

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TRABZON-ERZURUM KARAYOLU
KOPDAĞI 1 VE KOPDAĞI 2 TÜNEL GÜZERGAHLARI
MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE JEOTEKNİK İNCELEMESİ

DOKTORA TEZİ
Y.Müh.Mahmut MUTLUTÜRK

T420/1-1

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 1.6.1989

Tezin Savunulduğu Tarih : 22.6.1989

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Okay GÜRPINAR
Prof. Dr. Ali ŞAHİNCİ

HAZİRAN-1989

ÖZ— Bu inceleme, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı Uygulamalı Jeoloji Programında doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları 1986 yılından 1989 yılına kadar sürmüştür. Trabzon-Erzurum karayolu Kopdağı ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarında yapılan bu çalışma ile kaya kütlesi sınıflamaları ve tünel güzergahlarına uygulamaları ile iksa önlemlerinin belirlenmesi incelenmiş, tünel güzergahlarının jeolojik ve jeoteknik koşulları ortaya konmuştur. Sonuç olarak Kopdağı 1 tünel güzergahının 0.000-0.060 km.ler arasındaki heyelanın ortadan kaldırılması, 2.000-3.000 km.ler arasındaki tünel kotuna çok yaklaşan heyelanın tünele etkisinin önlenmesi ile açılmasının mümkün olabileceği, Kopdağı 2 tünel güzergahının 0.000-2.030 km.ler arasında tamamının heyelan kütlesi içinde kalması nedeni ile açılmasının mümkün olmadığı ortaya konmuştur. Ayrıca, tünel inşası halinde beton kullanılabilecek agrega malzemesi yer ve nitelikleri araştırılmış, en uygun bölgeden alınan örneklerden beton dökülerek mukavemeti incelenmiştir. İstenilen mukavemetler elde edilemediğinden Gurri formasyonuna ait kireçtaşlarının kırılıp granülometrisi düzeltilerek betona katılması ile istenilen mukavemetin elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Harita alanındaki en yaşlı birim Permo-Karbonifer öncesi yaşlı rekristalize kireçtaşı, gnays ve şistlerden oluşan Çankulesi metamorfittleridir. Alt-Orta Jura'da Sarıkaya formasyonu bulunur ve oolitlik kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, kireçtaşı, kumtaşı, marn, çamurtaşı ardalanmasından oluşur. Üst Jura-Alt Kretase'de Gurri formasyonu yer alır ve Bakdülü kireçtaşı-şeyl üyesi, Kızıleşme çörtlü kireçtaşı üyesi ve Aktaş kumtaşı-kireçtaşı-şeyl üyelerinden oluşur. Kop ultramafitleri Üst Jura-Alt Kretase zaman aralığında bölgeye yerleşmişlerdir. Kandiltaş çakıltaşı üyesi, Göller çamurtaşı-şeyl üyesinden oluşan Göllerderesi formasyonu Miyosen yaşlıdır. Kuvaterner alüvyon ve yamaç molozu ile temsil edilmiştir.

Harita alanında Kop ultramafiti ile Gurri formasyonu, Gurri formasyonu ile Göllerderesi formasyonu arasındaki dokanak açısız diskordanslıdır. Sarıkaya formasyonu ile Gurri formasyonu arasındaki dokanak uyumludur. Gurri formasyonunda tektonizma etkisi ile gelişmiş pekçok kıvrım ve kıvrımcıklar vardır. Miyosen sonrası tektonik bakımdan çok aktif olan inceleme sahasında düşey, ters, doğrultu atımlı, şariyaj olmak üzere 13 adet fay gözlenmiştir.

Tünel güzergahlarında yapılan kaya kütlesi sınıflamalarında RSR, RMR ve Q sistemleri kullanılmıştır. Üç sisteme göre bulunan iksa önlemleri jeolojik koşullar da gözönüne alınarak birleştirilmiştir. Kopdağı 1 tünel güzergahı 3060 m. uzunluktadır. 0.000-0.060 km.ler arasında bulunan aktif heyelan malzemesinin kısmen ortadan kaldırılması ve önüne

perde çekilmesi gerekmektedir. Tünelin yaklaşık 1500 m.si ultramafit kayalarda açılacaktır. 2.000-3.000 km.ler arasında tünel kotunun çok yakınından geçen heyelan su patlamaları ve göçmelere neden olabilir. Tünel güzergahı iki fay tarafından kesilmektedir. Kopdağı 2 tünel güzergahı 6130 m. uzunluktadır. Tünel güzergahı 0.000-2.030 km. ler arasında heyelan içinde bulunduğundan burada tünel açılması mümkün değildir. Kesinlikle bu güzergahtan vazgeçilmelidir.

İnceleme sahasında, 7 heyelanlı bölge saptanmıştır. Bu heyelanlı bölgelerin 3 tanesi tünel güzergahlarını etkilemektedir.

Tünel inşaatı halinde tünele en yakın beton agrega malzemesi Karasu Çayı'ndan (Erzurum-Aşkale) temin edilebilir. Karasu Çayı'nda yapılan çalışmalarla fiziksel özellikleri yönünden en uygun bölge B bölgesi olarak belirlenmiştir. Bu bölgeye ait örneklerden beton karışımları hazırlanmış ve beton mukavemeti incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre istenen mukavemetler elde edilememiştir. Mukavemetin artırılması için betona kırmataş ilave edilmesi gerekmektedir. Kırmataş olarak Gurri formasyonu kireçtaşları kullanılabilir.

İnceleme sahası 1. derecede deprem bölgesi içinde kalmaktadır.

ABSTRACT- This investigation has been prepared as a Ph.D. thesis to be submitted to the programs of Applied Geology, Department of Geological Engineering, Institute of Science, Mediterranean University. Field, laboratory and office work started in 1986 and finished in 1989. The study area covers Kopdağı 1 and Kopdağı 2 tunnel lines at Trabzon-Erzurum highway. Rock mass classifications and their applications to tunnel lines, determinations of geological and geotechnical conditions of Kopdağı 1-Kopdağı 2 tunnel lines have been investigated in this study. As a result of all investigations; At Kopdağı 1 tunnel line, landslide material between 0.000-0.060 kms. must be excavated, the effect of landslide which approaches the tunnel code between 2.000-3.000 kms. must be prevented. Because of Kopdağı 2 tunnel line's position between 0.000-2.030 kms. is in landslide mass so excavation mustn't be done. On the other hand, appropriate aggregate material to be used for concrete has been investigated in case of a tunnel construction. Because the strength of concrete desired could not be obtained, this is only possible by breaking of limestones which belong to Gurri formation and adding to concrete.

The oldest unit in the investigation area is Çankulesi metamorphites made up of pre Permo-Carboniferous aged recrystallized limestones, gneiss and schist. Lower-Middle Jurassic is represented by the Sarıkaya formation which is composed of oolitic limestone, cherty limestone, limestone, sandstone, marl and mudstone consecution. Upper Jurassic-Lower Cretaceous is represented by Gurri formation which is formed by Bakdülü limestone-shale, Kızıllaşme cherty limestone and Aktaş sandstone-limestone-shale members. Kop ultramaphites has obduced into the study area in the time interval between Upper Jurassic and Lower Cretaceous. Göllerderesi formation consists of Miocene aged Kandiltaş conglomerate and Göller mudstone-shale members. Quaternary is represented by alluvium and slope wash.

Kop ultramaphites and Gurri formation, Gurri formation and Göllerderesi formation contacts in the investigated area are anularly discontinuiny. Lots of folds take place in the Gurri formation formed by tectonic movements. It has been observed that the investigated area tectonically activated After Miocene has 13 normal, reverse, strikeslip and overthrust faults.

RSR, RMR and Q systems are used in rock mass classification. The support recommendeds founds by three systems are gathered by also taking account of geological conditions. Kopdağı 1 tunnel line is 3060 m. long. The active landslide material must be partially removed and a concrete wall must be constructed.

