70	1,843
İS	6,065	60,31	61,60	58,75	1,199
HS	6,309	65,47	68,96	61,37	3,568
HG	6,644	63,87	68,77	58,02	4,086
H	6,198	75,75	78,12	74,09	1,505

Şekil 3.18'den anlaşılacağı üzere H ve İM çok az mikro-fisürlü, İS, HS ve HG kısmen mikro-fisürlü olup çok az mikro-fisürlü sınırına yakındırlar. Aynı şekilde süreksizlik ile ilişkili olduğu için IQ ile TEBD arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur (Şekil 3.19).





Şekil 3.19. TEBD - IQ arasındaki ilişki

3.3. Verilerin İstatistiksel İncelenmesi

Deneyisel çalışmalar sonucunda numunelerinin ayrı ayrı belirlenen fiziksel ve mekanik özelliklerine ait sonuçlar Tablo 3.15’de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 3.15. Granitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Granit Grubu	ρ (g/cm ³)	TEBD (MPa)	DÇD (MPa)	Vp (km/sn)	n (%)	c (MPa)	ϕ (o)	E (GPa)	ν
İM	2,639	181,28	12,50	4,682	0,60	17,84	63	67,05	0,21
İS	2,613	112,39	11,46	3,658	0,85	13,55	60	47,21	0,25
HS	2,619	148,39	10,83	4,131	0,98	19,81	57	45,97	0,25
HG	2,621	153,23	10,78	4,243	0,86	19,56	59	60,03	0,22
H	2,699	206,89	14,66	4,695	0,56	23,72	60	69,14	0,20

ρ : Yoğunluk, TEBD: Tek Eksenli Basınç Dayanımı, DÇD: Çekme Dayanımı, Vp: Ultrasonik P-Dalga Hızı, n: Görünür Porozite, c: Kohesyon, ϕ : İçsel Sürtünme Açısı, E: Elastisite Modülü, ν : Poisson Oranı

3.3.1. Dolaylı Çekme Dayanımı İçin İstatistiksel Analiz

Tablo 3.16 incelendiğinde Shapiro-Wilk” testinin "Sig." değerleri 0.05' den büyük olduğundan tüm gruplar için “%95 güvenle veriler normal dağılım” göstermektedir.

Normal dağılıma sahip olan dolaylı çekme dayanımı verileri ile diğer kaya mekaniği deney verileri arasındaki korelasyon incelendiğinde; %95 güven aralığında anlamlılık düzeylerinde pozitif ve negatif yönlü ilişkileri aşağıdaki Tablo 3.17’de verilmiştir.

Tablo 3.16. Dolaylı Çekme Dayanımı Normallik Analizi

Parametre	Granit grubu	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		İstatistik	df	Sig.	İstatistik	df	Sig.
	İM	0,222	5	0,200*	0,956	5	0,779
	İS	0,334	5	0,071	0,829	5	0,137
DÇD	HS	0,209	5	0,200*	0,944	5	0,692
	HG	0,214	5	0,200*	0,933	5	0,620
	H	0,172	5	0,200*	0,988	5	0,971

df: Serbestlik derecesi, Sig.: Anlamlılık, a: Lilliefors anlamlılık düzeltmesi

Dolaylı çekme dayanımı ile diğer verilerin ilişkileri analiz edildiğinde görülmektedir ki yoğunluk (ρ) ve plajiyoklaz (PLA) ile pozitif yönlü kuvvetli anlamlı bir ilişkiye sahiptir. Aynı zamanda dolaylı çekme dayanımı, alkali feldispat (AF) ve görünür porozite (n) ile negatif yönde kuvvetli anlamlı bir ilişkiye sahiptir (Tablo 3.17).

Tablo 3.17. Dolaylı çekme dayanımı ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon

Değişken	İlişki Yönü	İlişki
DÇD	Pozitif (+)	Yoğunluk (ρ)
		Plajiyoklaz
		IQ
		Mafik Mineral
		TEBD
		P-Dalga Hızı (V_p)
		Elastisite Modülü (E)
		Kohezyon (c)
		İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)
	Negatif (-)	Alkali Feldispat
		Görünür Porozite (n)
		Kuvars
		Poisson Oranı (ν)

Dolaylı çekme ile diğer kaya mekaniği parametreleri arasında matematiksel model kurulabilmesi için önce her veri ile tek tek basit doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda en yüksek R^2 değeri yoğunluk ile elde edilmiştir. Ancak modelin kuvvetli olabilmesi için gereken $R^2 > 0,700$ koşulunu sağlamadığı için reddedilmiştir. Daha sonra

uygulanan çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu Stepwise metodu ile iki model elde edilmiş olup bunlardan ilki $R^2 < 0,700$ olduğu için reddedilmiştir. Sonuç olarak $R^2 > 0,700$ koşulunu sağlayan “2. Model” kabul edilmiştir. Modelin başarısını ölçmek için ayrıca RMSE ve MAPE ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerler çok iyi tahmin olarak adlandırılmaktadır (Tablo 3.18).

Tablo 3.18. Dolaylı çekme dayanımı basit ve çoklu regresyon analizi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken $D\dot{C}D$		ANOVA Analizi
	Basit Doğrusal Regresyon	Uyum Testi	
Yoğunluk	$D\dot{C}D = -92,093 + 39,474 * \rho$	$R^2 = 0,691$ $MAPE = 6,01$ $RMSE = 0,895$	F: 51,396 Sig.: 0,000
Alkali Feldispat	$D\dot{C}D = 21,766 - 0,278 * AF$	$R^2 = 0,595$	F: 33,773 Sig.: 0,000
Görünür Porozite	$D\dot{C}D = 17,242 - 6,772 * n$	$R^2 = 0,547$	F: 27,756 Sig.: 0,000
Plajiyoklaz	$D\dot{C}D = 9,840 + 0,096 * PLA$	$R^2 = 0,518$	F: 24,717 Sig.: 0,000
Mafik Mineral	$D\dot{C}D = 8,204 + 0,739 * Maf$	$R^2 = 0,455$	F: 19,186 Sig.: 0,000
TEBD	$D\dot{C}D = 6,861 + 0,032 * TEBD$	$R^2 = 0,450$	F: 18,834 Sig.: 0,000
Kuvars	$D\dot{C}D = 16,360 - 0,131 * Kuvars$	$R^2 = 0,369$	F: 13,448 Sig.: 0,001
P-Dalga Hızı	$D\dot{C}D = 2,538 + 2,221 * Vp$	$R^2 = 0,329$	F: 11,301 Sig.: 0,003
Elastisite Modülü	$D\dot{C}D = 7,927 + 0,071 * E$	$R^2 = 0,302$	F: 9,943 Sig.: 0,004
Kohezyon	$D\dot{C}D = 7,403 + 0,246 * c$	$R^2 = 0,253$	F: 7,775 Sig.: 0,010
Poisson Oranı	$D\dot{C}D = 17,711 - 24,932 * \nu$	$R^2 = 0,189$	F: 5,358 Sig.: 0,030
İçsel Sürtünme Açısı	$D\dot{C}D = -7,962 + 0,335 * \phi$	$R^2 = 0,162$	F: 4,458 Sig.: 0,046
Çoklu Regresyon			
Enter Metodu	Sig. Değerleri>0,05 (anlamsız)		
Stepwise Metodu 1. Model	$D\dot{C}D = -92,093 + 39,474 * \rho$	$R^2 = 0,691$ $MAPE = 6,01$ $RMSE = 0,895$	F: 51,396 Sig.: 0,000
Stepwise Metodu 2. Model	$D\dot{C}D = -54,472 + 27,127 * \rho - 0,144 * AF$	$R^2 = 0,784$ $MAP = 5,23$ $RMSE = 0,750$	F: 39,863 Sig.: 0,000

3.3.2. Görünür Porozite İçin İstatistiksel Analiz

Tablo 3.19’da normal dağılım testi sonucu Shapiro-Wilk” testi anlamlılık değerleri (Sig.) 0.05’ den büyük olduğundan tüm gruplar için “%95 güvenle veriler normal dağılım” göstermektedir.

Kaya mekaniği verileri ile görünür porozite arasındaki korelasyon verileri incelendiğinde; alkali feldispat ve kuvars ile pozitif yönde kuvvetli ilişkiye sahip olduğu ayrıca plajiyoklaz, IQ, yoğunluk, dolaylı çekme dayanımı ve içsel sürtünme açısı ile negatif yönlü kuvvetli bir ilişkiye sahiptir (Tablo 3.20).

Tablo 3.19. Görünür Porozite normallik analizi

Parametre	Granit grubu	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		İstatistik	df	Sig.	İstatistik	df	Sig.
Görünür Porozite	İM	0,184	5	0,200*	0,912	5	0,479
	İS	0,158	5	0,200*	0,981	5	0,940
	HS	0,141	5	0,200*	0,996	5	0,995
	HG	0,209	5	0,200*	0,929	5	0,586
	H	0,202	5	0,200*	0,932	5	0,608

df: Serbestlik derecesi, Sig.: Anlamlılık, a: Lilliefors anlamlılık düzeltmesi

Tablo 3.20. Görünür Porozite ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon

Değişken	İlişki Yönü	İlişki
Görünür Porozite (n)	Pozitif (+)	Alkali Feldispat
		Kuvars
		Poisson Oranı (v)
	Negatif (-)	Plajiyoklaz
		IQ
		Yoğunluk (ρ)
		DÇD
		İçsel Sürtünme Açısı (φ)
		TEBD
		Vp
		Elastisite Modülü (E)
		Mafik Mineral

Kaya mekaniği verileri ile teker teker basit doğrusal regresyon analizine tabi tutulan görünür porozite verileri arasında; anlamlı $R^2 > 0,700$ koşulunu sağlayan iki model bulunmaktadır. Bunlardan alkali feldispat içeren matematiksel model plajiyoklaz içeren modele kıyasla daha iyi uyum analizi sonuçlarına sahiptir (RMSE 0,089 < 0,096; MAPE

9,81 < 10,44). Diğer taraftan çoklu doğrusal regresyon sonucu ortaya çıkan modeller dikkate alındığında uyum analizi daha iyi sonuç veren modeller bulunmaktadır. Bunlardan en iyi sonuç 4 numaralı modele ait olup uyum analizi verileri RMSE = 0,063 ve MAPE = 7,81 hesaplanmıştır (Tablo 3.21).

Tablo 3.21. Görünür Porozite basit ve çoklu regresyon analizi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken n		ANOVA Analizi
	Basit Doğrusal Regresyon	Uyum Testi	
Alkali Feldispat	$n = -0,419 + 0,034 * AF$	$R^2 = 0,743$ $MAPE = 9,81$ $RMSE = 0,089$	F: 66,646 Sig.: 0,000
Plajiyoklaz	$n = 1,048 - 0,012 * PLA$	$R^2 = 0,702$ $MAPE = 10,44$ $RMSE = 0,096$	F: 54,085 Sig.: 0,000
Yoğunluk	$n = 11,034 - 3,892 * \rho$	$R^2 = 0,563$	F: 29,643 Sig.: 0,000
DÇD	$n = 1,740 - 0,081 * DÇD$	$R^2 = 0,547$	F: 27,756 Sig.: 0,000
İçsel Sürtünme Açısı	$n = 4,657 - 0,065 * \phi$	$R^2 = 0,515$	F: 24,375 Sig.: 0,000
Kuvars	$n = 0,221 + 0,017 * Kuvars$	$R^2 = 0,496$	F: 22,608 Sig.: 0,000
TEBD	$n = 1,357 - 0,004 * UCS$	$R^2 = 0,488$	F: 21,943 Sig.: 0,000
P-Dalga Hızı	$n = 1,979 - 0,283 * Vp$	$R^2 = 0,449$	F: 18,750 Sig.: 0,000
Elastisite Modülü	$n = 1,249 - 0,008 * E$	$R^2 = 0,347$	F: 12,221 Sig.: 0,002
Poisson Oranı	$n = 0,115 + 2,873 * v$	$R^2 = 0,210$	F: 6,128 Sig.: 0,021
Mafik Mineral	$n = 1,031 - 0,051 * Maf$	$R^2 = 0,179$	F: 5,027 Sig.: 0,000
Kohezyon			Sig. 0,08 > 0,05 Anlamsız
Çoklu Regresyon			
Enter Metodu	Sig. Değerleri > 0,05 (anlamsız)		
Stepwise Metodu 1. Model	$n = -0,419 + 0,034 * AF$	$R^2 = 0,743$ $MAPE = 9,81$ $RMSE = 0,089$	F: 66,646 Sig.: 0,000
Stepwise Metodu 2. Model	$n = 4,386 + 0,025 * AF$ $-1,710 * \rho$	$R^2 = 0,806$ $MAPE = 8,73$ $RMSE = 0,079$	F: 45,805 Sig.: 0,000
Stepwise Metodu 3. Model	Sig. Değerleri > 0,05 (anlamsız)		
Stepwise Metodu 4. Model	$n = 12,299 - 3,194 * \rho$ $-0,052 * \phi$	$R^2 = 0,873$ $MAPE = 7,81$ $RMSE = 0,063$	F: 75,569 Sig.: 0,000

3.3.3. Tek Eksenli Basınç Dayanımı İçin İstatistiksel Analiz

Tablo 3.22’de Tek Eksenli Basınç Dayanımı (TEBD) için normal dağılım testi sonucu Shapiro-Wilk” testi Anlamlılık değerleri (Sig.) 0.05’ den büyük olduğundan tüm gruplar için “%95 güvenle veriler normal dağılım” göstermektedir.

Tablo 3.23’de, normal dağılıma sahip olan tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) verileri ile diğer kaya mekaniği deney verileri arasındaki korelasyona göre %95 anlamlılık düzeylerinde pozitif ve negatif yönlü ilişkileri verilmiştir. Pozitif yönde yüksek korelasyon katsayına sahip olduğu birçok ilişki bulunmaktadır (Vp, IQ, kohezyon, yoğunluk, elastisite modülü ve plajiyoklaz). Negatif yönde ise kuvars miktarı ile çok kuvvetli ilişki varlığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.22. Tek Eksenli Basınç Dayanımı (TEBD) normallik analizi

Parametre	Granit grubu	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		İstatistik	df	Sig.	İstatistik	df	Sig.
TEBD	İM	0,183	5	0,200*	0,983	5	0,951
	İS	0,204	5	0,200*	0,912	5	0,481
	HS	0,228	5	0,200*	0,891	5	0,364
	HG	0,258	5	0,200*	0,845	5	0,178
	H	0,153	5	0,200*	0,989	5	0,976

df: Serbestlik derecesi, Sig.: Anlamlılık, a: Lilliefors anlamlılık düzeltmesi

Tablo 3.23. Tek Eksenli Basınç Dayanımı (TEBD) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon

Değişken	İlişki Yönü	İlişki
TEBD	Pozitif (+)	Vp
		IQ
		Kohezyon (c)
		Yoğunluk (ρ)
		Elastisite Modülü (E)
		Plajiyoklaz
		Mafik Mineral
		DÇD
	Negatif (-)	Kuvars
		Görünür Porozite (n)
		Poisson Oranı (ν)
		Alkali Feldispat

Tablo 3.24. Tek Eksenli Basma Dayanımı (TEBD) basit ve çoklu regresyon analizi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken <i>TEBD</i>		ANOVA Analizi
	Basit Doğrusal Regresyon	Uyum Testi	
P-Dalga Hızı	$TEBD = -166,242 + 76,295 * Vp$	$R^2 = 0,902$ $MAPE = 4,88$ $RMSE = 10,454$	F: 212,166 Sig.: 0,000
Kuvars	$TEBD = 296,391 - 4,120 * K$	$R^2 = 0,851$ $MAPE = 7,60$ $RMSE = 12,923$	F: 130,897 Sig.: 0,000
Kohezyon	$TEBD = 6,050 + 8,170 * c$	$R^2 = 0,648$	F: 42,346 Sig.: 0,000
Yoğunluk	$TEBD = -1876,198 + 771,979 * \rho$	$R^2 = 0,613$	F: 36,434 Sig.: 0,000
Elastisite Modülü	$TEBD = 41,202 + 2,060 * E$	$R^2 = 0,587$	F: 32,649 Sig.: 0,000
Plajiyoklaz	$TEBD = 113,604 + 2,036 * PLA$	$R^2 = 0,542$	F: 27,182 Sig.: 0,000
Görünür Porozite	$TEBD = 262,357 - 132,847 * n$	$R^2 = 0,488$	F: 21,943 Sig.: 0,000
Mafik Mineral	$TEBD = 80,233 + 15,424 * Maf$	$R^2 = 0,460$	F: 19,578 Sig.: 0,000
DÇD	$TEBD = -7,371 + 13,930 * DÇD$	$R^2 = 0,450$	F: 18,834 Sig.: 0,000
Poisson Oranı	$TEBD = 332,213 - 756,059 * v$	$R^2 = 0,403$	F: 15,536 Sig.: 0,001
Alkali Feldispat İçsel Sürtünme Açısı	$TEBD = 311,920 - 4,328 * AF$	$R^2 = 0,335$	F: 11,600 Sig.: 0,002 Sig.0,111>0,05 Anlamsız
Çoklu Regresyon			
Enter Metodu	Sig. Değerleri>0,05 (anlamsız)		
Stepwise Metodu 1. Model	$TEBD = -166,242 + 76,295 * Vp$	$R^2 = 0,902$ $MAPE = 4,88$ $RMSE = 10,454$	F: 212,166 Sig.: 0,000
Stepwise Metodu 2. Model	$TEBD = -152,806 + 65,151 * Vp + 6,592 * Maf$	$R^2 = 0,967$ $MAPE = 3,24$ $RMSE = 6,079$	F: 321,773 Sig.: 0,000
Stepwise Metodu 3. Model	$TEBD = -533,214 + 61,533 * Vp + 4,098 * Maf + 154,981 * \rho$	$R^2 = 0,973$ $MAPE = 3,01$ $RMSE = 5,507$	F: 250,992 Sig.: 0,000

Regresyon analizi sonucu modellerin anlamlılıklarına bakıldığında; basit ve çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu elde edilen matematiksel modellerden çoğu ANOVA testi sig. Değerleri < 0,05 olduğundan anlamlı çıkmış olup içsel sürtünme açısı için sig. Değeri > 0,05 olduğundan modelin anlamsız olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.24).