Exactly 1500 m. of tunnel will be excavated in ultramaphite rocks. Between 2.000-3.000 kms. the landslide which approaches the tunnel code can cause water explosions and immediate collopses. The tunnel line is cut by two faults. Kopdağı 2 tunnel line is 6130 m.long. Because the tunnel line takes place in landslide zone between 0.000-2.030 kms. It's impossible to excavate. This line definetely be left.

In the study area 7 landslide zones are determined. Three of these zones affect the tunnel lines.

The nearest concrete agregate material can be provided from Karasu Stream (Erzurum-Aşkale) in case of a tunnel construction. The researches done showed that the most appropriate area for its physical properties is B. Concrete mixtures are prepared by the samples taken from this area and concrete strength is examined. The desired strength are not obtained in the experiment results. Broken stones must be added in concrete to increase the strength. Gurri formation limestones can be used as broken stones.

The investigation area has 1st magnitude of seismicity.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	Sayfa No
I. GİRİŞ	1
I.1.İncelemenin Amacı	1
I.2.İnceleme Alanının Yeri	1
I.3.Çalışma Yöntemi ve Süresi	3
I.4.Teşekkür	3
II. COĞRAFYA	5
II.1.Doruklar	5
II.2.Akarsular	5
II.3.İklim	7
II.4.Bitki Örtüsü	7
II.5.Ulaşım	7
III.GENEL JEOLojİ	11
III.1.Önceki Çalışmalar	11
III.2.Stratigrafi	15
III.2.1.Giriş	15
III.2.2.Çankulesi Metamorfizitleri (Pç)	15
III.2.3.Kop Ultramafiti (Mk)	18
III.2.4.Sarıkaya Formasyonu (Js)	20
III.2.5.Gurri Formasyonu (J-Kg)	21
III.2.5.1. Bakdülü kireçtaşı-şeyl üyesi (J-Kgb)	22
III.2.5.2. Kızıleşme çörtlü kireçtaşı üyesi (J-Kgk)	23
III.2.5.3. Aktaş kumtaşı-kireçtaşı-şeyl üyesi (J-Kga)	23
III.2.6.Göllerderesi Formasyonu (Tg)	24
III.2.6.1. Kandiltaş çakıltası üyesi(Tgk)	25
III.2.6.2. Göller kumtaşı-şeyl-çamurtaşı üyesi (Tgg)	26
III.2.7.Alüvyon (Qal)	27
III.2.8.Yamaç Molozu (Qym)	27
III.3.Yapısal Jeoloji	27
III.3.1. Diskordanslar	28

	<u>Sayfa No</u>
III.3.2. Kıvrımlar	28
III.3.3. Eklemler	29
III.3.4. Faylar	29
III.3.4.1. Düşey faylar	38
III.3.4.2. Ters fay	39
III.3.4.3. Doğrultu atımlı faylar	40
III.3.4.4. Şariyajlar	41
IV.MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ	43
IV.1.Giriş	43
IV.2.Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 Tünel Güzergahlarındaki Kayaçların Jeomekanik ve Jeoteknik Özellikleri	44
IV.2.1.Fiziksel Özellikler	45
IV.2.2.Mekanik Özellikler	46
IV.2.3.Süreksizliklerin Jeoteknik Özellikleri	60
IV.3.Kaya Kütlesi Tanımlamaları	81
IV.3.1.Kaya Kütlesi Sınıflamalarının Tarihsel Gelişimi	82
IV.3.2.Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları için yapılan kaya kütlesi sınıflamalarının ayrıntılı tanıtımı	92
IV.3.2.1.RSR	92
IV.3.2.2.RMR	102
IV.3.2.3.Q	113
IV.3.2.4.RSR, RMR ve Q sistemlerinin karşılaştırılması	136
IV.3.3.Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarında yapılan kaya kütlesi sınıflamaları için veri toplama yöntemi	137
IV.4.Kaya Kütlesi Sınıflamalarının Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 Tünel Güzergahlarına Uygulanmaları	143
IV.4.1.Kopdağı 1 tünel güzergahı	144
IV.4.1.1. RSR sistemiyle sınıflama	144
IV.4.1.2. RMR sistemiyle sınıflama	146
IV.4.1.3. Q sistemiyle sınıflama	148
IV.4.2. Kopdağı 2 tünel güzergahı	153
IV.4.2.1.RSR sistemiyle sınıflama	153

IV.4.2.2. RMR sistemiyle sınıflama	155
IV.2.2.3. Q sistemiyle sınıflama	159
IV.4.3.RSR, RMR ve Q sınıflama sistemleriyle bulunan destek önlemlerinin karşılaştırılması	164
IV.5.Hidrojeoloji	169
IV.6.Heyelanlar	170
IV.7.Kopdağı 1 Tünel Güzergahının Jeolojik ve Jeoteknik Değerlendirmesi	173
IV.8.Kopdağı 2 Tünel Güzergahının Jeolojik ve Jeoteknik Değerlendirmesi	177
V. BETON AGREGA ARAŞTIRMALARI	185
V.1. A Bölgesi	186
V.2. B Bölgesi	187
V.3. C Bölgesi	189
V.4. A, B, C, Bölgelerinin Değerlendirilmesi	190
V.5. Beton Karışım Hesabı	191
VI. EKONOMİK JEOLJİ	236
VII.DEPREMSELLİK	237
VIII.SONUÇ VE ÖNERİLER	239
IX. ÖZET	241
X. KAYNAKLAR	251

METİN İÇİ ŞEKİLLER VE TABLOLAR LİSTESİ

- Şekil-1- İnceleme alanı mevki haritası.
- Şekil-2- İnceleme alanı doruk ve akarsu ağı haritası.
- Tablo-1- Erzurum meteoroloji istasyonu verilerine göre de-
neştirmeli nem bilançosu.
- Grafik-1- Erzurum meteoroloji istasyonu verilerine göre ya-
ğış ve Potansiyel Buharlaşma-Terleme ilgilerini
gösterir grafik.
- Şekil-3- Saptıran (Erzurum)-Kopdibi (Gümüşhane) arasının
genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.
- Tablo-2- Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahındaki kayaç-
ların derişme dereceleri.
- Şekil-4- Tünel giriş ağzında, Gurri formasyonundaki eklemle-
rin stereografik ve eşit alan izdüşümleri (Kopdağı 1
tünel güzergahı).
- Şekil-5- Tünelin orta kesiminde, Gurri formasyonundaki eklem-
lerin stereografik ve eşit alan izdüşümleri (Kopdağı
1 tünel güzergahı).
- Şekil-6- Tünelin orta kesiminde Kop ultramafitindeki eklem-
lerin stereografik ve eşit alan izdüşümleri (Kopdağı 1
ve Kopdağı 2 tünel güzergahı).
- Şekil-7- Tünel çıkışında, Kop ultramafitlerindeki eklemelerin
stereografik ve eşit alan izdüşümleri (Kopdağı 1 ve
Kopdağı 2 tünel güzergahı).
- Şekil-8- Kandiltaş Tepe'de, Göllerderesi formasyonundaki ek-
lemlerin stereografik ve eşit alan izdüşümleri
(Kopdağı 2 tünel güzergahı).
- Şekil-9- Kandiltaş Tepe'de, Gurri formasyonundaki eklemelerin
stereografik ve eşit alan izdüşümleri (Kopdağı 2 tü-
nel güzergahı).
- Şekil-10- Gurri Tepe'de, Gurri formasyonundaki eklemelerin
stereografik ve eşit alan izdüşümleri (Kopdağı 2
tünel güzergahı).
- Tablo-3- Ultramafit örneklerinin fiziksel özellikleri (Kopdağı 1
tünel güzergahı).
- Tablo-4 - Ultramafit örneklerinin fiziksel özellikleri (Kopdağı 2
tünel güzergahı).