Basit doğrusal regresyon modellerine bakıldığında ($R^2 > 700$ olmak koşuluyla) Vp ve kuvars için oluşturulan, çoklu doğrusal regresyonda ise Stepwise Model-1, Model-2 ve Model-3 için oluşturulan matematiksel modellerde yüksek R^2 değerlerine ulaşılmıştır. Bu modellerden patlatılabilirlik analizlerinde; basit regresyonda Vp ($R^2 = 0,902$ MAPE = 4,88 RMSE = 10,454) ve K ($R^2 = 0,851$ MAPE = 7,60 RMSE = 12,923), çoklu regresyonda Model-1 ile basit doğrusal regresyonda Vp ile kurulan matematiksel model aynı olduğundan değerlendirmeye ikinci kez alınmamış olup Model-2 ($R^2 = 0,967$ MAPE = 3,24 RMSE = 6,079) ve Model-3 ($R^2 = 0,973$ MAPE = 3,01 RMSE = 5,507) kullanılmıştır.

3.3.4. Ultrasonik P-Dalga Hızı (Vp) İçin İstatistiksel Analiz

Ultrasonik P-Dalga Hızı (Vp) için Tablo 3.25’de verilen normal dağılım testi sonucu Shapiro-Wilk” testi Anlamlılık değerleri (Sig.) 0.05’ den büyük olduğundan tüm gruplar için “%95 güvenle veriler normal dağılım” göstermektedir.

%95 anlamlılık düzeylerinde korelasyon analizine göre P-Dalga Hızı (Vp) verileri ile diğer kaya mekaniği deney verileri arasındaki korelasyonun ilişkileri incelendiğinde; IQ ve TEBD arasında pozitif yönlü çok kuvvetli ilişki ve elastisite modülü ve plajiyoklaz içeriği ile yine pozitif yönlü kuvvetli ilişki tespit edilmiştir. Kuvars ile de negatif yönlü çok kuvvetli ilişkiler bulunmuştur (Tablo 3.26).

Tablo 3.25. Ultrasonik P-Dalga Hızı (Vp) normallik analizi

Parametre	Granit grubu	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		İstatistik	df	Sig.	İstatistik	df	Sig.
Vp	İM	0,210	5	0,200*	0,903	5	0,427
	İS	0,205	5	0,200*	0,943	5	0,690
	HS	0,228	5	0,200*	0,865	5	0,245
	HG	0,218	5	0,200*	0,970	5	0,875
	H	0,271	5	0,200*	0,931	5	0,602

df: Serbestlik derecesi, Sig.: Anlamlılık, a: Lilliefors anlamlılık düzeltmesi

Tablo 3.26. Ultrasonik P-Dalga hızı (Vp) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon

Değişken	İlişki Yönü	İlişki
Vp	Pozitif (+)	IQ
		TEBD
		Elastisite Modülü (E)
		Plajiyoklaz
		Kohezyon (c)
		Yoğunluk (ρ)
		DÇD
		Mafik Mineral
		İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)
	Negatif (-)	Kuvars
		Görünür Porozite (n)
		Poisson Oranı (v)
		Alkali Feldispat

Tablo 3.27. Ultrasonik P-Dalga hızı (Vp) basit ve çoklu regresyon analizi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken Vp		ANOVA Analizi
	Basit Doğrusal Regresyon	Uyum Testi	
TEBD	$Vp = 2,385 + 0,012 * TEBD$	$R^2 = 0,902$ $MAPE = 2,48$ $RMSE = 0,133$	F : 212,166 Sig.: 0,000
Kuvars	$Vp = 5,977 - 0,051 * K$	$R^2 = 0,853$ $MAPE = 2,93$ $RMSE = 0,160$	F : 133,200 Sig.: 0,000
Elastisite Modülü	$Vp = 2,742 + 0,027 * E$	$R^2 = 0,631$	F : 39,397 Sig.: 0,000
Plajiyoklaz	$VP = 3,700 + 0,025 * PLA$	$R^2 = 0,540$	F : 26,963 Sig.: 0,000
Kohezyon	$Vp = 2,629 + 0,087 * c$	$R^2 = 0,479$	F : 21,166 Sig.: 0,000
Görünür Porozite	$Vp = 5,499 - 1,586 * n$	$R^2 = 0,449$	F : 18,750 Sig.: 0,000
Yoğunluk	$Vp = -15,814 + 7,617 * \rho$	$R^2 = 0,385$	F : 14,402 Sig.: 0,001
Poisson Oranı	$Vp = 6,317 - 8,958 * v$	$R^2 = 0,365$	F : 13,230 Sig.: 0,000
DÇD	$Vp = 2,495 + 0,148 * DÇD$	$R^2 = 0,329$	F : 11,301 Sig.: 0,003
Alkali Feldispat	$Vp = 6,038 - 0,050 * AF$	$R^2 = 0,291$	F : 9,423 Sig.: 0,000
Mafik Mineral	$Vp = 3,577 + 0,136 * Maf$	$R^2 = 0,229$	F : 6,837 Sig.: 0,015
İçsel Sürtünme Açısı	$Vp = -1,103 + 0,090 * \phi$	$R^2 = 0,176$	F : 4,913 Sig.: 0,037
Çoklu Regresyon			
Enter Metodu	Sig. Değerleri > 0,05 (anlamsız)		
Stepwise Metodu 1. Model	$Vp = 2,385 + 0,012 * TEBD$	$R^2 = 0,902$ $MAPE = 2,48$ $RMSE = 0,133$	F : 212,166 Sig.: 0,000
Stepwise Metodu 2. Model	$Vp = 2,421 + 0,014 * TEBD - 0,087 * Maf$	$R^2 = 0,953$ $MAPE = 2,07$ $RMSE = 0,113$	F : 222,198 Sig.: 0,000

Yapılan analiz sonucu modellerin anlamlılıklarına bakıldığında; basit ve çoklu doğrusal regresyon sonucu elde edilen matematiksel modellerden sig. Değerleri $< 0,05$ olduğu tespit edilmiştir. Oluşturulmuş tüm modellerin ANOVA testi sonunda anlamlı olduğu ortaya konulmuştur. Basit doğrusal regresyon modellerine bakıldığında ($R^2 > 700$ olmak koşuluyla) TEBD ve kuvars içeriği ile oluşturulan, çoklu doğrusal regresyonda ise Stepwise Model-1 ve Model-2 için oluşturulan matematiksel modellerde yüksek R^2 değerleri çıkmıştır. Bu yüzden patlatılabilirlik analizlerinde basit doğrusal regresyonda TEBD ($R^2= 0,902$ MAPE= 2,48 RMSE= 0,133) ve K ($R^2= 0,853$ MAPE= 2,93 RMSE= 0,160) kullanılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon değerlerine bakılınca ise Model-2 ($R^2= 0,953$ MAPE= 2,07 RMSE= 0,113) için $R^2 > 700$ olduğundan patlatılabilirlik değerlendirmesinde ele alınmıştır (Tablo 3.27).

3.3.5. Elastisite Modülü (E) İçin İstatistiksel Analiz

Yapılan normal dağılım testi sonucu Shapiro-Wilk” testi anlamlılık değerleri (Sig.) 0.05' den büyük olduğundan tüm gruplar için “%95 güvenle veriler normal dağılım” göstermektedir. Aşağıdaki Tablo 3.28’de normallik testi analiz sonuçları yer almaktadır.

Tablo 3.28. Elastisite modülü (E) normallik analizi

Parametre	Granit grubu	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		İstatistik	df	Sig.	İstatistik	df	Sig.
Elastisite Modülü	İM	0,196	5	0,200*	0,954	5	0,763
	İS	0,277	5	0,200*	0,886	5	0,339
	HS	0,203	5	0,200*	0,976	5	0,912
	HG	0,145	5	0,200*	0,994	5	0,992
	H	0,236	5	0,200*	0,942	5	0,681

df: Serbestlik derecesi, Sig.: Anlamlılık, a: Lilliefors anlamlılık düzeltmesi

Normal dağılıma sahip Elastisite Modülü verileri ile diğer kaya mekaniği deney verileri arasındaki %95 anlamlılık düzeylerinde korelasyonun pozitif ve negatif yönlü ilişkileri aşağıdaki Tablo 3.29’da verilmiştir. Kuvvetli ilişkiler V_p , TEBD ve IQ ile pozitif yönlü, Poisson oranı ile de negatif yönlü tespit edilmiştir.

Tablo 3.29. Elastisite modülü (E) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon

Değişken	İlişki Yönü	İlişki
Elastisite Modülü (E)	Pozitif (+)	Vp r=0,795 p=0,000
		TEBD r=0,766 p=0,000
		IQ r=0,757 p=0,000
		Plajiyoklaz r=0,591 p=0,002
		DÇD r=0,549 p=0,004
		Yoğunluk (ρ) r=0,530 p=0,006
		İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) r=0,507 p=0,010
	Negatif (-)	Kohezyon (c) r=0,451 p=0,024
		Poisson Oranı (ν) r=-0,764 p=0,000
		Kuvars r=-0,669 p=0,000
		Görünür Porozite (n) r=-0,589 p=0,002
		Alkali Feldispat r=-0,543 p=0,005

Tablo 3.30. Elastisite modülü (E) basit ve çoklu regresyon analizi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken E		ANOVA Analizi
	Basit Doğrusal Regresyon	Uyum Testi	
P-Dalga Hızı	$E = -43,734 + 23,732 * Vp$	$R^2 = 0,631$ $MAPE = 11,48$ $RMSE = 7,546$	F: 39,397 Sig.: 0,000
TEBD	$E = 12,188 + 0,285 * TEBD$	$R^2 = 0,587$	F: 32,649 Sig.: 0,000
Poisson Oranı	$E = 134,687 - 338,058 * \nu$	$R^2 = 0,583$	F: 32,158 Sig.: 0,000
Kuvars	$E = 94,531 - 1,111 * K$	$R^2 = 0,447$	F: 18,600 Sig.: 0,000
Plajiyoklaz	$E = 43,904 + 0,608 * PLA$	$R^2 = 0,349$	F: 12,327 Sig.: 0,002
Görünür Porozite	$E = 89,827 - 41,640 * n$	$R^2 = 0,347$	F: 12,221 Sig.: 0,002
DÇD	$E = 6,792 + 4,241 * DÇD$	$R^2 = 0,302$	F: 9,943 Sig.: 0,004
Alkali Feldispat	$E = 110,695 - 1,509 * AF$	$R^2 = 0,295$	F: 9,614 Sig.: 0,005
Yoğunluk	$E = -454,281 + 194,133 * \rho$	$R^2 = 0,280$	F: 8,963 Sig.: 0,006
İçsel Sürtünme Açısı	$E = -136,355 + 3,248 * \phi$	$R^2 = 0,257$	F: 7,946 Sig.: 0,010
Kohezyon	$E = 25,748 + 1,700 * c$	$R^2 = 0,203$	F: 5,860 Sig.: 0,024
Mafik Mineral			Sig. 0,056>0,05 Anlamsız
Çoklu Regresyon			
Enter Metodu		Sig. Değerleri>0,05 (anlamsız)	
Stepwise 1. Model	Metodu $E = -43,734 + 23,732 * Vp$	$R^2 = 0,631$ $MAPE = 11,48$ $RMSE = 7,546$	F: 39,397 Sig.: 0,000
Stepwise 2. Model	Metodu $E = 35,665 + 15,675 * Vp - 197,636 * \nu$	$R^2 = 0,758$ $MAPE = 8,73$ $RMSE = 6,115$	F: 34,434 Sig.: 0,000
Stepwise 3. Model	Metodu $E = -58,546 + 31,119 * Vp - 215,472 * \nu + 0,974 * K$	$R^2 = 0,807$ $MAPE = 8,24$ $RMSE = 5,453$	F: 29,360 Sig.: 0,000

Regresyon analizi ANOVA testi sonucu modellerin anlamlılıklarına bakıldığında; basit doğrusal regresyon modellerine bakıldığında R^2 değeri 0,700'den büyük olmadığı için patlatma analizlerinde kullanılmamıştır. Çoklu doğrusal regresyonda ise Stepwise Model-2 ve Model-3 için oluşturulan matematiksel modellerde yüksek R^2 değerleri çıkmıştır. Patlatılabilirlik analizlerinde ise Model-2 ($R^2= 0,758$ MAPE= 8,73 RMSE= 6,115) ve Model-3 ($R^2= 0,807$ MAPE= 8,24 RMSE= 5,453) kullanılmıştır (Tablo 3.30).

3.3.6. Poisson Oranı (v) İçin İstatistiksel Analiz

Poisson Oranı (v) için normal dağılım testi sonucu Shapiro-Wilk” testi anlamlılık değerleri (Sig.) 0.05' den büyük olduğundan tüm gruplar için “%95 güvenle veriler normal dağılım” göstermektedir. Aşağıdaki Tablo 3.31’de normallik testi analiz sonuçları yer almaktadır.

Tablo 3.31. Poisson Oranının (v) normallik analizi

Parametre	Granit grubu	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		İstatistik	df	Sig.	İstatistik	df	Sig.
Poisson Oranı (v)	İM	0,263	5	0,200*	0,951	5	0,747
	İS	0,221	5	0,200*	0,915	5	0,501
	HS	0,127	5	0,200*	0,999	5	1,000
	HG	0,287	5	0,200*	0,914	5	0,490
	H	0,197	5	0,200*	0,943	5	0,685

df: Serbestlik derecesi, Sig.: Anlamlılık, a: Lilliefors anlamlılık düzeltmesi

Tablo 3.32. Poisson Oranı (v) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon

Değişken	İlişki Yönü	İlişki
Poisson Oranı (v)	Pozitif (+)	Kuvars $r=0,602$ $p=0,001$
		Görünür Porozite (n) $r=0,459$ $p=0,021$
		Alkali Feldispat $r=0,414$ $p=0,040$
	Negatif (-)	Elastisite Modülü (E) $r=-0,764$ $p=0,000$
		TEBD $r=-0,635$ $p=0,001$
		Vp $r=-0,604$ $p=0,001$
		IQ $r=-0,549$ $p=0,004$
		Plajiyoklaz $r=-0,470$ $p=0,018$
		Kohezyon (c) $r=-0,462$ $p=0,020$
		DÇD $r=-0,435$ $p=0,030$
		Yoğunluk (p) $r=-0,424$ $p=0,035$

Poisson Oranı (ν) verileri ile diğer kaya mekanik deney verileri arasındaki korelasyonu, %95 anlamlılık düzeylerinde ilişkiler Tablo 3.32’de verilmiştir. Korelasyon değerleri incelendiğinde sadece Elastisite Modülü ile negatif yönlü kuvvetli bir ilişki vardır.

Tablo 3.33. Poisson oranı (ν)’nın basit ve çoklu regresyon analizi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken ν		ANOVA Analizi
	Basit Doğrusal Regresyon	Uyum Testi	
Elastisite Modülü	$\nu = 0,327 - 0,002 * E$	$R^2 = 0,583$ $MAPE = 8,22$ $RMSE = 0,024$	F: 32,158 Sig.: 0,000
TEBD	$\nu = 0,313 - 0,001 * TEBD$	$R^2 = 0,403$	F: 15,536 Sig.: 0,001
P-Dalga Hızı	$\nu = 0,402 - 0,041 * Vp$	$R^2 = 0,365$	F: 13,230 Sig.: 0,001
Kuvars	$\nu = 0,153 + 0,002 * K$	$R^2 = 0,362$	F: 13,049 Sig.: 0,001
Kohezyon	$\nu = 0,302 - 0,004 * c$	$R^2 = 0,214$	F: 6,250 Sig.: 0,020
Görünür Porozite	$\nu = 0,171 + 0,073 * n$	$R^2 = 0,210$	F: 6,128 Sig.: 0,021
DÇD	$\nu = 0,318 - 0,008 * DÇD$	$R^2 = 0,189$	F: 5,358 Sig.: 0,030
Yoğunluk	$\nu = 1,154 - 0,351 * \rho$	$R^2 = 0,180$	F: 5,049 Sig.: 0,035
Alkali Feldispat	$\nu = 0,136 + 0,003 * AF$	$R^2 = 0,172$	F: 4,762 Sig.: 0,040
Mafik Mineral			Sig. 0,058 > 0,05 Anlamsız
İçsel Sürtünme Açısı			Sig. 0,057 > 0,05 Anlamsız
Çoklu Regresyon			
Enter Metodu	Sig. Değerleri>0,05 (anlamsız)		
Stepwise Metodu 1. Model	$\nu = 0,327 - 0,002 * E$	$R^2 = 0,583$ $MAPE = 8,22$ $RMSE = 0,024$	F: 32,158 Sig.: 0,000

Basit ve çoklu doğrusal regresyon sonucu elde edilen matematiksel modellerin R^2 değerleri 0,700’den küçük olduğu için hepsi ret edilmiştir (Tablo 3.33).

3.3.7. Yoğunluk (ρ) İçin İstatistiksel Analiz

Yoğunluk (ρ) için normal dağılım testi sonucu Shapiro-Wilk” testi Anlamlılık değerleri (Sig.) 0.05' den büyük olduğundan tüm gruplar için “%95 güvenle veriler normal dağılım” göstermektedir (Tablo 3.34).

Tablo 3.34. Yoğunluk (ρ) normallik analizi

Parametre	Granit grubu	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk		
		İstatistik	df	Sig.	İstatistik	df Sig.
ρ	İM	0,320	5	0,104	0,816	5 0,109
	İS	0,178	5	0,200*	0,980	5 0,936
	HS	0,222	5	0,200*	0,923	5 0,549
	HG	0,198	5	0,200*	0,921	5 0,538
	H	0,189	5	0,200*	0,941	5 0,670

df: Serbestlik derecesi, Sig.: Anlamlılık, a: Lilliefors anlamlılık düzeltmesi

Yoğunluk (ρ) verileri ile diğer kaya mekaniği deney verileri arasındaki korelasyonu, %95 anlamlılık düzeylerinde pozitif ve negatif yönlü ilişkileri Tablo 3.35’de verilmiştir. Veriler incelendiğinde Mafik Mineral içeriği ve Dolaylı Çekme Dayanımı ile diğer ilişkilere nazaran daha kuvvetli ve pozitif ilişkiye sahiptir.

Tablo 3.35. Yoğunluk (ρ) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon

Değişken	İlişki Yönü	İlişki
ρ	Pozitif (+)	Mafik Mineral
		DÇD
		TEBD
		Kohezyon (c)
		IQ
		Plajiyoklaz
		Vp
	Negatif (-)	Elastisite Modülü (E)
		Görünür Porozite (n)
		Kuvars
		Alkali Feldispat
		Poisson Oranı (v)

Regresyon analizi ANOVA testi sonucu modellerin anlamlılıklarına bakıldığında; basit doğrusal ve çoklu doğrusal regresyon sonucu elde edilen matematiksel modellerden

anlamlı (sig.<0,05) olanları dikkate alındığında yalnızca çoklu regresyonda Model-2 gerekli koşul olan $R^2 > 0,700$ koşulunu sağlamaktadır. Model-2 ($R^2 = 0,889$ MAPE= 0,36 RMSE= 0,011) hem yüksek R^2 değeri hem de düşük MAPE, RMSE değerine sahip olmasından dolayı patlatılabilirlik değerlendirmesinde ele alınmıştır (Tablo 3.36).

Tablo 3.36. Yoğunluk (ρ) için basit ve çoklu regresyon analizi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken ρ		Anova Analizi
	Basit Doğrusal Regresyon	Uyum Testi	
Mafik Mineral	$\rho = 2,538 + 0,019 * Maf$	$R^2 = 0,697$ $MAPE = 0,57$ $RMSE = 0,019$	F: 52,901 Sig.: 0,000
DÇD	$\rho = 2,427 + 0,018 * DÇD$	$R^2 = 0,691$ $MAPE = 0,67$ $RMSE = 0,020$	F: 51,396 Sig.: 0,000
TEBD	$\rho = 2,511 + 0,001 * TEBD$	$R^2 = 0,613$	F: 36,434 Sig.: 0,000
Görünür Porozite	$\rho = 2,749 - 0,145 * n$	$R^2 = 0,563$	F: 29,643 Sig.: 0,000
Kohezyon	$\rho = 2,500 + 0,007 * c$	$R^2 = 0,508$	F: 23,769 Sig.: 0,000
Kuvars	$\rho = 2,740 - 0,003 * K$	$R^2 = 0,464$	F: 19,899 Sig.: 0,000
Alkali Feldispat	$\rho = 2,810 - 0,005 * AF$	$R^2 = 0,421$	F: 16,734 Sig.: 0,000
Plajiyoklaz	$\rho = 2,597 + 0,002 * PLA$	$R^2 = 0,415$	F: 16,335 Sig.: 0,001
P-Dalga Hızı	$\rho = 2,422 + 0,051 * Vp$	$R^2 = 0,385$	F: 14,402 Sig.: 0,001
Elastisite Modülü	$\rho = 2,555 + 0,001 * E$	$R^2 = 0,280$	F: 8,963 Sig.: 0,006
Poisson Oranı	$\rho = 2,755 - 0,512 * v$	$R^2 = 0,180$	F: 5,049 Sig.: 0,035
İçsel Sürtünme Açısı			Sig. 0,258 > 0,05 Anlamsız
Çoklu Regresyon			
Enter Metodu	Sig. Değerleri>0,05 (anlamsız)		
Stepwise Metodu 1. Model	$\rho = 2,538 + 0,019 * Maf$	$R^2 = 0,697$ $MAPE = 0,57$ $RMSE = 0,019$	F: 52,901 Sig.: 0,000
Stepwise Metodu 2. Model	$\rho = 2,634 + 0,015 * Maf - 0,093 * n$	$R^2 = 0,889$ $MAPE = 0,36$ $RMSE = 0,011$	F: 87,982 Sig.: 0,000

3.3.8. Kohezyon (c) İçin İstatistiksel Analiz

Kohezyon (c) için Mohr zarfindan ve yapılan hesaplamadan elde edilen veriler ışığında One-Sample Kolmogorov-Smirnov Testine göre Anlamlılık değerleri (Sig.) 0,05' ten büyük olduğundan “%95 güvenle veriler normal dağılım” gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.37).

Kohezyon (c) verilerinden korelasyon ve regresyon analizleri için deney verileri ile çizilen Mohr zarflarından elde edilen veriler kullanılmıştır. %95 anlamlılık düzeylerinde pozitif ve negatif yönlü ilişkilerinin korelasyonu, aşağıdaki Tablo 3.38’de verilmiştir. Tablo 3.38’e göre Kohezyon ile Mafik Mineral içeriği, TEBD ve Yoğunluk arasında pozitif yönlü kuvvetli ilişki mevcuttur. Kuvars içeriği ile de negatif yönlü ilişki mevcuttur.

Tablo 3.37. Kohezyon (c) normallik analizi (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)

Özellikler		Kohezyon (Deney)	Kohezyon (Hesap)
N		5	5
Normal Parametreler ^{a,b}	Ortalama	18,8960	19,5240
	Standart Sapma	3,68246	3,82032
Most Extreme Differences	Kesin	0,202	0,229
	Pozitif	0,202	0,159
	Negatif	-0,187	-0,229
Kolmogorov-Smirnov Z		0,452	0,512
Anlamlılık Değeri (Sig.)		0,987	0,956

a) Test dağılımı Normaldir, b) Veriden hesaplanmıştır.

Yapılan regresyon analizi ANOVA testi sonucu anlamlı modellerin $R^2 > 0,700$ olan basit doğrusal regresyonda Mafik Mineral içeriği ile oluşan model ile çoklu doğrusal regresyonda ise Stepwise Model-1, Model-2 ve Model-3 yüksek R^2 değerlerine sahiptirler ve Model-1 basit doğrusal regresyon ile aynıdır. Bu matematiksel modellerden basit doğrusal regresyon ($R^2 = 0,744$ MAPE= 8,77 RMSE= 1,668) ve çoklu doğrusal regresyonda Model-2 ($R^2 = 0,866$ MAPE= 6,44 RMSE= 1,207) ve Model-3 ($R^2 = 0,999$ MAPE= 0,30 RMSE= 0,080) patlatılabilirlik için kullanılmıştır (Tablo 3.39).

Tablo 3.38. Kohezyon ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon

Değişken	İlişki Yönü	İlişki
Kohezyon (c)	Pozitif (+)	Mafik Mineral
		TEBD
		Yoğunluk (ρ)
		Vp
		IQ
		DÇD
		Elastisite Modülü (E)
	Negatif (-)	Kuvars
		Poisson Oranı (ν)

Tablo 3.39. Kohezyon (c) basit ve çoklu regresyon analizi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken c		ANOVA Analizi
	Basit Doğrusal Regresyon	Uyum Testi	
Mafik Mineral	$c = 8,846 + 1,933 * Maf$	$R^2 = 0,744$ $MAPE = 8,77$ $RMSE = 1,668$	F: 66,770 Sig.: 0,000
TEBD	$c = 6,171 + 0,079 * TEBD$	$R^2 = 0,648$	F: 42,346 Sig.: 0,000
Kuvars	$c = 29,638 - 0,326 * K$	$R^2 = 0,547$	F: 27,764 Sig.: 0,000
Yoğunluk	$c = -163,813 + 69,255 * \rho$	$R^2 = 0,508$	F: 23,769 Sig.: 0,000
P-Dalgı Hızı	$c = -4,563 + 5,479 * Vp$	$R^2 = 0,479$	F: 21,166 Sig.: 0,000
DÇD	$c = 6,511 + 1,028 * DÇD$	$R^2 = 0,253$	F: 7,705 Sig.: 0,010
Poisson Oranı	$c = 31,217 - 54,232 * \nu$	$R^2 = 0,214$	F: 6,250 Sig.: 0,020
Elastisite Modülü	$c = 11,985 + 0,119 * E$	$R^2 = 0,203$	F: 5,860 Sig.: 0,024
Plajiyoklaz			Sig.: 0,101 > 0,05 Anlamsız
Alkali Feldispat			Sig. 0,478 > 0,05 Anlamsız
İçsel Sürtünme Açısı			Sig. 0,324 > 0,05 Anlamsız
Görünür Porozite			Sig. 0,08 > 0,05 Anlamsız
Çoklu Regresyon			
Enter Metodu	Sig. Değerleri > 0,05 (anlamsız)		
Stepwise Metodu		$R^2 = 0,744$ $MAPE = 8,77$ $RMSE = 1,668$	F: 66,770 Sig.: 0,000
1. Model	$c = 8,846 + 1,933 * Maf$		
Stepwise Metodu		$R^2 = 0,866$ $MAPE = 6,44$ $RMSE = 1,207$	F: 70,860 Sig.: 0,000
2. Model	$c = 17,143 + 1,470 * Maf - 0,179 * K$		
Stepwise Metodu		$R^2 = 0,999$ $MAPE = 0,30$ $RMSE = 0,080$	F: 12143,235 Sig.: 0,000
3. Model	$c = 9,343 + 1,470 * Maf - 0,299 * K + 0,336 * AF$		

3.3.9. İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) İçin İstatistiksel Analiz

İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) için Mohr zarfından ve hesaplamadan elde edilen veriler ışığında yapılan One-Sample Kolmogorov-Smirnov Testi sonucunda Anlamlılık değerleri (Sig.) 0,05' den büyük olduğundan “%95 güvenle veriler normal dağılım” gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.40).

Tablo 3.40. İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) normallik analizi (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)

Özellikler		İçsel Sürtünme Açısı (Deney)	İçsel Sürtünme Açısı (Hesap)
N		5	5
Normal Parametreler ^{a,b}	Ortalama	59,8000	60,6660
	Standart Sapma	2,16795	1,79054
Most Extreme Differences	Kesin	0,263	0,189
	Pozitif	0,263	0,182
	Negatif	-0,156	-0,145
Kolmogorov-Smirnov Z		0,589	0,407
Anlamlılık Değeri (Sig.)		0,879	0,996

a) Test dağılımı Normaldir. b) Veriden hesaplanmıştır.

Kohezyon (c) verilerinde olduğu gibi içsel sürtünme açısı korelasyon ve regresyon analizleri için deney verileri ile çizilen Mohr zarflarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Korelasyon tablosu incelendiği zaman plajiyoklaz içeriği ile pozitif diğer yandan alkali feldispat içeriği ve görünür porozite ile negatif yönlü kuvvetli ilişki içerisindedir (Tablo 3.41).