- Tablo-5- Serpantin örneklerinin fiziksel özellikleri
(Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahı).
- Tablo-6- Beyaz kireçtaşı örneklerinin fiziksel özellikleri
(Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahı).
- Tablo-7- Gri kireçtaşı örneklerinin fiziksel özellikleri
(Kopdağı 1 tünel güzergahı).
- Tablo-8- Gri kireçtaşı örneklerinin fiziksel özellikleri
(Kopdağı 2 tünel güzergahı).
- Tablo-9- Kumtaşı örneklerinin fiziksel özellikleri
(Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahı).
- Tablo-10- Çakıлтаşı örneklerinin fiziksel özellikleri
(Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahı).
- Tablo-11- Çamurtaşı örneklerinin fiziksel özellikleri
(Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahı).
- Tablo-12- Kopdağı 1 tünel güzergahı kayaçlarının ortalama fiziksel özellikleri.
- Tablo-13- Kopdağı 2 tünel güzergahı kayaçlarının ortalama fiziksel özellikleri.
- Şekil-11- Çakıлтаşılarının $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.
- Şekil-12- Çamurtaşlarının $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.
- Şekil-13- Kireçtaşlarının (beyaz) $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.
- Şekil-14- Kireçtaşlarının (gri) $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.
- Şekil-15- Kireçtaşlarının (gri) $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.
- Şekil-16- Kumtaşlarının $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.
- Şekil-17- Ultramafitlerin $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.
- Şekil-18- Ultramafitlerin $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.
- Şekil-19- Serpantinlerin $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.
- Tablo-14- Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahı kayaçlarının ortalama mekanik özellikleri

- Tablo-15- Nokta yük dayanımına göre kaya tanımlaması.
- Tablo-16- Tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülüne göre kaya tanımlaması.
- Tablo-17- Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahındaki kayaların mekanik özelliklerine göre genel değerlendirmesi.
- Tablo-18- Devamlılık sınıflaması .
- Tablo-19- Açıklık sınıflaması.
- Tablo-20- Pürüzlülük sınıflaması.
- Tablo-21- Kayaç malzemesinin bozunum dereceleri.
- Tablo-22- Kayaç kütlesinin bozunma dereceleri.
- Tablo-23- Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahındaki kayaların süreksizliklerinin jeoteknik özellikleri.
- Şekil-20- Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahındaki kayaların devamlılıklarının histogram çözümleri.
- Şekil-21- Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahındaki kayaların pürüzlülüklerinin histogram çözümleri.
- Şekil-22- Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahındaki kayaların açıklıklarının histogram çözümleri.
- Tablo-24- Terzaghi'nin çelik kemer iksalı tüneller için kaya yükü sınıflaması.
- Tablo-25- Stini'ye göre beklenen dağ basınçları.
- Tablo-26- Rabcewicz'e göre kaya sınıflaması.
- Tablo-27- Lauffer'e göre kaya sınıflaması ve kendi kendini tutma süresi.
- Şekil-23- Lauffer'e göre aktif iksasız açıklık.
- Şekil-24- Farklı kaya sınıflarının aktif iksasız açıklık ve kendi kendini tutma süresi arasındaki ilişkisi.
- Şekil-25- Tünel açma sırasında kaya stabilitesini etkileyen faktörler.
- Tablo-28- Zanoskar'a göre destek önlemleri.
- Tablo-29- Grob'a göre 4 kaya sınıfının tünel açma esnasındaki belli başlı davranışları.
- Şekil-26- Terzaghi'nin geliştirilmiş kaya yüküfaktörü ile RQD arasındaki yaklaşık ilişki.

- Şekil-27- Tünel genişliği ve RQD ye bağlı destek seçimi.
- Tablo-30- Brekke ve Howard'a göre süreksizlik dolgusunun tünel davranışı üzerindeki etkisi.
- Tablo-31- RSR A parametresi.
- Tablo-32- RSR B parametresi.
- Tablo-33- RSR C parametresi.
- Tablo-34- Karot analizi.
- Tablo-35- Tünel çapına bağlı RSR değeri ile kaya yükünün karşılaştırılması.
- Şekil-28- 10 feet çaplı tünel için destek tablosu.
- Şekil-29- 20 feet çaplı tünel için destek tablosu.
- Şekil-30- 24 feet çaplı tünel için destek tablosu.
- Şekil-31- Makina ile tünel açmada RSR düzeltme faktörü.
- Tablo-36- Sağlam kayacın direncine göre sınıflaması.
- Tablo-37- Eklem sıklığına göre sınıflama.
- Tablo-38- RMR sınıflama sistemi.
- Tablo-39- Eklem doğrultu, eğimine göre uygunluğunun belirlenmesi.
- Şekil-32- Aktif iksasız açıklık ile iksasız kendi kendini tutma süresi arasındaki ilişki.
- Tablo-40- RMR sınıflama sisteminde kazı ve iksa önerileri.
- Tablo-41- Q sistemi sınıflama parametreleri.
- Tablo-42- Jr ve Ja parametrelerinden zahiri makaslama kuvveti tahmini.
- Şekil-33- Q sistemi eş boyut ve kaya kalitesine bağlı destek sınıfları.
- Tablo-43- Yeraltı kazılarına uygun ESR oranları ve uygulama örneklerinin sayısı.
- Tablo-44- Q sistemine göre önerilen destek önlemleri.
- Şekil-34- Q sistemi, destek basıncı ile kaya kalitesi arasındaki ilişki.
- Şekil-35- Q sistemi, iksasız açıklık ile kaya kalitesi arasındaki ilişki.

Şekil-36- Q sistemi, iksasız kendi kendini tutma süresi ile kaya kalitesi arasındaki ilişki.

Şekil-37- RMR ve Q sistemleri ile yapılan çalışmaların karşılaştırılması.

Şekil-38- RSR sistemi veri toplama formu.

Şekil-39- RMR sistemi veri toplama formu.

Şekil-40- Q sistemi veri toplama formu.

Tablo-45- RSR, RMR ve Q sistemleri ile bulunan iksa önlemlerinin karşılaştırılması (Kopdağı 1 tünel güzergahı).

Tablo-46- RSR, RMR ve Q sistemleri ile bulunan iksa önlemlerinin karşılaştırılması (Kopdağı 1 tünel güzergahı).

Tablo-47- RSR, RMR ve Q sistemlerinin birleştirilmesi ile elde edilen iksa önlemleri (Kopdağı 1 tünel güzergahı).

Tablo-48- RSR, RMR ve Q sistemlerinin birleştirilmesi ile elde edilen iksa önlemleri (Kopdağı 1 tünel güzergahı).

Şekil-41- Agreganın dane dağılımı.

Tablo-49- Beton sınıflarının basınç dayanımı.

Tablo-50- Basınç dayanımlarına göre su-çimento oranı.

Tablo-51- Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme değerleri.

Tablo-52- Karışım suyu miktarı.

Şekil-42- İnceleme alanı depremsellik haritası.

EKLER

- EK 1 Saptıran (Erzurum)-Kopdibi (Gümüşhane) arasının jeoloji haritası. Ölçek: 1/25 000
- EK 2 Saptıran (Erzurum)-Kopdibi (Gümüşhane) arasının jeoloji enine kesitleri. Ölçek: 1/25 000
- EK 3 Trabzon-Erzurum Karayolu Kopdağı 1 tünel güzergahı jeoloji haritası ve kesiti. Ölçek: 1/2 000
- EK 3IA 0.000-0.800 km.ler arası,
EK 3IB 0.800-2.170 km.ler arası,
EK 3IC 2.170-3.060 km.ler arası.
- EK 4 Trabzon-Erzurum Karayolu Kopdağı 2 tünel güzergahı jeoloji haritası ve kesiti. Ölçek: 1/2 000
- EK 4IIA 0.000-1.000 km.ler arası,
EK 4IIB 1.000-2.400 km.ler arası,
EK 4IIC 2.400-3.800 km.ler arası,
EK 4IID 3.800-5.200 km.ler arası,
EK 4IIE 5.200-6.130 km.ler arası.
- EK 5 Karasu Çayı malzeme sahaları ve numune-gözlem kuyu kesitleri.

FOTOĞRAFLAR

Fotoğraflar 28 adet.