Tablo 3.41. İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) ile diğer kaya mekaniği deneyleri arasındaki korelasyon

Değişken	İlişki Yönü	İlişki
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	Pozitif (+)	Plajiyoklaz
		IQ
		Elastisite Modülü (E)
		Vp
		DÇD
	Negatif (-)	Alkali Feldispat
		Görünür Porozite (n)
		Kuvars

Tablo 3.42. İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) çoklu regresyon analizi

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken ϕ		ANOVA Analizi
	Basit Doğrusal Regresyon	Uyum Testi	
Alkali Feldispat	$\phi = 72,050 - 0,350 * AF$	$R^2 = 0,652$ $MAPE = 1,74$ $RMSE = 1,145$	F: 43,015 Sig.: 0,000
Plajiyoklaz	$\phi = 57,027 + 0,121 * PLA$	$R^2 = 0,564$	F: 29,785 Sig.: 0,000
Görünür Porozite	$\phi = 65,869 - 7,910 * n$	$R^2 = 0,515$	F: 24,375 Sig.: 0,000
Elastisite Modülü	$\phi = 55,225 + 0,079 * E$	$R^2 = 0,257$	F: 7,946 Sig.: 0,010
Kuvars	$\phi = 63,571 - 0,114 * K$	$R^2 = 0,195$	F: 5,555 Sig.: 0,027
P-Dalga Hızı	$\phi = 51,431 + 1,955 * Vp$	$R^2 = 0,176$	F: 4,913 Sig.: 0,037
DÇD	$\phi = 53,955 + 0,485 * DÇD$	$R^2 = 0,162$	F: 4,458 Sig.: 0,046
TEBD			Sig. 0,111 > 0,05 Anlamsız
Yoğunluk			Sig. 0,258 > 0,05 Anlamsız
Poisson Oranı			Sig. 0,057 > 0,05 Anlamsız
Mafik Mineral			Sig. 0,346 > 0,05 Anlamsız
Kohezyon			Sig. 0,324 > 0,05 Anlamsız
Çoklu Regresyon			
Enter Metodu	Sig. Değerleri > 0,05 (anlamsız)		
Stepwise Metodu 1. Model	$\phi = 72,050 - 0,350 * AF$	$R^2 = 0,652$ $MAPE = 1,74$ $RMSE = 1,145$	F: 43,015 Sig.: 0,000
Stepwise Metodu 2. Model	$\phi = 77,643 - 0,414 * AF - 0,643 * Maf$	$R^2 = 0,867$ $MAPE = 1,02$ $RMSE = 0,707$	F: 71,720 Sig.: 0,000
Stepwise Metodu 3. Model	$\phi = 73,728 - 0,359 * AF - 0,730 * Maf + 0,042 * E$	$R^2 = 0,915$ $MAPE = 0,74$ $RMSE = 0,567$	F: 75,043 Sig.: 0,000
Stepwise Metodu 4. Model	$\phi = 73,453 - 0,243 * AF - 0,799 * Maf + 0,035 * E - 3,937 * n$	$R^2 = 0,942$ $MAPE = 0,58$ $RMSE = 0,464$	F: 81,840 Sig.: 0,000

Basit doğrusal regresyon analizi sonucu çıkan anlamlı değerler içerisinde R^2 değeri 0,700 'ün üzerinde olan olmadığı için bu modeller patlatılabilirlikte kullanılmamıştır. Çoklu doğrusal regresyon sonrası ise elde edilen modellerden üç tanesi yüksek uyum testi sonuçlarına sahip oldukları için patlatılabilirlikte kullanılmıştır (Tablo 3.42).

3.4. Kaya Mekaniği ve Mineralojik Özelliklerin Patlatılabilirliğe Etkisi

Tarihsel olarak bakıldığında patlatılabilirlik kavramı kayacın özellikleri, patlayıcı özellikleri ve patlatma tasarımı ile ilgilidir. Literatürde; farklı çalışmalarda, farklı kayalar için patlatılabilirliğin hesaplanabilmesi için öneri ve formüller mevcuttur. Bu çalışma kapsamında, literatürde öneri veya formül olarak kabul bulmuş 20 farklı patlatılabilirlik çalışması incelenmiştir (Tablo 3.43). Bunlar arasından kaya mekaniği verileri ile ilgili formül belirten araştırmacılar bu tez kapsamında laboratuvar çalışmasından elde edilen veriler ile kullanılmak üzere değerlendirilmiştir. Geriye kalan öneriler sayısal olarak ifade edilemediği için değerlendirme kapsamına alınmamıştır. Fakat bu çalışmalarda da parametre olarak sunulan veriler listelenmiş ve kayaç özelliklerinin etkileri ifade edilmiştir.

Tablo 3.43. Patlatılabilirlik ile ilgili Literatür Özeti

Fraenkel (1954)	Maksimum dilim kalınlığı, Delik derinliği, Şarj yüksekliği, Şarj çapı
Hino (1959)	Basma dayanımı, Çekme dayanımı
Hansen (1968)	Dilim kalınlığı, Serbest yüzeyin yüksekliği, Kaya sabiti
Sassa ve Ito (1974)	Çatlak sıklığı, Kaya mekaniği değerleri
Heinen ve Dimock (1976)	Sonik hız, Patern boyutu
Langefors (1978)	Deneme atışları ile katsayı
Prailliet (1980)	Dilim kalınlığı, Basamak yüksekliği, Şarj yoğunluğu, Detonasyon hızı, Sıkılama yüksekliği, Basma dayanımı, Donanım boyutuna bağlı bileşenler
Borquez (1981)	RQD, Alterasyon katsayısı
Ashby (1981)	Sürtünme açısı, Pürüzlülük açısı, Çatlak sıklığı
Leighton vd. (1982)	RQI (Delicinin hidrolik basıncı, Delgi süresi, Patlatma deliği uzunluğu), ANFO'nun özgül şarj
Rakishev (1982)	Kritik çatlak hızı, Yerçekimi ivmesi, Çatlak boşluğunun açılma derecesi, Doğal yapısal birimin ortalama çapı, Boyuna dalga hızı, Kaya Yoğunluğu, Basma Dayanımı, Çekme Dayanımı
Lopez ve Jimeno (1984)	Penetrasyon hızı, Bit üzerindeki baskı ağırlığı Delgi hızı, Delgi çapı
Lilly (1986)	RMD(Kaya kütlesi tanımı), JPS(Ekleme düzlem açıklığı) , JPO(Ekleme düzlem yönelimi), Özgül ağırlık etkisi (Kayanın Özgül Ağırlığı), Mohs sertliği
Ghose (1988)	Yoğunluk oranı, Süreksizlik açıklığı oranı, Nokta Yük Dayanım İndeksi Oranı, Ekleme düzlem yönelimi oranı, Düzeltme faktörü 1 (serbest, çevrelenmiş) , Düzeltme faktörü 2 (Delik derinliği/Dilim kalınlığı)
Gupta vd. (1990)	Geçerli dilim kalınlığı Protodyakonov dayanım indeksi Basma dayanımı, Elastisite modülü
JKMRC (1996)	Dayanım, Yoğunluk, Elastisite modülü, Blok boyutu Yapı, Hedef parçalanma boyutu, Have, Kısıtlılık, Ölçek Su, Dayanım, Kırılma, Have Düzenleyici, Özgül şarj
Han vd. (2000)	Blok içindeki toplam çatlak uzunluğu Blok içindeki ortalama çatlak uzaklığı Kayanın dinamik basma dayanımı Kayanın dinamik elastisite modülü Nitelsiz blok yüzdesi, Ortalama parça boyutu

Tablo 3.43'ün devamı.

Rustan (2010)	Akustik Empedans, Kaya yapısı ve süreksizliklerin sürtünme özellikleri Kaya kütlesinin su içeriği
Gokhale (2011)	Anizotropi indeksi Foliasyona paralel nemli kaya sonik hızı Foliasyona normal nemli kaya sonik hızı Nemli kayanın yoğunluğu Patlayıcının şarj yoğunluğu Patlayıcının detonasyon hızı
Sawmliana ve Pal Roy (2012)	Yoğunluk, Tabaka kalınlığı, TEBD Katta ortaya çıkan tavan alanı Rib pillarların sayısı Tabaka yükündeki artış, Serbest yüzeylerin sayısı

Tablo 3.43 incelendiğinde, Hino (1959), Sassa ve Ito (1974), Heinen ve Dimock (1976), Praillet (1980), Ashby (1981), Rakishev (1982), Lilly (1986), Ghose (1988), Gupta vd. (1990), JKMRC (1996), Han vd. (2000), Rustan (2010), Gokhale (2011), Sawmliana ve Pal Roy (2012) olmak üzere 20 çalışmanın 14'ünde araştırmacılar kaya mekaniği deneylerinden elde edilen verileri ışığında kayacın mekanik özelliklerinin doğrudan veya dolaylı olarak patlatılabilirliği etkilediğini ortaya koymuşlardır. Aşağıdaki Tablo 3.44'de bu araştırmacılar tarafından kullanılan kaya mekaniği deney parametreleri belirtilmiştir.

Tablo 3.44. Patlatılabilirlikte kaya mekaniği deney parametrelerini kullanan araştırmacılar

Parametre	Araştırmacı
Basma Dayanımı	Hino (1959), Praillet (1980), Rakishev (1982), Ghose (1988) Gupta vd. (1990), JKMRC (1996), Han vd. (2000), Sawmliana ve Pal Roy (2012)
Çekme Dayanımı	Hino (1959), Rakishev (1982)
Boyuna P-Dalga Hızı	Heinen ve Dimock (1976), Rakishev (1982), Rustan (2010), Gokhale (2011)
İçsel Sürtünme Açısı	Ashby (1981)
Yoğunluk	Ashby (1981), Rakishev (1982), Lilly (1986), Ghose (1988), JKMRC (1996), Agne Rustan (2010), Gokhale (2011), Sawmliana ve Pal Roy (2012)
Elastisite Modülü	Gupta vd. (1990), JKMRC (1996), Han vd. (2000)

Bu çalışmada; literatürde formülle belirtilen çalışmalardan yararlanarak, Karadeniz Bölgesi granitlerinin kaya mekaniği deneyleri ve petrografik incelemelerinden elde edilen verilerin patlatılabilirlik formüllerine uygulanarak doğrudan patlatılabilirlik değerleri

hesaplanmıştır. Daha sonra ilgili parametrelerin yerlerine regresyon analizi sonucu ortaya çıkan matematiksel modeller konularak patlatılabilirliğe doğrudan ve dolaylı olarak etki eden parametreler test edilmiştir. Çıkan sonuçların RMSE ve MAPE değerlerine dayanılarak değerlendirme yapılmıştır.

Yapılan çalışmalarda kullanılan parametreler belirlenirken öncelikle bazı ilkeler belirlenmiştir. Bu ilkeler;

1. Birden fazla parametre varsa tek tek etkilerinin anlaşılabilmesi için her seferinde yalnızca bir parametre ve ona dolaylı etki eden diğer parametreler regresyon analizinde uygulanmıştır.
2. Değerler için Granitleri temsil eden ortalama değerler kullanılmıştır.
3. IQ değeri P dalga hızından türetildiği için yani deneysel bir veri olmadığı için regresyon modellerine konulmamıştır.
4. Minerallerin oluşumu doğal bir yoldan olduğu için model tanımlamada doğrudan ele alınmış olup bağımlı değişken olarak değerlendirilmemiştir ve yerlerine herhangi bir model konulmamıştır.

Yukarıda belirtilen ilkeler doğrultusunda ilişkiler incelenmiş ve ortaya çıkan sonuçların doğrudan hesaplanan ile aralarındaki hata analizleri yapılarak modellerin başarıları ispatlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda amaç, patlatılabilirliğe etkisi olan parametrelerin tek başına değil birçok yönden araştırılması gerekliliğinin ortaya konulmasıdır. Etkisi ihmal edilen parametrelerinde etkilerinin olduğu istatistiksel olarak ispatlanmıştır. Dyno Nobel (2010) patlatma ve patlayıcı klavuzunda sert yani dayanımı yüksek kayalar için özgül şarj değeri $0,7 - 0,8 \text{ kg/m}^3$ olarak önerilmiştir.

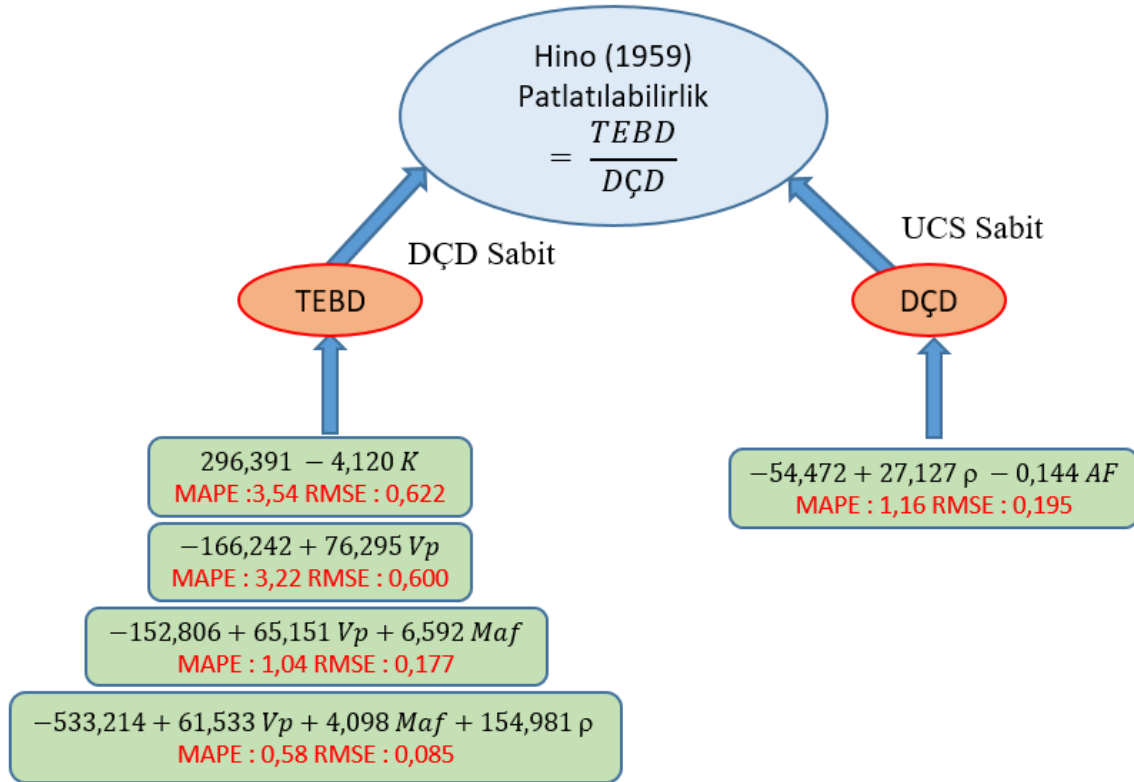
3.4.1. Hino (1959)'a Göre Patlatılabilirlik

Hino (1959) tarafından yapılan çalışmada, kaya mekaniği parametrelerinden basma ve çekme dayanımını kullanılmıştır. Burada ispat edilmek istenilen, Hino (1959)' nun denklemi dikkate alındığında var olan parametrelerin değerleri ile hesaplanan katsayı değeri ve regresyon modeli sonucu elde edilen parametreler yardımıyla hesaplanan katsayı₁₀ değerinin ne derece yakın olduğudur. Bu nedenle, bu çalışmada dayanım parametreleri yerlerine konularak patlatılabilirlik üzerine doğrudan etkisi ve sonrasında basma dayanımını ifade

eden yüksek R^2 'ye sahip regresyon modelleri ile dolaylı etki eden parametreler değerlendirilmiştir (Tablo 3.45 ve Ek Tablo 3).

Tablo 3.45. Hino (1959)'ya göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yünden hesaplanması.