I. GİRİŞ

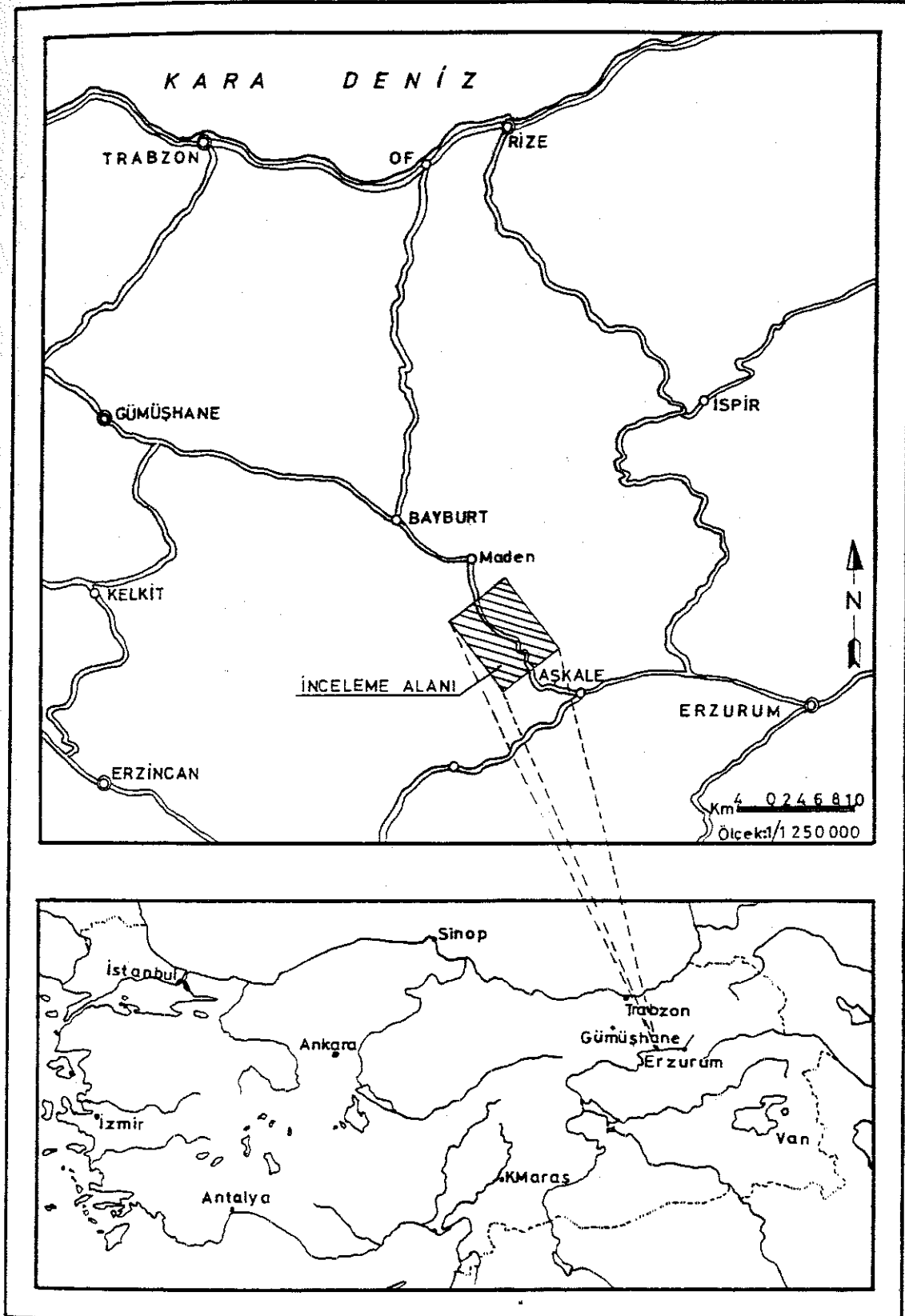
Trabzon-Erzurum Karayolu'nun, 2300 m. yüksekliğe sahip Kop Geçidi mevkiinde kış aylarında karayolu ulaşımının sağlanması sorunlu, hatta bazı zamanlarda olanaksızdır. Karayolları XII. Bölge Müdürlüğü Kop Geçidi mevkiinde açılacak bir tünelle, bu sıkıntılı kesimin kolay bir şekilde geçilmesi amacıyla 1970'li yıllarda çalışmalarına başlamıştır. Son olarak 1986 ve 1987 yılında 2 tünel güzergahı belirlenmiş ve bu güzergahlarda jeolojik-jeoteknik çalışmalara başlamıştır. Özel bir şirket tarafından bölgedeki tünel güzergahlarında sondaj çalışmaları halen devam etmektedir.

I.1. İNCELEMENİN AMACI

Bu inceleme, tünellerde kaya kütlesi sınıflamaları ve Kopdağı 1, Kopdağı 2 tünel güzergahlarına uygulamaları ile Kopdağı 1, Kopdağı 2 tünel güzergahlarının jeolojik-jeoteknik değerlendirilmesini amaçlar. Ayrıca, tünelde kullanılabilecek beton agrega malzemesinin yeri ve özellikleride araştırılmıştır. Bunun için bölgenin 1/25.000 ölçekli, tünel güzergahlarının 1/2000 ölçekli jeolojik haritaları hazırlanmıştır.

I.2. İNCELEME ALANININ YERİ

İnceleme alanı, Doğu Karadeniz Bölgesi ile Doğu Anadolu Bölgesi'nin NE kesimi içinde, Gümüşhane iline bağlı Bayburt ilçesi ile, Erzurum iline bağlı Aşkale ilçesi arasında yer alır (Şekil-1). Trabzon-Erzurum karayolu inceleme alanının tamamını NW-SE yönünde kateder ve çalışma alanı yaklaşık 110 km² dir.



Şekil-1- İnceleme alanı mevki haritası

Location map of the investigated area.

I.3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ VE SÜRESİ

Önce bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanarak genel ve yapısal özellikler belirlenmiştir. Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarının 1/2.000 ölçekli jeoloji haritaları ile her iki tünel güzergahında tünel kotuna kadar 1/2.000 ölçekli jeolojik profili hazırlanmıştır. Jeolojik harita alımı kaya stratigrafi birim ayırdına dayanmıştır. Tünel güzergahlarının Jeoteknik özelliklerinin belirlenmesinde; Uluslararası Kaya Mekanik Derneği, Mühendislik Jeolojisi Çalışma Grubu'nun önerileri doğrultusunda çalışılmıştır. Tünel güzergahlarında kaya kütlesi sınıflamaları ile iksa önlemleri için RSR, RMR ve Q sistemleri kullanılmıştır. Beton agrega malzemesi için kum-çakıl ocağı olabilecek 2 bölge belirlenmiş ve bu bölgelerde yaklaşık 2 m. derinliğinde açılan kuyularda gözlemler yapılarak oluk şeklinde numuneler alınmıştır. Ayrıca eski dere alüvyonlarında kullanılıp kullanılamayacağı aynı şekilde araştırılmıştır. Malzeme sahalarının sınırları ve konumları gösterir. 1/10 000 ölçekli harita ile numune ve gözlem kuyularının kesitleri hazırlanmıştır.

1986 Haziran ayında başlayan bu çalışma yaz aylarında arazi, diğer aylar laboratuvar ve büro çalışmaları şeklinde 1989 Nisan ayına kadar sürdürülmüştür. Fiziksel, mekanik ve malzeme ile ilgili bütün laboratuvar deneyleri yazar tarafından yapılmıştır. Saha çalışmaları özel bir şirkete ait sondaj kampından yürütülmüştür.

I.4. TEŞEKKÜR

Bu incelemede, arazi ve büro çalışmalarında yapıcı eleştirilerinden yararlandığım danışman hocam Prof.Dr.Aziz Ertunç'a şükranlarımı sunarım.

Malzeme bölümü ile ilgili görüşlerinden yararlandığım Doç.Dr.Okay Gürpınar'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar ve büro çalışmaları sırasında her zaman görüşlerinden faydalandığım Yrd.Doç.Dr. Mesut Köseoğlu ve Yrd.Doç.Dr.A.Ergun Türker'e, Genel Jeoloji konusunda eleştirilerinden yararlandığım Jeo. Yük.Müh. Sami Yalçınkaya'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu inceleme Yüksel Proje A.Ş.'nin katkıları olmaksızın gerçekleşmezdi. Yazar, incelemeyi maddi katkılarıyla baştan sona destekleyen bu şirkete ve şirket genel müdürü Jeo.Yük. Müh.Hikmet Tümer'e, incelemenin bir kısmına maddi katkıda bulunan Batko Jeoloji'ye ve sahipleri Jeo.Yük.Müh. Cumhur Bat, Dr.Bülent Kiper'e teşekkürü bir borç bilir.

Büro çalışmaları sırasında bir kısım çizimlere yardım eden Isparta Mühendislik Fakültesi Jeoloji Bölümü öğrencilerinden Ufuk Sert'e teşekkür ederim.

Çalışmanın her safhasında manevi katkılarıyla destek olan ve sabırla metni daktilo eden sevgili eşim Vildan Mutlutürk'e teşekkürlerimi sunarım.

II. COĞRAFYA

İnceleme alanı Doğu Karadeniz Bölgesi ile Doğu Anadolu Bölgesi'nin NE kesiminde yer alır. Erzurum-Gümüşhane il sınırı çalışma sahasının yaklaşık ortasından geçen Morfoloji; NE-SW gidişli, yapı ve litoloji ile uyumludur. Yükseltiler N'e doğru gidildikçe artar, Kop Dağları'nda 3000m. ye yaklaşır, S'e doğru Aşkale dolayında 1500 m.ye iner.

II.1.DORUKLAR

İnceleme alanında doruklar yapı ve litoloji denetiminde gelişmiştir. Doruklar NE-SW gidişleriyle ana yapısal hatlara tamamen uyumluluk gösterir.

Doruklar N'den S'e doğru şöyledir; Ramazan Dağı(2834m.) Sarıkaya Tepe (2313 m.), Kişmişin Tepe (2731 m.), Bakdülü Tepe (2313 m.), Kalenintaş Tepe (2070 m.), Kaleboynunun Tepe (2250 m.), Kılıçtaş Tepe (2401 m.), Kandiltaş Tepe (2433 m.), Kızıleşme Tepe (2457 m.), Çamlı Tepe (2461 m.), Gurri Tepe (2638 m.), Karataş Tepe (2445 m.), Kurugöl Tepe (2649 m.), Akdağ (2284 m.), Küçük Akdağ (1902 m.), Kelle Tepe (2634 m.), Kazyurdu Tepe (2093 m.), Seferkuyu Tepe (1981 m.), Yassı Tepe (1979 m.), Halilhayratı Tepe (2052 m.), Kutucuk Tepe (1928 m.), Massatlık Tepe (1850 m.) dir.

II.2. AKARSULAR

İnceleme alanında büyük akarsu bulunmaz, litoloji ve yapıdan bağımsız gelişmiş pek çok dere bulunur. Sulu dereler azınlıkta, kuru dereler çoğunlukta ve kolları vadilere asılıdır, akarsu ağı dendritik örnektedir. Henege suyu, Naldöken Dere, Atçayırın Dere, Bal Dere, Domuz Dere, Arapçayırı Dere, Göller Deresi (Kıskançlı Dere olarak devam eder ve Kop Deresi olarak inceleme alanını terk eder), Kopırçağın



Şekil-6- İnceleme alanı doruk ve akarsı ağı haritası
Orographic and hydrographic map of the investigated area..

Dere belli başlı sulu derelerdir. Bu derelere bağlı pekçok kuru dere vardır.

II.3. İKLİM

İnceleme alanında karasal iklim tipi hakimdir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Kışların çok soğuk ve uzun sürmesi yolların sık kapanmasına neden olur.

İnceleme sahasına en yakın meteoroloji istasyonu Erzurum'da yer alır. Erzurum Meteoroloji İstasyonu'nun sıcaklık ve yağış verilerine göre Penman yöntemiyle denestirmeli nem bilançosu hazırlanmıştır (Tablo 1).

Erzurum'da yıllık ortalama yağış 449.13 mm., yıllık ortalama sıcaklık 5.9°C'dir. En düşük sıcaklık ortalaması Ocak ayında -8.6°C, en yüksek sıcaklık ortalaması Ağustos ayında 19.6°C'dir. Gerçek buharlaşma-terleme 412.07 mm., su fazlası 66.23 mm. dir. Ortalama yağış Nisan ayında 53.96 mm. ile en yüksek, 18.40 mm. ile Ağustos ayında en düşüktür.

II.4. BİTKİ ÖRTÜSÜ

İnceleme alanı içinde, nispeten alcaklarda meşelik ve çalılıklar, yamaçlarda ve düzlüklerde çayırılık alanlar bulunur. Daha yüksek alanlar bitki örtüsünden yoksundur. Yayla niteliğindeki yüksek kesimlerde, kuru tarım ve bahçecilik önde gelir, tahıl üretimi yaygın ise de yetersizdir.

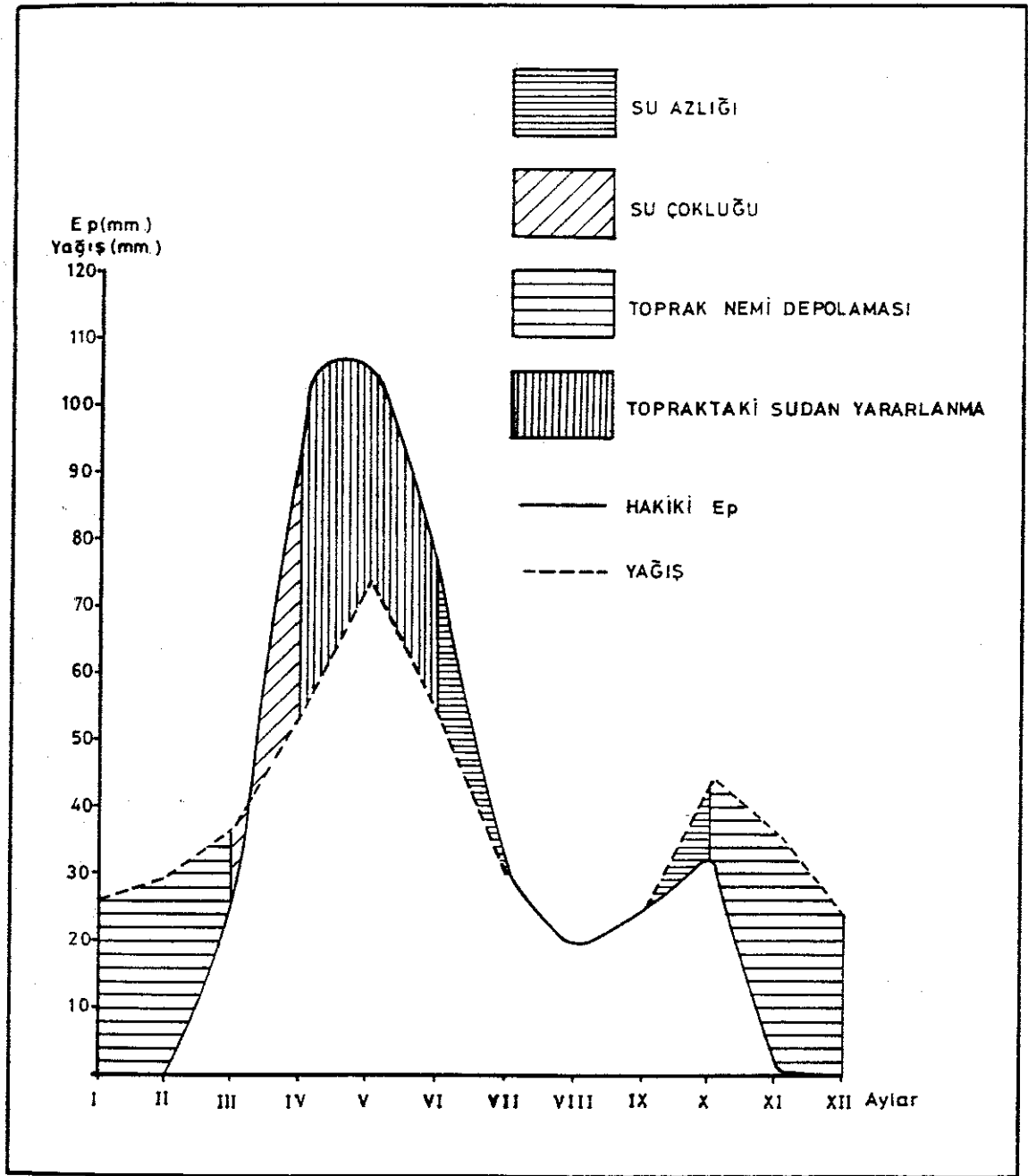
Köylerde, büyük ve küçük baş (genellikle koyun) hayvan ile kümes hayvanları yetiştirilir, ayrıca arıcılık gelişmiştir.