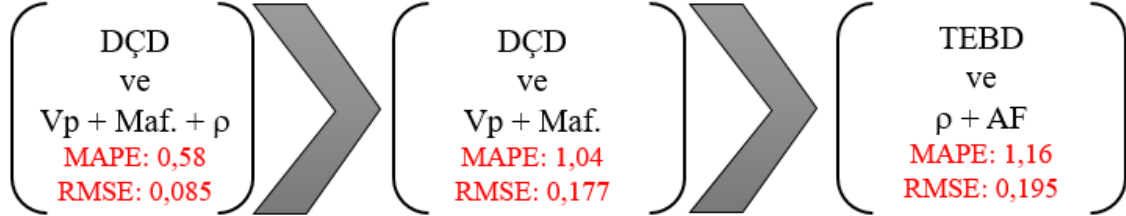
Numune adı	Doğrudan Hesap	Dolaylı Hesap				
		DÇD sbt			TEBD sbt	
		TEBD			DÇD	
İM	14,502	15,471	15,278	14,288	14,422	14,163
İS	9,807	9,685	9,847	9,763	9,880	9,885
HS	13,702	14,053	13,752	13,785	13,607	13,727
HG	14,214	14,118	14,609	14,526	14,339	14,097
H	14,113	13,192	13,094	14,039	14,104	14,347
Uyum Analizi	RMSE	0,622	0,600	0,177	0,085	0,195
	MAPE	3,54	3,22	1,04	0,58	1,16



Şekil 3.20. Hino (1959)'ya göre patlatılabilirlik ile regresyon modelleri

Şekil 3.20 incelendiğinde ortaya çıkan sonuca göre Hino (1959)'nun denklemini doğrudan etkileyen parametrelerin TEBD ve DÇD olduğu, dolaylı etkileyen parametrelerin

ise K, Vp, Maf, ρ ve AF olduğu görülmektedir. Uyum analizi sonuçları dikkate alındığında Vp, mafik mineral içeriği ve yoğunluk öncelikli olmak üzere kuvars içeriği ve alkali feldispat içeriği de patlatılabilirliği etkilemektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Hino (1959)'ya göre en iyi uyum analizi sonucunu veren modeller

3.4.2. Ashby (1981)'ye Göre Patlatılabilirlik

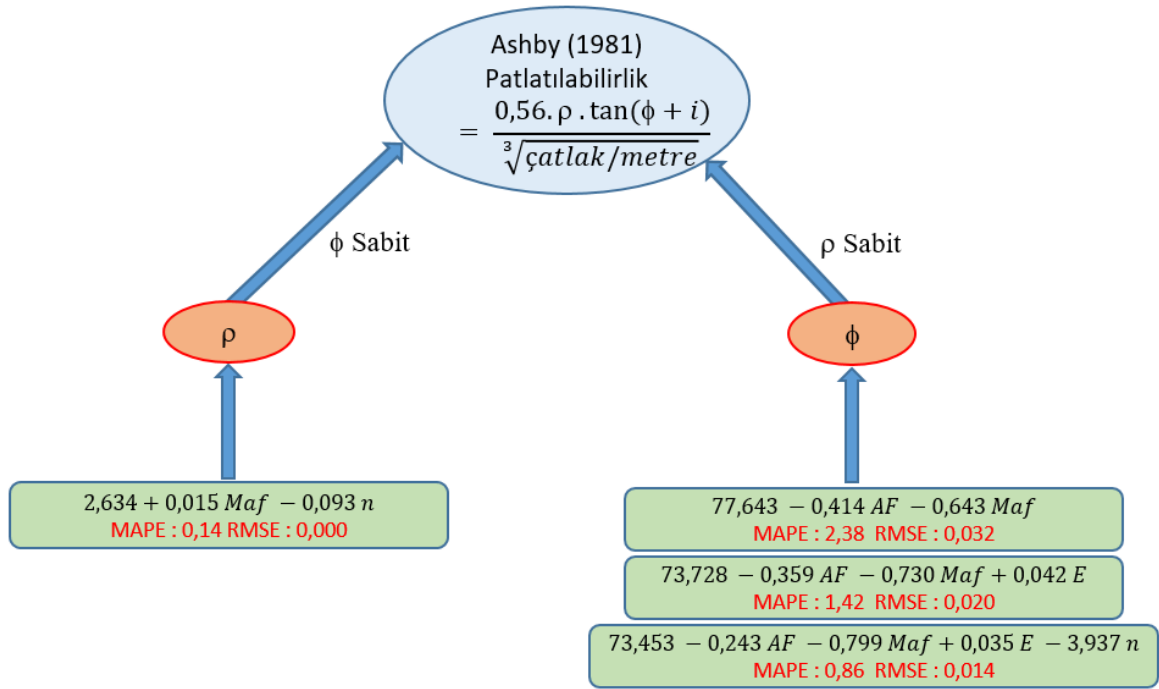
Ashby (1981)'nin denkleminin Hino (1959)'dan farkı doğrudan özgül şarj hesaplamasıdır. Çalışmasında sunduğu patlatılabilirlik denklemi dikkate alındığında, yoğunluk, içsel sürtünme açısı ve çatlak sıklığını kullanmıştır. Bu denklemde Ashby (1981) patlatılabilirliği süreksizlikler ve tanelerin kendi arasındaki içsel parametreleri dikkate alarak açıklamaya çalışmıştır. Yoğunluk ve içsel sürtünme açısı birer parametre olup bunlar doğrudan yerlerine koyularak diğer kısımlar sabit kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır (Tablo 3.46 ve Ek Tablo 4). Sabit kabul edilen değerlerden pürüzlülük açısı içsel sürtünme açısının içinde değerlendirilmişken çatlak sıklığında çalışmasında verdiği sağlam kayaca geçiş bölgesi olan 10 adet kabul edilmiştir.

Tablo 3.46. Ashby (1981)'ye göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yünden hesaplanması.

Numune	Doğrudan Hesap (kg/m ³)	Dolaylı Hesap				
		İçsel Sürtünme Açısı sbt		Yoğunluk sbt		
		Yoğunluk (kg/m ³)		İçsel Sürtünme Açısı (kg/m ³)		
İM	1,347	1,346		1,326	1,338	1,344
İS	1,177	1,178		1,205	1,188	1,179
HS	1,049	1,048		1,084	1,075	1,068
HG	1,134	1,137		1,085	1,101	1,110
H	1,215	1,217		1,219	1,216	1,215

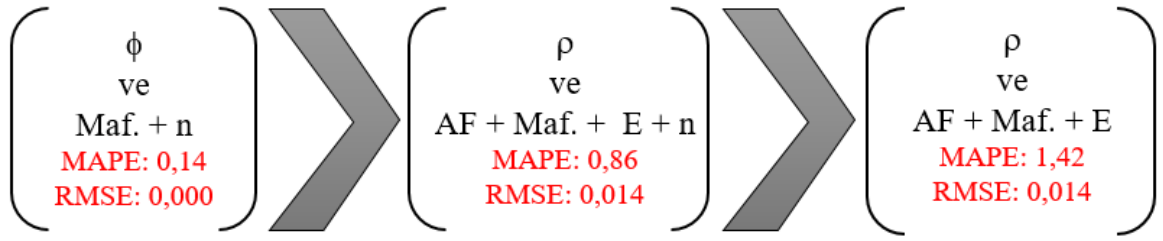
Uyum	RMSE	0,000	0,032	0,020	0,014
Analizi	MAPE	0,14	2,38	1,42	0,86

Doğrudan hesaplandığı zaman çalışmadaki granitler için 1,0 - 1,3 kg/m³ arasında değişmekte olduğu hesaplanmıştır. Regresyon modelleri ile değerlendirildiğinde hesaplanan özgül şarj miktarı yine doğrudan hesaplamada olduğu gibi 1,0 - 1,3 kg/m³ arasında değişmekte olup Dyno Nobel (2010) tarafından belirtilen özgül şarj (0,7 - 0,8 kg/m³) değerinin üzerindedir.



Şekil 3.22. Ashby (1981)'ye göre patlatılabilirlik ile regresyon modelleri.

Tablo 3.46'daki değerlerden de anlaşılacağı üzere; Ashby (1981)'nin çalışmasında kullanılan yoğunluk ve içsel sürtünme açısı değerleri yerine regresyon modelleri konulduğunda ortaya çıkan uyum analizi (RMSE ve MAPE) değerleri mükemmele yakındır. Şekil 3.22'den net anlaşılacağı üzere ρ ve ϕ açısı doğrudan etkilemekteyken, Maf, n, AF ve E dolaylı bir şekilde patlatılabilirliği etkilemektedir. Alkali Feldispat içeriği, Mafik Mineral içeriği, Elastisite Modülü ve Görünür Porozite değerlerinin çoklu regresyondaki MAPE ve RMSE değerlerine bakıldığında kuvvetli bir şekilde patlatılabilirlik üzerine etkisinin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Ashby (1981)'ye göre en iyi uyum analizi sonucunu veren modeller

3.4.3. Rakishev (1982)'e Göre Patlatılabilirlik

Rakishev (1982) tarafından yapılan çalışmada, birçok kayacın mekanik özelliklerinin patlatılabilirlik üzerine etkisi irdelenmiş ve çatlatma için gereken kritik bir hız hesaplanılmaya çalışılmıştır. Hesapladığı hıza göre kayacın patlatılabilirliğini açıklamaya çalışmıştır.

Rakishev (1982); önerdiği formülde tez kapsamında ölçtüğümüz; basınç dayanımı, çekme dayanımı, yoğunluk ve ultrasonik P-dalga hızını kullanmıştır. Tez kapsamındaki çalışmada, bu parametrelerden hangisi kullanılıyorsa diğerleri sabit tutularak yani yukarıda belirtilen ilkelere uygun olarak patlatılabilirlik değerleri hesaplanmıştır. Kullanılan modellerin anlamlılık testleri Ek Tablo 3 ve Ek Tablo 4'te verilmiştir. Rakishev (1982)'in yapmış olduğu çalışmada granodiyorit kayaçlar için verdiği değerlerden hesaplanarak elde edilen ortalama k için 0,964, g için 9,807 m/s² ve ortalama dn için 0,51 m alınmıştır. Yapılan tahmin ve gerçek değerler arasında RMSE ve MAPE değerleri hesaplanarak uyum iyiliği analizleri yapılmıştır (Tablo 3.47 ve 3.48).

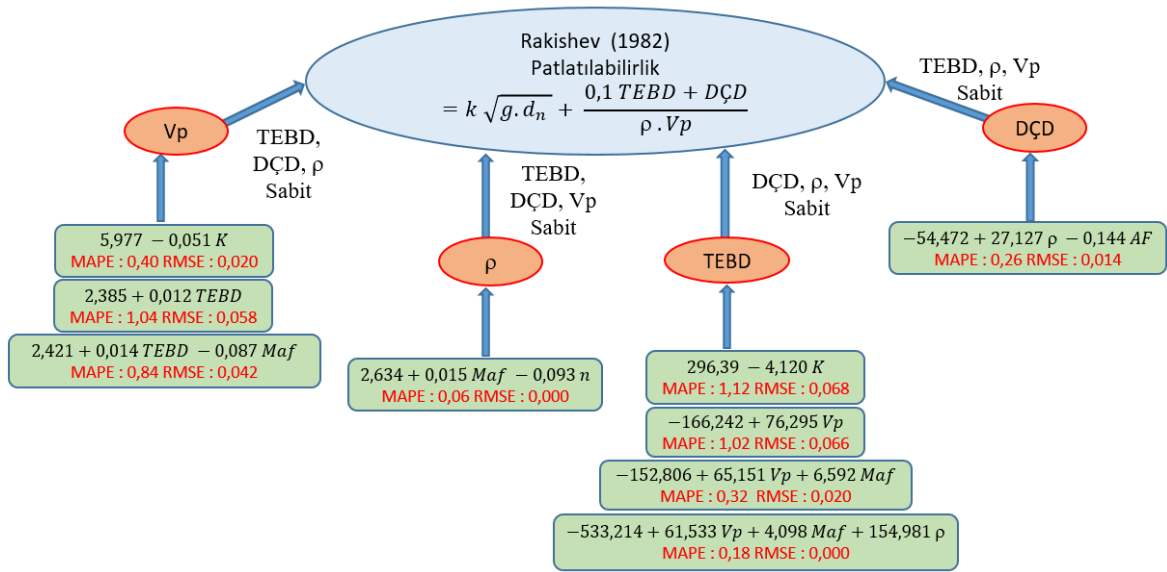
Tablo 3.47. Rakishev (1982)'e göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yönden hesaplanması (a)

Numune adı	Doğrudan Hesap (km/s)	Dolaylı Hesap				
		TEBD, Vp, DÇD sbt Yoğunluk (km/s)	ρ, Vp, DÇD sbt TEBD (km/s)			
İM	4,635	4,636	4,733	4,713	4,613	4,627
İS	4,531	4,529	4,516	4,536	4,525	4,540
HS	4,529	4,530	4,564	4,534	4,537	4,519
HG	4,503	4,496	4,494	4,541	4,533	4,515
H	4,946	4,943	4,839	4,828	4,937	4,945
Uyum Analizi	RMSE	0,000	0,068	0,066	0,020	0,000
	MAPE	0,06	1,12	1,02	0,32	0,18

Doğrudan hesaplanıldığında ortaya çıkan hız değerleri 4,5 - 4,9 km/s arasındadır. Çıkan bu sonuçlar Rakishev (1982)'in çalışmasındaki magmatik kayalar için verdiği değerler olan 3,65 - 4,88 km/s aralığında uygundur. Tablo 3.48 incelendiğinde yoğunluk üzerinden yapılan dolaylı hesapta mükemmele yakın sonuç elde edildiği net bir şekilde gözükmemektedir. Aynı şekilde bir diğer mükemmel sonuçta dolaylı çekme dayanımı ve TEBD'nin dördüncü denklemi üzerinden yapılan hesapta ortaya çıkmaktadır. Genel olarak değerler mükemmele yakın olsa da bariz bir şekilde TEBD'nin dördüncü denklemi, yoğunluk, mafik mineral ve dolaylı çekme dayanımı hesapları diğerlerinden ayrılmaktadır. Çalışmada kullanılan granitler Rakishev (1982)'e göre zor patlatılabilir olarak değerlendirilmiştir (Tablo 1.3).

Tablo 3.48. Rakishev (1982)'e göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yönden hesaplanması (b)

Numune adı	Doğrudan Hesap (km/s)	Dolaylı Hesap			
		TEBD, DÇD, ρ sbt Vp (km/s)			ρ, Vp, TEBD sbt DÇD (km/s)
İM	4,635	4,624	4,701	4,673	4,659
İS	4,531	4,515	4,483	4,539	4,521
HS	4,529	4,494	4,509	4,570	4,527
HG	4,503	4,531	4,513	4,567	4,511
H	4,946	4,943	4,845	4,991	4,927
Uyum Analizi	RMSE	0,020	0,058	0,042	0,014
	MAPE	0,40	1,04	0,84	0,26



Şekil 3.24. Rakishev (1982)'e göre patlatılabilirlik ile regresyon modelleri

Şekil 3.24 incelendiğinde doğrudan etkileyen parametrelerin (yoğunluk, çekme dayanımı, TEBD ve Vp) yanı sıra Kuvars içeriği, Mafik mineral içeriği, Alkali Feldispat ve görünür porozitenin patlatılabilirliğe etkisi olduğu istatistiksel olarak ortaya konulmuştur. Uyum analizleri dikkate alındığında sonuçları çok iyi tahmin düzeyindedir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Rakishev (1982)'e göre en iyi uyum analizi sonucunu veren modeller

3.4.4. Lilly (1986)'ye Göre Patlatılabilirlik

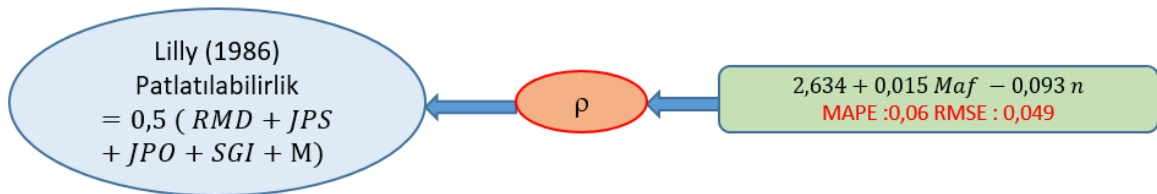
Lilly (1986) çalışmasında uygulanabilirliği daha basit olan bir yöntem önermiştir. Bu yönteme göre eklemlerin durumu (açıklığı ve yönelimi) önem arz etmektedir. Hesaplanan indeks değeri daha sonra özgül şarj ile ilişkisinde yer aldığı şekilden okunarak gerekli ANFO miktarı ortaya konulmuştur. Lilly (1986) tarafından yapılan çalışmada, denkleme katkısı olan kaya mekaniği parametrelerinden; bu çalışmada ele alınan değerler dikkate

alındığında sadece yoğunluk parametresini kullanmıştır. Sabit değerler önerdiği tablodan alınarak kullanılmıştır (RMD:50, JPS:10, JPO:30, H:7). Yoğunluk yerine konulan regresyon modeli yerleştirildiğinde çıkan sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmektedir (Tablo 3.49, Şekil 3.26 ve Ek Tablo 4).

Tablo 3.49. Lilly (1986)'ye göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yönden hesaplanması

Numune adı	Doğrudan Hesap	Dolaylı Hesap ρ
İM	56,488	56,475
İS	56,163	56,188
HS	56,238	56,225
HG	56,263	56,363
H	57,238	57,275
Uyum Analizi	RMSE MAPE	0,049 0,06

Tablo 3.49'daki sonuçlar irdelendiğinde dolaylı hesapla yapılan incelemede yoğunluğun mükemmel uyum analizi değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 3.26 incelendiğinde; yoğunluk yerine kullanılacak parametrelerin Mafik mineral içeriği ve Görünür porozite olduğu görülmektedir. Bu nedenle Lilly (1986)'nin çalışması dikkate alındığında mafik mineral içeriği ve görünür porozitenin patlatılabilirliğe etkisi olduğu istatistiksel olarak ispat edilmiştir Şekil 1.9 dikkate alındığında hesaplanan değerler bu çalışmada kullandığımız kayaçlarımız için özgül şarj değerleri $\sim 0,23$ kg/ton ($0,62$ kg/m³) civarında değişmekte olup Dyno Nobel (2010) tarafından belirtilen özgül şarj ($0,7 - 0,8$ kg/m³) değerinin altında ve yakındır. Uyum analizi sonucuna göre var olan tek değişkene göre yapılan işlem çok iyi tahmin değerlerine sahiptir (Şekil 3.27).