II.5. ULAŞIM

İnceleme alanının ortasından NW-SE yönünde Erzurum-Trabzon karayolu geçer. Bu yol inceleme alanı içinde

Tablo-1- Erzurum meteoroloji istasyonu verilerine göre denestirmeli nem bilançosu
The comparative moisture balance sheet of the meteorological data of the
Erzurum station.

AYLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	YILLIK
SICAKLIK	-8.6	-6.9	-2.6	5.2	10.8	14.9	19.2	19.6	15	8.3	1.7	-5.3	5.9
EVAPOTRANSPIRAS. POTANSİYELİ Ep. (mm)	0.0	0.0	25.73	100.2	106.64	124.5	149.11	126.79	78.9	32.24	0.6	0	744.71
YAĞIŞ (mm)	25.97	29.35	36.64	53.96	73.54	53.21	29.67	18.40	24.72	44.15	36.08	23.43	449.13
YAĞIŞ-Ep. (mm)	25.97	29.35	10.91	-46.24	-33.1	-71.29	-119.44	-108.39	-54.18	11.91	35.48	23.43	-295.59
REZERV SU	100.0	100.0	100.0	53.26	20.66	0.0	0.0	0.0	0.0	11.91	47.39	70.82	
HAKİKİ EVAPOTRANSPIRAS. (mm)	0.0	0.0	25.73	100.2	106.64	73.87	29.67	18.40	24.72	32.24	0.6	0.0	412.07
EKSİK SU (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.63	119.44	108.39	54.18	0.0	0.0	0.0	332.64
FAZLA SU (mm)	25.97	29.35	10.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.23



Grafik-1- Erzurum Meteoroloji İstasyonu verilerine göre Yağış ve Potansiyel Buharlaşma-Terleme ilgilerini gösterir grafik.

Diagram showing relation between precipitation and potential Evapo-Transpiration according to meteorological data in Erzurum station.

stabilizedir. Kopardibi Komu'ndan SE'ya doğru Kaskançlı Dere boyunca 2.5 km., Hasbey Komu'ndan NW'ya doğru Heneye suyu boyunca 2 km. toprak yol bulunur. Bu yol taşkınlardan sürekli kapanmakla beraber ancak Traktör'le ulaşım sağlanabilir. Ayrıca Karataş Tepe'den SW'ya doğru bir toprak yol bulunur.

III. GENEL JEOLojİ

III.1. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

LAHN (1939) "Karasu ile Çoruh Nehri Arasındaki Mıntıkada Yapılan Jeolojik Tatkikata Dair Rapor"unda, metamorfiklerin Mesozoyik'ten önce, serpantinlerin ise en geç Alt Kretase'den önce oluşmuş olabileceklerini, Liyas ve Alt Kretase'nin transgresif olarak geldiğini, Üst kretase'de flişe geçtiklerini ve flişin serpantin ile karıştığını söylemiştir.

KETİN (1951) "Erzinçan ile Aşkale Arasındaki Sahanın Jeolojisi'ne Ait Memuar"ında, Alt Kretase plaket kalker ve marnlarının Üst Kretase'de flişe geçtiğini, serpantinler içinde Alt Kretase bloklar bulunduğunu ve bunların kalkerli flişimsi formasyonlardan intrüzyon sırasında koparıldığını ve serpantinleri Senoniyen flişin örttüğünü belirtmiş, daha doğuda Kretase yaşlı şiddetli kıvrımlı ikinci bir fliş seviyesinin bulunduğunu söylemiştir. Aşkale'nin güney batısında yeralan bu incelemede bahsedilen şiddetli kıvrımlı ikinci fliş seviyesi Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Gurri formasyonu'na karşılık gelir.

KETİN (1951) " Bayburt Bölgesinin Jeolojisi Hakkında" adlı, çalışma sahamızıda içine alan, incelemesinde, Bayburt-Aşkale arasında Liyas'ta başlayıp Senoniyen'i de içeren yaklaşık 7000 m. kalınlığında bir Mesozoyik istif yereldiğini belirtmiştir. Metamorfik bir temel üzerine gelen Liyas'ın; kumtaşı, konglomera, kumlu kireçtaşı ve kömür içeren şeyl-kumtaşı ardalanması ile başladığını, Dogger'in; kumlu-kırıntılı, kömür arakatlı kireçtaşların'dan, biyomikrit-biyosparit ve intrasparitler'den, Malm'ın; yoğun kireçtaşların'dan, Alt Kretase'nin ise; açık-beyaz renkli ve sık kıvrımlı marn, kireçtaşı ve fliş görünümünde kumtaşı, konglomera ve şeyller'den oluştuğunu ve Alt Kretase'nin tabanında Berriasien

Ammonitleri (*Berrisella pontica*, *B. boissieri*)'nin yer aldığı-
nı belirtmiştir. Ayrıca bölgede yapıların WSW-ENE gidişli
olduğunu ve kıvrımların N-NW ya devrik olduklarını söylemiştir.
Çalışma sahasında Liyas ve Malm Sarıkaya formasyonu ile tem-
sil olunur. Ancak içinde kömür arakatıkları gözlenemez.
Malm-Alt Kretase ise Gurri formasyonuna karşılık gelmektedir.

ALTINLI (1966) "Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun Jeoloji-
si" adlı incelemesinde, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da yaptığı
çalışmalarla üç tektonik bölge belirlemiştir.

1-Masifler

2-Ortotektonik bölge veya fliş bölgesi

a)İranid, b)Torid, c)Anatolid

3-Pratektonik bölge veya kenar çukuru yada kenar kıvrımları bölgesi

Çalışma sahası bu sınıflama içinde Ortotektonik Bölge'de kalır. Ortotektonik Bölge'de Alt Kretase, Kop Dağları'nda beyaz kireçtaşı, fliş, gri-yeşil, eflatun kireçtaşlarından oluşan Kop formasyonu ile temsil edilir. Kendinden önceki birimleri açısız diskordansla örttüğü söylenen bu birim, Gurri formasyonu ile eşdeğer olup yaşı Üst Jura-Alt Kretase'dir. Tabanda Orta Jura yaşlı Sarıkaya formasyonu ile de geçişlidir. Ofiyolitlerin Alt Kretase kireçtaşlarını Ksenolit olarak bulundurduğunu ve kireçtaşlarına intrüzyon yaptığından dolayı yaşının Alt Kretase'den genç olması gerektiğini belirtmiştir. Yazar'a göre kireçtaşları ofiyolitler üzerinde birincil çökelmiş ve ofiyolit yerleşimine bağlı olarak ilksel konumu bozularak bugünkü konumunu almışlardır. Buna göre oluşum yaşının Alt Kretase'den önce olması gerekmektedir. Çankulesi dolayında mostra veren metamorfiklere masifler kısmında yer veren araştırmacı, bunun eski temele ait gibi gözükmediğini, yeşil kayalarla yükseltilmiş bir ksenolit durumunda olduğunu söylemiştir. Yazara göre Metamorfik'ler ofiyolit gelimi esnasında, tabandan koparılmış ve eski temele ait olmalıdır. Yapısal Jeoloji bahsinde çalışma sahasında bir kısmı gözlenen Şaptıran saryajının 160 km. uzunluk ve 5km.

genli olduğunu ve serpantinli Üst Kretase'nin, Alt-Orta Miyosen üzerinde sürüklendiğini söylemiştir.

KENDİROĞLU (1976) "Erzurum-Aşkale Doğu Kop Bölgesi Kromit Yataklarının Jeolojisi"nde çalışmalarının esas konusunu teşkil eden kromitleri ve kromit içeren ultrabazikleri ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Çalışma sahasının güneydoğu kısmını içine alan bu incelemede, Çankulesi dolayında yeralan metamorfiklerin yakın çevre ile korele edilebilecek bir benzerlik sunmadığını, bölgeye ultrabaziklerin yükselmesine bağlı olarak geldiğini belirtmişlerdir. Alt Kretase fliş ve kireçtaşının bölgede geniş yer kapladığını Ammonitli ve aşırı kıvrımlı olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca ultrabaziklerin Alt Kretase sonrası bölgeye gelip yerleştiklerini belirtmişler, ancak bu yerleşimi kanıtlayan bir veri sunmamışlardır.

AĞAR (1977)"Demirözü ve Köse Bölgesinin Jeolojisi"adlı doktora incelemesinde, kendinden önce Alt Kretase yaşı verilen tabakaların Üst Jura-Alt Kretase olduklarını belirtmişler, ofiyolitlerin Üst Jura-Alt Kretase'yi kestğini, Üst Paleosen tarafından transgressif olarak örtüldüğünü ve ofiyolitlerin oluşum yaşının Alt Kretase-Üst Paleosen zaman aralığı olduğunu söylemiştir. İnceleme alanında Üst Jura-Alt Kretase yaşı Gurri formasyonu ofiyolitler üzerinde diskordanslı yer alır. Bu durumda ofiyolitlerin oluşum yaşı Üst Jura öncesi olmalıdır.

BİLGİN (1983)"Serçeme Deresi ve Dolayının Jeolojik-Petrografik İncelemesi"nde stratigrafi konglomera, kumtaşı, şeyl çökelimi ile Dogger'de başlar ve bunları uyumsuz olarak örten Malm ve Alt Kretase yaşı birbirleri ile uyumlu kireçtaşları ile devam eder. Alt Kretase kireçtaşlarını faylı bir dokanakla Üst Kretase kireçtaşları üzerler. Senozoyikte diskordanslı olarak Eosen ve Miyosen gelir. Miyosen tabanda konglomera ve üste doğru kumtaşları ile temsil edilir. Ofiyolitler ise Alt Kretase ile Üst Kretase arasında yeralan bindirme düzleminde bulunur. Dogger ve Malm arasındaki uyumsuzluk tünel güzergahında uyumludur. Kireçtaşı fasiyesinde

olan Malm ve Alt Kretase kireçtaşılarının yanısıra; kumlu kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, marn ve şeyl ile temsil edilir. Eosen gözlenmez kretase üzerine diskordanslı olarak konglomera ve konglomera, kumtaşı, çamurtaşından oluşan iki ayrı üye halinde Miyosen gelir.

ERTUNÇ (1984) "Çoruh-Norgah ve İspir Baraj Yerleri ve Göl Alanları ile Norgah-İspir Tünel Güzergahları'nın Mühendislik Jeolojisi İncelemesi" adlı, Bayburt'un NE'sunda yer alan, Doçentlik Tezi'nde Liyas'tan Üst Kretase sonuna kadar sürekli olduğu belirtilen Pügey formasyonu, içindeki volkanikli seviyeler gözardı edildiğinde, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Gurri formasyonu ile benzerlik sunar. Pügey formasyonu volkanizmanın egemen olduğu, Gurri formasyonu ise volkanizmanın olmadığı ortamda gelişmiş, birbirlerinin yanıl eşdeğeri olabilecek iki formasyondur.

KORKMAZ, BAKİ (1984) "Demirözü Güneyinin Stratigrafisi" adlı çalışmalarında, metamorfiklerden oluşan Pulur Masifi üzerine güneyde Dogger-Alt Kretase yaşlı çökellerin geldiklerini belirtmişlerdir. Dogger'de kömür kırıntıları ile başlayan çökelim üste doğru volkanotortul serilere geçen ve kömür bitki kırıntıları içeren kumtaşı, kuvarsit, silttaşı, şeyl, marn, tuf ve tufit ardalanması ile devam eder. Bu birim, Sarıkaya formasyonu'na karşılık gelmektedir. Ancak çalışma sahasında dar bir alan kaplayan bu formasyonda kömür ve bitki kırıntıları ile volkanik arakatki gözlenmez. Malm-Alt Kretase yaşlı Hozbirlikyayla kireçtaşı, Gurri formasyonu'nun Bakdülü üyesine karşılık gelmektedir. Hozbirlikyayla kireçtaşının üste doğru radyolarit, çört, kireçtaşı, serpantin blokları, tuf, ayrıışmış bazalt ve andezitlerden oluşan Otlukbeli Melanji'na geçmesine rağmen Bakdülü üyesi, kumtaşı, şeyl, kireçtaşı, marn ardalanmasından oluşan Kızıleşme ve Aktaş üyelerine geçer.

ÖZER (1984) "Bayburt Yöresinin Jeolojisi" adlı çalışmasında, Paleozoyik yaşlı metamorfikler üzerine, Liyas'ta volkanik arakatlı kırıntılıların geldiğini, Dogger ve Malm

de kalın tabakalı, tabanda yeryer kumlu, yeryer dolomitik ve çörtlü kireçtaşlarıyla devam ederek Alt Kretase başlangıcında kireçtaşı-kumtaşı-marn ve giderek derin denizel mikritik kireçtaşlarına geçtiğini, denizel çökelimin Eosen sonu bittiğini belirtmiştir. Bu çalışmada ki stratigrafik dizilim ana hatlarıyla Kop bölgesindeki stratigrafiye benzerlik sunar, ancak çalışma sahasında ultrabazikler'de bulunur, Alt-Orta Jura geniş bir alan kaplamaz ve volkanik arakatkı gözlenemez, Kretase üzerine Eosen yerine Miyosen diskordanslı olarak gelir.