Şekil 3.26. Lilly (1986)'ye göre patlatılabilirlik ile regresyon modelleri

$$\left(\begin{array}{c} \text{Değişkenler} \\ \text{ve} \\ \text{Maf.} + n \\ \text{MAPE: 0,06} \\ \text{RMSE: 0,049} \end{array} \right)$$

Şekil 3.27. Lilly (1986)'ye göre en iyi uyum analizi sonucunu veren model

3.4.5. Gupta (1990)'ya Göre Patlatılabilirlik

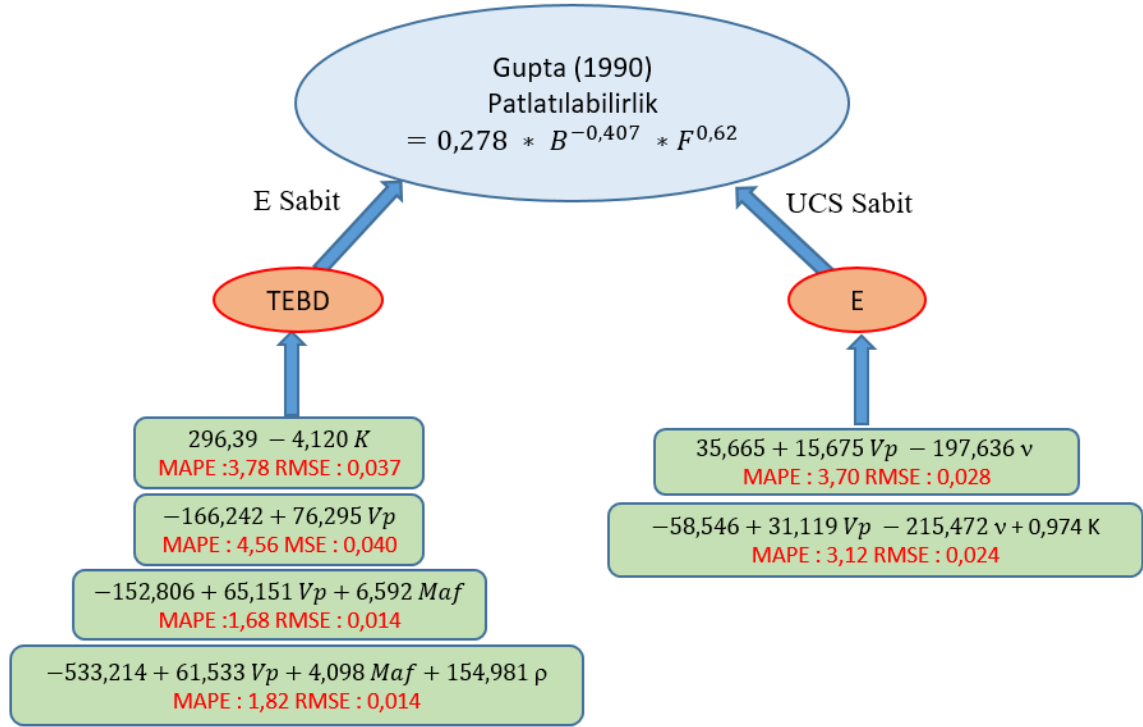
Gupta (1990) tarafından yapılan çalışmada, patlatılabilirlik formülünde belirtilen parametrelerde, bu çalışmada yapılan kaya mekaniği parametrelerinden TEBD ve elastisite modülü bulunmakta olup geri kalan kısmı sabit kabul edilerek bulunan sonuçlar Tablo 3.50 ve Şekil 3.28'de verilmiştir. Kullanılan modellerin anlamlılık değerleri Ek Tablo 3'te verilmiştir. Guptanın denklemindeki sabit olan dilim kalınlığı saha uygulamaları dikkate alınarak 1,2 m olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.50. Gupta (1990)'ya göre kaya mekaniği parametreleri ile patlatılabilirliğin doğrudan ve dolaylı yünden hesaplanması

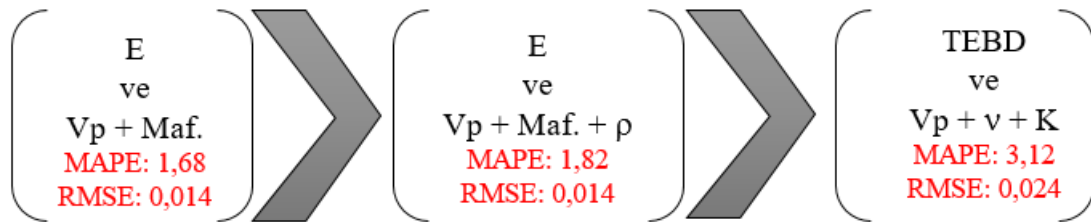
Doğrudan Hesap (kg/m ³)	Dolaylı Hesap					
	TEBD sbt E (kg/m ³)			E sbt TEBD (kg/m ³)		
0,722	0,722	0,731	0,786	0,774	0,712	0,720
0,490	0,524	0,512	0,491	0,501	0,496	0,503
0,722	0,670	0,677	0,738	0,718	0,720	0,709
0,619	0,640	0,630	0,625	0,652	0,648	0,637
0,826	0,834	0,841	0,771	0,764	0,833	0,838
RMSE	0,028	0,024	0,037	0,040	0,014	0,014
MAPE	3,70	3,12	3,78	4,56	1,68	1,82

Tablo 3.50 incelendiğinde en iyi sonuçların TEBD üzerinden yapılan üçüncü ve dördüncü denklem ile elde edildiği görülmektedir. Gupta (1990) araştırmasında doğrudan özgül şarj (kg/m³) hesaplamaktadır ve çalışılan kayalar için bu değer 0,49 - 0,82 kg/m³ arasında değişmektedir. Aşağıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere Gupta (1990)'nın

araştırmasında başta V_p , yoğunluk ve mafik mineral içeriği olmak üzere Kuvars içeriği ve poisson oranının da özgül şarjı etkilediği istatistiksel olarak ortaya konulmuştur. Modeller ile yapılan hesaplarda özgül şarj değeri $0,49 - 0,84 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmekte olup Dyno Nobel (2010) tarafından belirtilen özgül şarj ($0,7 - 0,8 \text{ kg/m}^3$) değer aralığına uygundur. En iyi uyum analizi sonuçları Şekil 3.29’da verilmiştir.



Şekil 3.28. Gupta (1990)’ya göre patlatılabilirlik ile regresyon modelleri



Şekil 3.29. Gupta (1990)’ya göre en iyi uyum analizi sonucunu veren modeller

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Doğu Karadeniz Bölgesinde beş farklı bölgeden alınmış olan granit numuneleri (“H” Harşit bölgesi, “HG ve HS” Of bölgesi ve “İM ve İS” İkizdere bölgesi) üzerinde kaya mekaniği deneyleri, mineralojik inceleme ve istatistiksel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen mineralojik tanımlama analizleri neticesinde elde edilen mineral yüzde dağılımları ile oluşturulan KAP üçgen diyagrama göre yapılan adlandırmada tüm numuneler granit olarak tanımlanmıştır.
- Granit kayaçlarından hazırlanan numunelerin tek eksenli basınç dayanımı testi sonucunda kayaçların yüksek basınç dayanımına sahip oldukları belirlenmiştir.
- Mineralojik olarak yapılan incelemeler sonucunda ortaya çıkan mineral yüzdeleri ile tek eksenli basınç dayanımları ve dolaylı çekme dayanımları incelendiğinde;
 - Minerallerin (kuvars, alkali feldispat ve plajiyoklaz) miktarları arasındaki standart sapma düştükçe tek eksenli basınç dayanımlarının arttığı,
 - Mafik ve Plajiyoklaz mineral yüzdesi ile kayaçların tek eksenli basınç dayanımları arasında pozitif ilişki olduğu, Kuvars ve Alkali Feldispat mineral içeriği ile tek eksenli basınç dayanımları arasında negatif yönlü bir ilişki olduğu,
 - Ana minerallerin içeriklerinin yüzde dağılımlarının birbirine yakın olması durumunda tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımının yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Elastisite modülü değerleri ile dolaylı çekme dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımı arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmuştur.
- Kalite indeksinin belirlenmesi ile H ve İM çok az mikro-fisürlü, İS, HS ve HG kısmen mikro-fisürlü olup çok az mikro-fisürlü sınırına yakındırlar. Süreksizlik ile ilişkili olduğu için IQ ile TEBD arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur.

- Verilerin istatistiksel olarak incelenmesi için korelasyon, ANOVA ve regresyon analizleri yapılmıştır. Korelasyon katsayısına ek olarak, regresyon sonucu çıkan modellerin hesaplanan tahmin ve ölçülen değerleri arasında RMSE ve MAPE analizleri hesaplanmış olup ve modellerin tahmin performansları karşılaştırılmıştır.
 - Dolaylı çekme dayanımı, görünür porozite, tek eksenli basınç dayanımı, ultrasonik P-dalga hızı, elastisite modülü, poisson oranı, yoğunluk ve kalite indeksi verileri için “Shapiro-Wilk” testi; kohezyon, içsel sürtünme açısı ve kayaç ana mineralleri için “One-Sample Kolmogorov-Smirnov” testine göre veriler istatistiksel analiz değerlendirmesi neticesinde normal dağılım göstermektedir.
 - Dolaylı çekme dayanımı ile diğer kaya mekaniği deney verileri arasında basit ve çoklu regresyon sonucu oluşturulan matematiksel modellerin tümü ANOVA testine göre anlamlı bulunmuştur. Bu modellerden alkali feldispat ve yoğunlukla kuvvetli ilişkiye sahip model en yüksek R^2 değerine ($R^2 = 0,784$) sahiptir.
 - Görünür porozite ile basit ve çoklu regresyon sonucu oluşturulan matematiksel modellerden kohezyon, Enter metodu, Stepwise metodu model-3 dışında tümü ANOVA testine göre anlamlı bulunmuştur. Bu modellerden içsel sürtünme açısı ve yoğunlukla kuvvetli ilişkiye sahip model en yüksek R^2 değerine ($R^2 = 0,873$) sahiptir.
 - Tek eksenli basınç dayanımı ile basit ve çoklu regresyon sonucu oluşturulan matematiksel modellerden içsel sürtünme ve Enter metodu dışında tümü ANOVA testine göre anlamlı bulunmuştur. Bu modellerden yoğunluk, mafik mineral ve ultrasonik P-dalga hızı ile kuvvetli ilişkiye sahip model en yüksek R^2 değerine ($R^2 = 0,973$) sahiptir.
 - Ultrasonik P-dalga hızı ile basit ve çoklu regresyon sonucu oluşturulan matematiksel modellerden Enter metodu dışında tümü ANOVA testine göre anlamlı bulunmuştur. Bu modellerden mafik mineral ve tek eksenli basma dayanımı ile kuvvetli ilişkiye sahip model en yüksek R^2 değerine ($R^2 = 0,953$) sahiptir.
 - Elastisite modülü ile basit ve çoklu regresyon sonucu oluşturulan matematiksel modellerden mafik mineral ve Enter metodu dışında tümü ANOVA testine göre anlamlı bulunmuştur. Bu modellerden ultrasonik P-dalga hızı, poisson oranı ve

kuvars ile kuvvetli ilişkiye sahip model en yüksek R^2 değerine ($R^2 = 0,824$) sahiptir.

- Poisson oranı ile basit ve çoklu regresyon sonucu oluşturulan matematiksel modellerden mafik mineral, içsel sürtünme açısı ve enter metodu dışında tümü ANOVA testine göre anlamlı bulunmuştur. Bu modellerden Elastisite modülü ile kuvvetli ilişkiye sahip model en yüksek R^2 değerine ($R^2 = 0,583$) sahiptir.
- Yoğunluk ile basit ve çoklu regresyon sonucu oluşturulan matematiksel modellerden içsel sürtünme açısı ve enter metodu dışında tümü ANOVA testine göre anlamlı bulunmuştur. Bu modellerden mafik mineral ve görünür porozite ile kuvvetli ilişkiye sahip model en yüksek R^2 değerine ($R^2 = 0,889$) sahiptir.
- Kohezyon ile basit ve çoklu regresyon sonucu oluşturulan matematiksel modellerden Elastisite modülü, plajiyoklaz, alkali feldispat, içsel sürtünme açısı, görünür porozite ve enter metodu dışında diğer kaya mekaniği verileri arasında ANOVA testine göre anlamlı bulunmuştur. Bu modellerden mafik mineral, kuvars ve alkali feldispat ile çoklu regresyon sonucu oldukça kuvvetli ilişkiye sahip model en yüksek R^2 değerine ($R^2 = 0,999$) sahiptir.
- İçsel sürtünme açısı ile basit ve çoklu regresyon sonucu oluşturulan matematiksel modellerden tek eksenli basınç dayanımı, yoğunluk, poisson oranı, mafik mineral, kohezyon ve enter metodu dışında diğer veriler arasında ANOVA testine göre anlamlı bulunmuştur. Bu modellerden alkali feldispat, mafik mineral, Elastisite modülü ve görünür porozite ile çoklu regresyon analizinde oldukça kuvvetli ilişkiye sahip model en yüksek R^2 değerine ($R^2 = 0,942$) sahiptir.
- Kalite indeksi, P-Dalga hızından hesaplandığı için regresyon analizine tabi tutulmamıştır.
- Patlatılabilirlik testlerinde değerlendirme için dolaylı çekme dayanımı testlerinden regresyon analizi sonucu elde edilen modellerden $R^2 > 0,700$ ve düşük MAPE, RMSE hata oranlarında alkali feldispat ve yoğunlukla kuvvetli ilişkiye sahip olan modeller ele alınmıştır. Çalışma sonucunda patlatılabilirlik ile mineraller dağılımları arasında kuvvetli ilişki bulunmuştur.
- Hino (1959) çalışması dikkate alınınca en iyi sonucu dolaylı çekme dayanımı ve (Vp-Mafik Mineral- ρ) uygulaması ile elde edilmiştir (RMSE 0,085 MAPE 0,58).

- Ashby (1981) çalışması dikkate alınca en iyi uyum analizi sonucunu yoğunluk ve (Alkali Felispat-Mafik Mineral-E-n) uygulaması ile ulaşılmıştır (RMSE 0,014 MAPE 0,86).
- Rakishev (1982)'in formülü dikkate alındığında TEBD, DÇD, Vp sabit olduğu (Mafik Mineral-n) uygulaması ile en iyi sonuca ulaşılmıştır (RMSE 0,000 MAPE 0,06).
- Lilly (1986) çalışması incelendiğinde kurulan model çok iyi tahmin aralığındadır. Diğer parametreler sabit (Mafik Mineral-n) (RMSE 0,014 MAPE 0,26).
- Gupta (1990), E sabit (Mafik Mineral-n) uygulaması ile kurulan model en iyi uyum analizi sonucuna varmıştır (RMSE 0,014 MAPE 1,82).

Sonuç olarak, istatistiksel analiz ile yapılan değerlendirmeler neticesinde patlatılabilirlik hesaplanmasında kullanılan parametrelere minerolojinin etkisi olduğu ortaya konulmuş ve mineraller dikkate alındığında özgül şarj değeri daha da düşmektedir. Verilen değerler Hino (1959) ve Rakishev (1982) hariç tamamı özgül şarj cinsindendir. Hesaplanan değerler incelendiğinde en iyi uyum analiz sonuçlarına göre özgül şarj hesabında dikkate alınacak olan parametreler; Mineral içeriği, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, görünür porozite, yoğunluk ve ultrasonik P-dalga hızıdır. Bundan sonraki çalışmalarda detaylı arazi ve laboratuvar modeli patlatma çalışmaları ile mineral yapısının ve adı geçen parametrelerinde olduğu yeni bir patlatılabilirlik indeksi oluşturulması önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Acar, S., 2015. Petrografik ve fiziksel özelliklerin granitik kayaların dayanımına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Adhikari, G.R., Theresraj, A.I., Venkatesh, S., Balachander, R., Gupta, R.N., 2004. Ground vibration due to blasting in limestone quarries. *Fragblast – International Journal of Blasting and Fragmentation* 8, 2, 85–94.
- Ahmadi-Sheshde, E. ve Cheshomi, A., 2015. New method forestimating unconfined compressive strength (UCS) using small rock samples, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 133, 367 – 375.
- Amani, A. ve Shahbazi, K., 2013. Prediction of Rock Strength using Drilling Data and Sonic Logs, *International Journal of Computer Applications*, 81, 2, 7- 10.
- Anderson, D.A., Winzer, S.R. ve Ritter, A.P., 1982. Blast design for optimizing fragmentation while controlling frequency of ground vibration. *Proceedings of the 8th Conference on Explosives and Blasting Technique*. New Orleans, 69–89.
- Anderson, D.A., 1993. In: Hudson, J.A. (Ed.), *Blast Monitoring: Regulations, Methods and Control Techniques*. Comprehensive Rock Engineering, 4. Pergamon Press, 95–110.
- Arel, E. ve Tugrul, A., 2001. Weathering and its relation to geomechanical properties of Cavusbasi granitic rocks in northwestern Turkey, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 60, 2, 123–133.
- Asadi, A., 2017. Application of Artificial Neural Networks in Prediction of Uniaxial Compressive Strength of Rocks Using Well Logs and Drilling Data. *Procedia Engineering*, 191, 279-286.
- Ashby, J.P., 1981. Production blasting and the development of pit slopes, *Proceeding of the 3rd. International Conference on stability in open pit mining*, Vancouver, B.C
- ASTM D2845, 1983. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock
- Aydin, A., 2014. Upgraded ISRM suggested method for determining sound velocity by ultrasonic pulse transmission technique, *Rock Mech. Rock Eng.*, 47, 255-259.
- Babacan, A.E., Ersoy, H. ve Gelişli, K., 2012. Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36, 1, 63 – 73.

- Bayazıt, M. ve Yeğen Oğuz, E.B., 2005. Mühendisler için İstatistik, Birsen Yayın Evi, İstanbul, 197s.
- Baynes, F.J. ve Dearman, W.R., 1978. The Microfabric of a Chemically Weathered Granite. Bull. Int. Assoc. Engineering Geology, 18, 91-100.
- Bollinger, G.A., 1971. Blast Vibration Analysis, Southern Illinois University Press. 132 s.
- Borquez, G.V., 1981. Estimating Drilling and Blasting Costs and Analysis and Prediction Model. EEMJ. January, 83-89.
- Bowen, N. L., 1928. The evolution of the igneous rocks: Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 334, second edition, 1956, New York, Dover.
- Ceryan, Ş., 1999. Harşit granitoyidi'nin ayrışması sınıflandırılması ayrışmanın mühendislik özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ceryan, Ş., Tüdeş, Ş., Ceryan, N. ve Aydın, A., 2007. Kürtün Granodiyoriti'ndeki Ayrışmış Kaya Malzemesinin Sınıflandırılmasında Ve Mühendislik Özelliklerinin Tahmin Edilmesinde Elastik Dalga Hızının Kullanılması, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13, 2, 213-322.
- Ceryan, Ş., Tüdeş, Ş. ve Ceryan, N., 2008. Influence of weathering on the engineering properties of Harsit granitic rocks (NE Turkey), Bull Eng Geol Environ., 67, 97-104.
- Cihangir, F., Kesimal, A., Erçikdi, B. ve Durmuş, O., 2005. Bir Kalker Ocağında Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Çevresel Etkilerin Analizi *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, Mayıs, Ankara, Bildiriler kitabı: 149-158.
- Chang, C., 2004. Empirical Rock Strength Logging in Boreholes Penetrating Sedimentary Formations, Geology and Earth Environmental Sciences, Chungnam National University, 7, 3, 174 – 183.
- Chang, C., Mark, D.Z. ve Abbas, K., 2006. Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks, Journal of Petroleum Science and Engineering., 51, 223 – 237.
- Chatterjee, R., Paul, S. ve Mourya V.K., 2013. Prediction of Uniaxial Compressive Strength from well log data in Jharia Coalfield. 10th Biennial International Conference & Exposition.
- Chen, G., Huang, S., 2001. Analysis of ground vibrations caused by open pit production blasts: a case study. Fragblast – International Journal of Blasting and Fragmentation, 5, 1, 1-2 91-107.
- Çapık, M., 2008. Harşit (Giresun) Granitlerinin Mermer Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Çapık, M. ve Yılmaz, A.O., 2009. Harşit (Giresun) Granitlerinin Fiziko Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2) 17-32.
- Dey, K. ve Sen, P., 2003. Concept of Blastability – An Update. *The Indian Mining and Engineering Journal*, 42, 8-9, 24 – 31.
- Doğan, V. ve Yılmaz, C., 2017. Yönetim Bilimleri Ve Pazarlama Alanında Bağımsız Değişkenlerin Karşılaştırılması Ve Bastırıcı Etki Tespiti, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13, 2, 385 – 406.
- Draper, N. R. ve Smith, H., 1981. *Applied regression analysis* (2nd Ed.). New York: Wiley.
- Dowding, C.H., 1985. *Blast Vibration Monitoring and Control*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Dursun, A.E., 2012. Konya Şehir Merkezinin Kuzey Batısında Yer Alan Kireçtaşlarının Kesilebilirliği, T.C. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dyno Nobel, 2010. *Blasting and Explosives Quick Reference Guide*.
- Eberhardt, E., Stimpson, B. ve Stead, D., 1999. Effect of grain size on the initiation and propagation threshold of stress-induced brittle fracture. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 32, 2, 81–99.
- Er, S. ve Tuğrul, A., 2016. Correlation of physico-mechanical properties of granitic rocks with Cerchar Abrasivity Index in Turkey, *Measurement*, 91, 114 -123.
- Ersoy, H. ve Acar, S., 2016. Influences of petrographic and textural properties on the strength of very strong granitic rocks, *Environ Earth Sci*, 75,1461.
- Fell, R. ve Jeffery, R. P., 1987. Determination of drained shear strength for slope stability analysis, *Proc Symposium on Soil Slope Instability and Stabilisation*, Sydney, 30 November-2 December, 53-70.
- Fraenkel, K.H., 1954. *Handbook in rock blasting technique*, Part-1, Esselte AB, Stockholm.
- Gedikoğlu, A., 1978, Harşit Granit Karmaşığı ve Çevre Kayaçları, Doçentlik Tezi, K.T.Ü. Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.
- Ghafoori, M., Rastegarnia, A. ve Lashkaripour, G.R., 2018. Estimation of static parameters based on dynamical and physical properties in limestone rocks. *Journal of African Earth Sciences*, 137, 22 – 31.
- Ghose A.K., 1988. Design of drilling and blasting subsystems – A rockmass classification approach, *Mine Planning and Equipment Selection*, Balkema.
- Gokceoglu, C. ve Aksoy, H., 2000. New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses, *Engineering Geology*, 58, 1–23.

- Gokhale, B.V., 2011. Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines, CRC Press London.
- Goodman, R. E., 1989. Introduction to Rock Mechanics, 2nd Edition, Wiley, New York, 562s.
- Gupta R. N., 1990. Design of Blasting Patterns using Presplitting with Air Deck Technique for Dragline and Heavy Shovel Benches near Populated Areas, Proceedings of International Symposium on Explosive and Blasting Technique, 17-18.
- Gupta, V. ve Sharma, R., 2012. Relationship between textural, petrophysical and mechanical properties of quartzites: A case study from northwestern Himalaya, Engineering Geology, 135-136, 1-9.
- Fourmaintraux, D., 1976. Characterization of rocks; laboratory tests, Chapter IV in La Mecanique des roches appliquee aux ouvrages du genie civil by Marc Panet et all. Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, Paris.
- Fourmaintraux, D., 1975. Quantification des discontinuites des roches et des massifs rocheux, Rock Mechanics, 7, 83-100.
- Han, J., Weiya, X. ve Shouyi, X., 2000. Artificial neural network method of rock mass blastability classification. Proceedings of the Fifth International Conference on Geo Computation, London, UK, 23-25.
- Hansen, D. W., 1967. Drilling And Blasting Techniques For Morrow Point Power Plant. The 9th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), 17-19 April, Golden, Colorado.
- Harries, G. ve Mercer, J. K., 1975. The science of blasting and its use to minimize costs. Proc. Austr. Inst. Mining and Metall. Annual Conf. Adelaide, Part b, 387-99.
- Heidari, M., Momeni, A.A. ve Naseri, F., 2013. New weathering classifications for granitic rocks based on geomechanical parameters, Engineering Geology, 166, 65-73
- Heinen R. H. ve Dimock R.R., 1976. The Use of Sonic Measurements to Determine The Blastability of Rocks, Proceedings Second Conference on Explosive and Blasting Techniques, Luisville, Kentucky, 234-248.
- Helvacı, C. ve Ersoy, Y., 2009. Magmatik Petrografi: Laboratuvar Notları, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Hencher, S., 2015. Practical Rock Mechanics, CRC Press, Taylor and Francis Group, 378s.
- Hino, K., 1959. Theory and Practice of Blasting, Nippon Kayaku Co. Ltd., Asa, Yamaguchi-Ken, Japan
- Hofmann, H., Babadagli, T., Yoon, JS., Zang, A. ve Zimmermann, G., 2015 A grain based modeling study of mineralogical factors affecting strength, elastic behavior and micro

- fracture development during compression tests in granites Engineering Fracture Mechanics 147 (2015) 261–275
- Hoshino, T., Mogi, G. ve Shaoquan, K., 2000. Optimum delay interval design in delay blasting. *Fragblast – International Journal of Blasting and Fragmentation*
- ISRM., 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), Suggested methods prepared by the commission on testing methods, International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628.
- İnce, İ. ve Fener, M., 2016. A prediction model for uniaxial compressive strength of deteriorated pyroclastic rocks due to freezeethaw cycle, Journal of African Earth Sciences, 120, -134 -140.
- İrfan, T.Y. ve Dearman, W.R., 1978a. Engineering Classification And Index Properties Of A Weathered Granite, Bulletin Of The International Association Of Engineering Geology, N17, 79-90.
- İrfan, T.Y. ve Dearman, W.R., 1978b. Micropetrographic And Engineering Characterization of A Weathered Granite, Annales de la Société Géologique de Belgique, T.101, 71 – 77.
- Jimeno C.L., Jimeno, E.L. ve Carcendo, F.J.A., 1995. Drilling and Blasting of Rocks, AA-Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- JKMRC, 1996. Open pit blast design analysis and optimisation, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, Indooroopilly, Australia, 338.
- Kalaycı, Ş., 2006. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- Karakul, H. ve Ulusay, R., 2012. Kayaların Dayanım Özelliklerinin Farklı Doygunluk Koşullarında P-Dalga. Hızından Kestirimi Ve P-Dalga Hızının Fiziksel Özelliklere Olan Duyarlılığı, Yerbilimleri, 33, 3, 239-268.
- Karaman, K., 2015. Tünel uygulamalarında kullanılan kaya dayanım parametrelerinin dolaylı yöntemlerle tahmini. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Karaman, K., Kaya, A. ve Kesimal, A., 2015. Effect of the specimen length on ultrasonic P-wave velocity in some volcanic rocks and limestones, A Journal of African Earth Sciences, 112, 142-149.
- Kayabalı, K., 2006. Kaya Şev Mühendisliği, Gazi Kitabevi, Ankara
- Kahraman, S., 2007. The correlations between the saturated and dry P-wave velocity of rocks. Ultrasonics, 46, 341-348.

- Khandelwal, M., 2013. Correlating P-wave velocity with the physico-mechanical properties of different rocks. Pure Appl. Geophys., 170, 507-514.
- Kılıç, E., 2007. Konsolidasyon Özelliklerinin İstatistiksel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Konya, J., A. ve Walter, E. J., 1990. Surface Blasting Design. Prentice-Hall, New Jersey, 292.
- Kömürlü, E., Cihangir, F., Kesimal, A. ve Demir, S., 2016. Effect of Adhesive Type on the Measurement of Modulus of Elasticity Using Electrical Resistance Strain Gauges, Arab J Sci Eng 41, 433–441
- Köprübaşı, N., 1992. Aşağı Harşit Bölgesinin Magmatik Petrojenezi ve Masif Sülfidlerde Jeokimyasal Hedef Saptama Uygulamaları. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Köse, H. ve Kahraman, B., 2014. Kaya Mekaniği, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir
- Krank, A.K.D. ve Watters, R.J. 1983. Geotechnical properties of weathered Sierra Nevada granodiorite, Bull. Association. Engineering. Geol., 20,173-184
- Langefors, U., 1978. The Modern Technology of Rock Blasting”, John Wiley & Sons Inc, New York, 438.
- Lee, S.G. 1987. Weathering and geotechnical characterization of Korean granites, PhD Thesis, Imperial College, University of London.
- Leighton, J.C., Brawner, C.O. ve Stewart, D., 1982. Development of a correlation between rotary drill performance and controlled blasting powder factors, Can. Inst. Min. Bull., 844, 67-73.
- Lewis, C.D., 1982. International and Business Forecasting Methods. Butterworths, London.
- Lilly P., 1986. An Empirical Method of Assessing Rockmass blastability, Large Open Pit Mine Conference, Newman, Australia, 89-92.
- Lopez Jimeno, E. ve Lopez Jimeno, C., 1984. Las Voladuras en Crater y su Aplicacion ala Minería, VII Congress International de Minería y Metalurgia, Barcelona
- Lump, P., 1983. Engineering properties of fresh and decomposed igneous rock from Hong Kong, Engineering Geology, 19, 81– 94.
- Lump, P. 1962. The properties decomposed granite. Geotechnique, 12, 226-243.
- Mathis, C., 1975. Proposal of a report on Rock Quality Index based on rotary drill Performances, Unpublished paper, University of Alberta, March.

- Mellor M. ve Hawkes J., 1971. Measurement of tensile strength by diametrical compression of discs and annuli, Engineering Geology, 5, 173-225.
- Meulenkamp, F. ve Grima, M.A., 1999. Application of neural networks for the prediction of the unconfined compressive strength (UCS) from Equotip hardness, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36, 29 – 39.
- Mishra, D.A. ve Basu, A., 2013. Estimation of uniaxial compressive strength of rock materials by index tests using regression analysis and fuzzy inference system, Engineering Geology, 160, 54 – 68.
- Muller, B. ve Hohlfeld, T.h., 1997. New possibility of reducing blasting vibrations with an improved prognosis, Fragblast, 1, 379–392.
- Najibi, A., R., Ghafoori, M. ve Lashkaripour, G.R., 2015. Empirical relations between strength and static and dynamic elastic properties of Asmari and Sarvak limestones, two main oil reservoirs in Iran, Journal of Petroleum Science and Engineering, 126, 78 – 82.
- Nefeslioğlu, H.A., 2013. Evaluation of geo-mechanical properties of very weak and weak rock materials by using non-destructive techniques: Ultrasonic pulse velocity measurements and reflectance spectroscopy, Engineering Geology, 160, 8 - 20.
- Pal Roy, P., 2005. Rock blasting effects and operations, Rotterdam: Balkema, 223–240
- Persson, P.A. ve Holmberg, R., Lee, J., 1994. Rock Blasting and Explosives Engineering. CRCPress, Inc., 365–367.
- Praillet, R., 1980. A new approach to blasting.
- Rakishev, B.R., 1982. A New Characteristics of the Blastability of Rock in Quarries, Soviet Mining Science, 17, 248-251.
- Rustan, A., Cunningham, C., Fournay, W., Spathis, A. ve Simha, K.R.Y., 2010. Mining and Rock Construction Technology Desk Reference: Rock Mechanics, Drilling & Blasting, Technology & Engineering, 466.
- Sassa K. ve Ito I., 1974. On the relation between the strength of a rock and the pattern of breakage by blasting, Proc. 3rd Int. Congress Rock Mechanics Denver, II-B, 1501-1505.
- Sawmliana, C. ve Pal Roy, P., 2012. A New Blastability Index for Hard Roof Management in Blasting Gallery Method, Geotechnical and Geological Engineering, 30, 6, 1357–1367
- Schultze - Westrum, H.H., 1961. Das geologische Profil des Aksu-Dere bei Giresun - Ein Beitrag zur geologie und Lagerstättenkunde der ostpontischen Erz. und Mineral provens. NE Anatolien : Bull. Mineral Res. Explor. inst. Turkey, 57,65 - 74.

- Serper, Ö., 2010. Uygulamalı İstatistik, Ezgi Kitabevi, Bursa.
- Sharma, P.K., ve Singh, T.N., 2008. A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength. *Bull. Eng. Geol. En.* 67, 17-22.
- Siskind, D.E., Crum, S.V., Otterness, R.E. ve Kopp, J.W., 1989. Comparative study of blasting vibrations from Indiana surface coal mine. USBM RI 9226 41 pages.
- Sousa, L.M.O., Suarez del Rio, L.M., Calleja, L., Ruiz de Argandona V.G. ve Rey A.R., 2005. Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites, *Engineering Geology*, 77, 153–168.
- Sousa, L.M.O., 2013. The influence of the characteristics of quartz and mineral deterioration on the strength of granitic dimensional, *Stones, Environ Earth Sci.*, 69, 1333–1346.
- Stan-Kleczeck, I., 2016. The study of the elastic properties of carbonate rocks on a base of laboratory and field measurement, *Acta Montanistica Slovaca*, 21, 1, 76-83.
- Streckeisen, A., 1974. Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of Igneous Rocks, *Geologische Rundschau*, 63, 2, 773 – 776.
- Sönmez, H., Tuncay, E. ve Gökçeoğlu, C., 2004. Models to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity for Ankara Agglomerate, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 41, 717–729.
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W. ve Dowding, C.H., 1980. Structure response and damage produced by ground vibrations from surface mine blasting. USBM RI 8507 77 pages
- Siskind, D.E., 2000. Vibrations from Blasting, International Society of Explosives Engineers. 120 pages
- Şahin, M.B., 2012. Temel Jeoloji Bilgileri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 330s.
- Tekin, V.N., 2006. Spss uygulamalı istatistik teknikleri, Seçkin Ankara
- Teymen, A., 2005. Bazı Kayaçların Petrografik, Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Tripathy, G. ve Gupta, I.D., 2002. Prediction of ground vibrations due to construction blasts in different types of rock, *Rock Mech. Rock Engineering*, 35, 3, 195–204.
- Tuğrul, A. ve Zarif, H., 1999. Correlation Of Mineralogical And Textural Characteristics With Engineering Properties Of Selected Granitic Rocks From Turkey, *Engineering Geology*, 51, 303-317.

- Türk Japon Ekibi, 1985. The cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1, MTA Raporu No:334, Ankara
- Tüdeş, Ş., 1994. İkizdere(Rize) yöresindeki granitik kayaçların mermer olarak kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 75s.
- Tüdeş, Ş., Bulut, F. ve Yalçınalp, B., 1991. İkizdere (Rize) Yöresindeki Granitik Kayaçların Mermer Olarak Kullanılabilirliği, Jeoloji Mühendisliği. 47,17, Trabzon.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, 2. Baskı, Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., 2011. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri. Odası, 3. Baskı, Ankara, 167s.
- Uyar-Aldaş, G.G. ve Ecevitoglu, B., 2008. Waveform analysis in mitigation of blast-induced vibrations, Journal of Applied Geophysics, 66, 25–30
- Uyar-Aldaş, G.G., 2010. Investigation of blast design parameters from the point of seismic signals, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 24:1,80-90
- Yagiz, S., 2011. P-wave velocity test for assessment of geotechnical properties of some rock materials, Bull. Mat. Sci., 34, 947-953.
- Yaşar, E., ve Erdoğan, Y., 2004. Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 41, 871–875.
- Yesiloglu-Gultekin, N., Sezer, E.A., Gokceoglu, C. ve Bayhan, H., 2013. An application of adaptive neuro fuzzy inference system for estimating the uniaxial compressive strength of certain granitic rocks from their mineral contents, Expert Systems with Applications, 40, 921–928.
- Yılmaz, N.G., Goktan, R.M. ve Kibici, Y. 2011. Relations between some quantitative petrographic characteristic and mechanical strength properties of granitic building Stones, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 48, 506–513.
- Yurdakul, M. ve Akdaş, H., 2013. Modeling uniaxial compressive strength of building stones using non-destructive test results as neural networks input parameters, Construction and Building Materials, 47, 1010 -1019.
- Wasantha, P.L.P., Ranjith, P.G. ve Viete, D.R., 2012. Constitutive models describing the influence of the geometry of partially-spanning joints on jointed rock mass strength: Regression and fuzzy logic analysis of experimental data, Expert Systems with Applications, 39, 7663 – 7672.
- Wyllie, D.C. ve Mah, C.W., 2004. Rock slope engineering civil and mining. 4th edition. New York, Spon Press 431 p.

Zhao, X.G., Cai, M., Wang, J. ve Li, P.F., 2015. Strength comparison between cylindrical and prism specimens of Beishan granite under uniaxial compression, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 76 10–17

URL-1,[http://www.mta.gov.tr/ucretli-isler/liste/test-ve-analizler/index.php?id=mineralojik-petrografik-an 01/Aralık/2017](http://www.mta.gov.tr/ucretli-isler/liste/test-ve-analizler/index.php?id=mineralojik-petrografik-an%2001/Aralik/2017)



EKLER

Ek Tablo 1. Minerallerin Tane Boyutları

Kayaçlar		Tane Boyutu (mm)			
		Kuvars	Alkali Feldispat	Plajiyoklaz	Mafik Mineral
İM	Ort	1,93	1,76	2,00	0,94
	Std	0,92	0,32	0,71	0,23
	Max	5,36	2,43	3,32	1,28
	Min	0,61	1,14	0,93	0,49
İS	Ort	1,34	1,63	1,54	0,73
	Std	0,58	0,57	0,77	0,31
	Max	3,2	3,37	4,79	1,31
	Min	0,56	0,61	0,7	0,35
HS	Ort	1,89	1,87	1,32	0,87
	Std	0,71	0,76	0,79	0,40
	Max	3,89	4,78	5,13	2,13
	Min	0,65	0,94	0,52	0,34
HG	Ort	1,74	1,87	1,41	0,93
	Std	0,64	0,56	0,46	0,34
	Max	3,32	3,32	3,07	1,79
	Min	0,75	1,01	0,59	0,44
H	Ort	1,16	1,70	1,12	0,72
	Std	0,32	0,56	0,63	0,24
	Max	1,94	3,51	4,28	1,3
	Min	0,63	0,74	0,42	0,35

Ek Tablo 2. Korelasyon Tablosu

		Correlations													
		Dolaylı_Çekme_Dayanımı	UCS	Görünür_Porozite	Vp	Yoğunluk	IQ	Elastisite_Modülü	Poisson_Oranı	Kuvars	Alkali_Feldispat	Plajiyoklaz	Mafik_Mineral	Kohezyon_Deney	İçsel_Sürt_Açısı_Deney
Dolaylı_Çekme_Dayanımı	Pearson Correlation	1													
	Sig. (2-tailed)														
	N	25													
UCS	Pearson Correlation	,671**	1												
	Sig. (2-tailed)	,000													
	N	25	25												
Görünür_Porozite	Pearson Correlation	-,739**	-,699**	1											
	Sig. (2-tailed)	,000	,000												
	N	25	25	25											
Vp	Pearson Correlation	,574**	,950**	-,670**	1										
	Sig. (2-tailed)	,003	,000	,000											
	N	25	25	25	25										
Yoğunluk	Pearson Correlation	,831**	,783**	-,750**	,621**	1									
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,001										
	N	25	25	25	25	25									
IQ	Pearson Correlation	,676**	,916**	-,759**	,953**	,657**	1								
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000									
	N	25	25	25	25	25	25								
Elastisite_Modülü	Pearson Correlation	,549**	,766**	-,589**	,795**	,530**	,757**	1							
	Sig. (2-tailed)	,004	,000	,002	,000	,006	,000								
	N	25	25	25	25	25	25	25							
Poisson_Oranı	Pearson Correlation	-,435**	-,635**	,459**	-,604**	-,424**	-,549**	-,764**	1						
	Sig. (2-tailed)	,030	,001	,021	,001	,035	,004	,000							
	N	25	25	25	25	25	25	25	25						
Kuvars	Pearson Correlation	-,607**	-,922**	,704**	-,923**	-,681**	-,902**	-,669**	,602**	1					
	Sig. (2-tailed)	,001	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,001						
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25					
Alkali_Feldispat	Pearson Correlation	-,771**	-,579**	,862**	-,539**	-,649**	-,734**	-,543**	,414**	,598**	1				
	Sig. (2-tailed)	,000	,002	,000	,005	,000	,000	,005	,040	,002					
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25				
Plajiyoklaz	Pearson Correlation	,720**	,736**	-,838**	,735**	,644**	,884**	,591**	-,470**	-,818**	-,925**	1			
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,001	,000	,002	,018	,000	,000				
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25			
Mafik_Mineral	Pearson Correlation	,674**	,678**	-,424**	,479**	,835**	,433**	,386	-,384	-,500**	-,304	,304	1		
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,035	,015	,000	,030	,056	,058	,009	,139	,139			
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
Kohezyon_Deney	Pearson Correlation	,503*	,805**	-,357	,692**	,713**	,563**	,451*	-,462*	-,740**	-,149	,335	,862**	1	
	Sig. (2-tailed)	,010	,000	,080	,000	,000	,003	,024	,020	,000	,478	,101	,000		
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
İçsel_Sürt_Açısı_Deney	Pearson Correlation	,403*	,327	-,717**	,420*	,235	,553**	,507**	-,385	-,441*	-,807**	,751**	-,197	-,206	1
	Sig. (2-tailed)	,046	,111	,000	,037	,258	,004	,010	,057	,027	,000	,000	,346	,324	
	N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Ek Tablo 3. Patlatılabilirlik hesabında kullanılan DÇD, TEBD ve E modellerinin tabloları

DÇD regresyon modeli	Standardize edilmemiş katsayılar		Standardize katsayılar		
	B	Std. Hata	Beta	t	Sig.
Sabit	-54,472	17,439		-3,124	0,005
Yoğunluk	27,127	6,189	0,571	4,383	0,000
Alkali Feldispat	-0,144	0,047	-0,401	-3,074	0,006

TEBD regresyon modeli	Standardize edilmemiş katsayılar		Standardize katsayılar		
	B	Std. Hata	Beta	t	Sig.
Sabit	296,391	12,185		24,325	0,000
Kuvars	-4,120	0,360	-0,922	-11,441	0,000
Sabit	-166,242	22,533		-7,378	0,000
Vp	76,295	5,238	0,950	14,566	0,000
Sabit	-152,806	13,550		-11,277	0,000
Vp	65,151	3,546	0,811	18,372	0,000
Mafik Mineral	6,592	1,004	0,290	6,564	0,000
Sabit	-533,214	178,115		-2,994	0,007
Vp	61,533	3,697	0,766	16,643	0,000
Mafik Mineral	4,098	1,491	0,180	2,748	0,012
Yoğunluk	154,981	72,385	0,157	2,141	0,044

E regresyon modeli	Standardize edilmemiş katsayılar		Standardize katsayılar		
	B	Std. Hata	Beta	t	Sig.
Sabit	35,665	27,021		1,320	0,200
Vp	15,675	3,932	0,525	3,986	0,001
Poisson Oranı	-197,636	58,293	-0,446	-3,390	0,003
Sabit	-58,546	47,424		-1,235	0,231
Vp	31,119	7,548	1,042	4,123	0,000
Poisson Oranı	-215,472	53,755	-0,487	-4,008	0,001
Kuvars	0,974	0,419	0,586	2,326	0,030

Ek Tablo 4. Patlatılabilirlik hesabında kullanılan ρ , V_p ve ϕ modellerinin tabloları

ρ regresyon modeli	Standardize edilmemiş katsayılar		Standardize katsayılar		
	B	Std. Hata	Beta	t	Sig.
Sabit	2,634	0,018		146,882	0,000
Mafik Mineral	0,015	0,002	0,630	8,031	0,000
Görünür Porozite	-0,093	0,015	-0,484	-6,163	0,000

V_p regresyon modeli	Standardize edilmemiş katsayılar		Standardize katsayılar		
	B	Std. Hata	Beta	t	Sig.
Sabit	5,977	0,151		39,692	0,000
Kuvars	-0,051	0,004	-0,923	-11,541	0,000
Sabit	2,385	0,133		17,923	0,000
TEBD	0,012	0,001	0,950	14,566	0,000
Sabit	2,421	0,095		25,545	0,000
TEBD	0,014	0,001	1,157	18,372	0,000
Mafik Mineral	-0,087	0,018	-0,306	-4,860	0,000

ϕ regresyon modeli	Standardize edilmemiş katsayılar		Standardize katsayılar		
	B	Std. Hata	Beta	t	Sig.
Sabit	77,643	1,514		51,281	0,000
Alkali Feldispat	-0,414	0,035	-0,955	-11,707	0,000
Mafik Mineral	-0,643	0,108	-0,487	-5,970	0,000
Sabit	73,728	1,687		43,694	0,000
Alkali Feldispat	-0,359	0,033	-0,829	-10,836	0,000
Mafik Mineral	-0,730	0,092	-0,553	-7,945	0,000
Elastisite Modülü	0,042	0,012	0,270	3,425	0,003
Sabit	73,453	1,423		51,613	0,000
Alkali Feldispat	-0,243	0,047	-0,561	-5,217	0,000
Mafik Mineral	-0,799	0,080	-0,606	-9,929	0,000
Elastisite Modülü	0,035	0,011	0,226	3,318	0,003
Görünür Porozite	-3,937	1,268	-3,104	-3,104	0,006

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Trabzon’da doğdu. Lise öğrenimini Fen ve Türkçe-Matematik olarak çift dalda 2,5 yılda tamamladı. Lise öğreniminin ardından Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir Meslek Yüksekokulu’nda Makine-Resim- Konstrüksiyon teknikerliğini 1998-2000 yılları arasında okudu. Daha sonra 2003 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde lisans eğitime başladı ve 2007 yılında 3,11 ortalama ile bölüm ikincisi olarak bitirdi. İkinci lisans programı olarak aynı yıllar içerisinde Anadolu Üniversitesi İşletme bölümünde de okuyarak eğitimlerini tamamladı. Eğitim hayatına Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim dalında lisansüstü eğitimini ile devam etti. 2010 yılında Lisansüstü eğitimini “Yumuşak kayaçlar için disk makaslama indeksi deneyinin kaya kütle sınıflama sistemlerinde kullanılabilirliğinin araştırılması ve şehiriçi sığ tünellerde uygulanması” üzerine yapmış olduğu yüksek lisans tezi ile başarıyla lisansüstü eğitimini tamamladı. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilimdalı’nda doktora eğitime başladı. Doktora aşamasında aynı zamanda doktora eğitiminde gerekli olan jeolojik bilgilerin artırılması ve uygulamaların yapılabilmesi amacıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilimdalı’nda lisansüstü eğitime başladı ve halen devam etmekte olup tez aşamasındadır.

Evli ve bir çocuk babası olan Orkun KANTARCI, doktora eğitime devam etmektedir. Doktora tez çalışması süresince beş farklı granit numunesi üzerinde kaya mekaniği ve mineralojik analizler yaparak kayaçların fiziko-mekanik ve mineralojik özelliklerinin istatistiksel olarak patlatılabilirliğe etkisi üzerine çalışmalar yapmıştır.

Lisans eğitiminin ardından iş hayatına İzmir Metro İnşaatı ile başlayan Orkun KANTARCI; birçok otoyol tüneli, HES, demiryolu tüneli inşaatlarında ve yer altı bakır madeninde maden mühendisi olarak görev yaptı. 4 yıllık özel sektör tecrübesinden sonra 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olan KANTARCI, 2013 yılı itibariyle Şırnak Üniversitesi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.