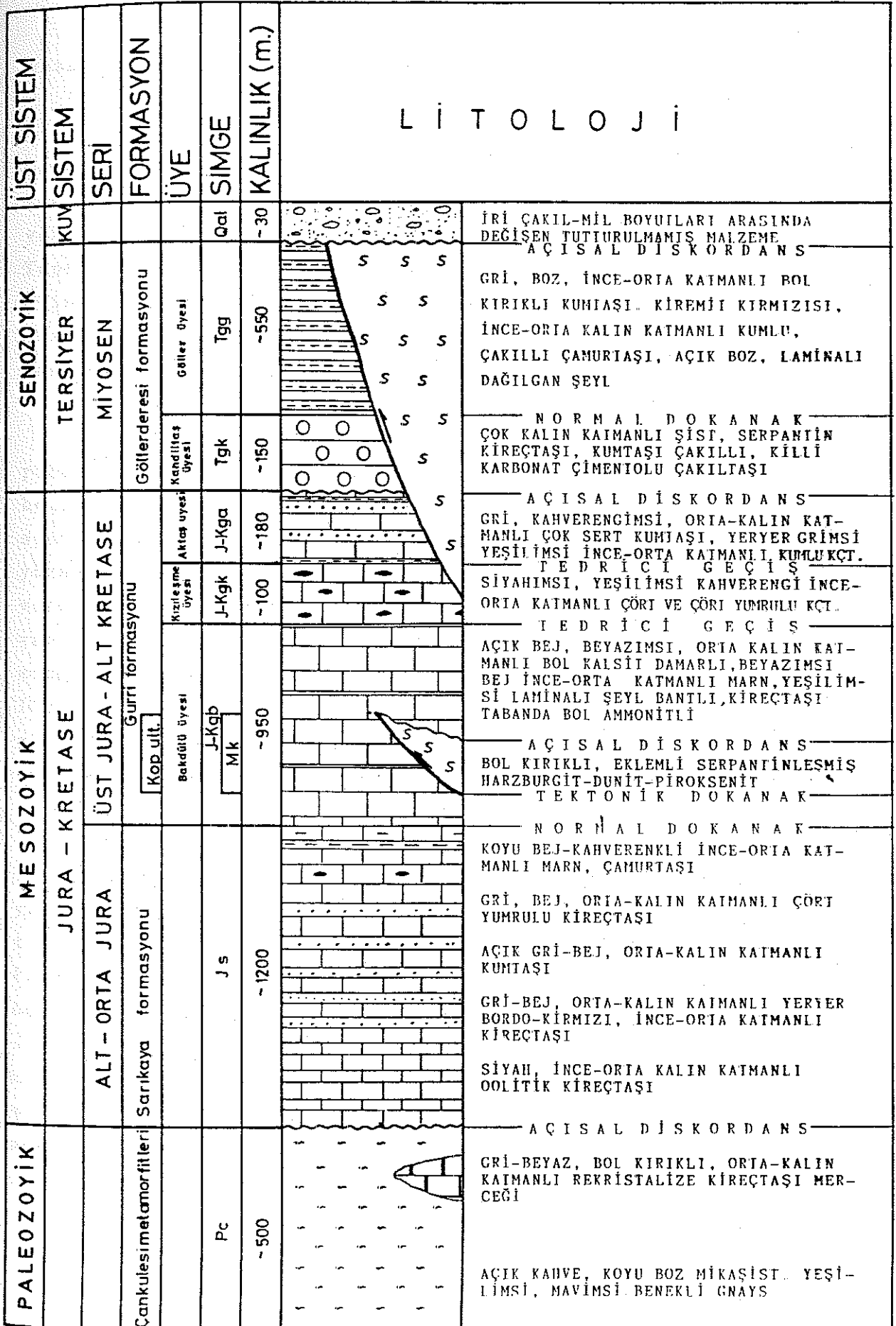
III.2. STRATİGRAFİ

III.2.1.GİRİŞ

Çalışma sahasında gözlenen en yaşlı birim Permo-Karbonifer öncesi yaşta Çankulesi Metamorfitleridir. Metamorfitler'in diğer tüm birimlerle olan dokanağı faylıdır. Alt-Orta Jura'da Sarıkaya formasyonu, Üst Jura-Alt Kretase'de Sarıkaya formasyonu ile uyumlu Gurri formasyonu yer alır. Miyosen'de Göllerderesi formasyonu kendinden önceki birimlerle açısal diskordanslı örter. Kop Ultramafiti Üst Jura öncesi oluşmuş ve Miyosen sonrası ikincil ve üçüncül hareketlerle bugünkü konumunu kazanmıştır. Kuvaterner, alüvyon ve yamaç molozları ile temsil olunmuştur.

III.2.2. ÇANKULESİ METAMORFİTLERİ (Pç)

Metamorfikler Trabzon-Erzurum karayolu üzerinde, Akdağ'ın yaklaşık 2 km. kuzeybatısında, Çankulesi mevkiinde ve Kandiltaş Tepe'nin yaklaşık 1.5 km. güneybatısında mostra verir. Çankulesi mevkiinde gnays ve şistlerden oluşan yaklaşık 3 km. uzunluğunda bir mercek şeklindedir ve topoğrafyada yumuşak görünümüdür. Kandiltaş Tepe'nin güneybatısında ise rekrystalize kireçtaşından oluşan yaklaşık 300 m. uzunluğunda ve 250 m. genişliğinde bir blok şeklindedir.



Şekil-3-Saptıran (Erzurum)-Kopdibi (Gümüşhane) arasının gerçekleştirilmiş stratigrafi kesiti.

Formasyona Çankulesi mevkiinde mostra verdiğinden, yazar tarafından Çankulesi metamorfittleri adı verilmiştir.

Formasyonun tabanı inceleme alanında gözlenemez, Çankulesi mevkiinde ultramafitler içinde tektonik bir dilim şeklindedir ve Gurri formasyonu ile olan dokanağı boyunca yaklaşık 50 m. kalınlığında breşik bir zon yer alır. Kandiltaş Tepe güneybatısında metamorfittler, ultramafitler içinde olistolit şeklindedir. Formasyonun tabanı görülmez ve düzgün bir istiflenme sunmaz. Sahadaki görünür kalınlığı yaklaşık 500 m.dir.

Mikaşistler, taze yüzeyi açık kahve, koyu boz ayrıışmış yüzeyi ise koyu gri, koyu kahverenkli dir. Yapraklanma pek belirgin değildir. Mikroskopik olarak kuvars mika ve feldspat içerirler. Gnayslar, mikaşistlerle geçişli olup taze yüzeyi yeşilimsi mavimsi, açık gri ayrıışmış yüzeyi ise kahverenkli dir. Kuvars ve feldspatlardan oluşmuş seviyeler devamlı olmayan iri bantları oluşturur. Mikroskopik olarak, muskovit, biyotit, kuvars ve feldspatlardan oluşur. Rekrystalize kireçtaşları yalnız Kandiltaş Tepe'nin güneybatısında gözlenir ve rengi gri-beyaz arasında değişir, bol kırık ve çatlaklıdır.

Metamorfittler içinde herhangi bir yaş bulgusuna rastlanılmadığı gibi yakın çevre ile korele edilebilecek bir büyüklükte sunmazlar. KETİN (1951), bu metamorfitt kayalar üzerinde yeralan serilerden derlediği fosillere göre yaşının Permo-Karbonifer olduğunu metamorfittlerin ise Permo-Karbonifer öncesi yaşta olması gerektiğini belirtmiştir. Bayburt yöresinde AĞAR (1977), KORKMAZ, BAKİ (1984), metamorfittleri diskordanslı örten serilere göre, yaşının Permo-karbonifer öncesi olduğunu kabul etmişlerdir. Bu verilere dayanarak Çankulesi metamorfittlerinin yaşının Permo-Karbonifer öncesi olduğu söylenebilir.

III.2.3. KOP ULTRAMAFİTİ (Mk)

Çalışma sahasının büyük bir kısmını oluşturan ultramafitler, yaklaşık doğu-güneydoğu uzanımlı bir zon boyunca Saptıran doğusunda Yassı Tepe'den başlayarak, inceleme sahasının batı ucunda yeralan Arapçayırı Dere arasındaki Gullabi Komu, Hasbey Komu, Kozyurdu Tepe, Kurugöl Tepe, Çamlı Tepe'de, Akdağ kuzeyinde Cankurtaran mevkiinde ve Kopdibi Komu'nda mostra verir. Topoğrafya'da yumuşak görünümlü olan ultramafitler sarp vadiler oluşturur ve tipik yeşil renkleriyle kolayca tanınır.

Serpantinleşmiş harzburgit, dünit, piroksenit, gabro ve pegmatitik gabro'dan oluşan ofiyolitik kayalara Kop Dağları'nın izafeten yazar tarafından Kop ultramafiti adı verilmiştir.

Kop ultramafiti Kopdibi Komu Mahallesi güneyinde Üst Jura-Alt Kretase Gurri formasyonu ile Miyosen Göllerderesi formasyonu, Saptıran kuzeyinde Miyosen Göllerderesi formasyonu üzerinde şariyajlıdır. Henege başı, Aktaş mevki ve Akdağ'da Üst Jura-Alt Kretase Gurri formasyonu ultramafitleri açısal diskordanslı olarak örter. Çankulesi metamorfitlerinin ultramafitlerle olan dokanağı Çankulesi mevki doğusunda şariyajlıdır.

Kop ultramafitleri yaklaşık 13 km. NE - SW uzanımlı 7 km. kalınlıkta bir zon şeklinde gözlenir ve magmatik bantlaşma güneydoğuya doğrudur. Magmatik bantlaşmaya dik yönde bir kesit alınırsa alt seviyelerde serpantinleşmiş harzburgitler ile yeryer dunitler yeralır. Üste doğru harzburgit, piroksenli harzburgit, piroksenli gabro, gabro ve pegmatitik gabro şeklinde devam eder.

Serpantinleşmiş harzburgitlerin dış rengi açık yeşil, zeytuni yeşil, sarımsı yeşil ve kahverengimsi sarıdır. Harzburgitler yeryer Dunit mercekleri ile kesilir ve içlerinde benekli kromitler (Gullabi Komu) ve bantlı kromitler yeralır.

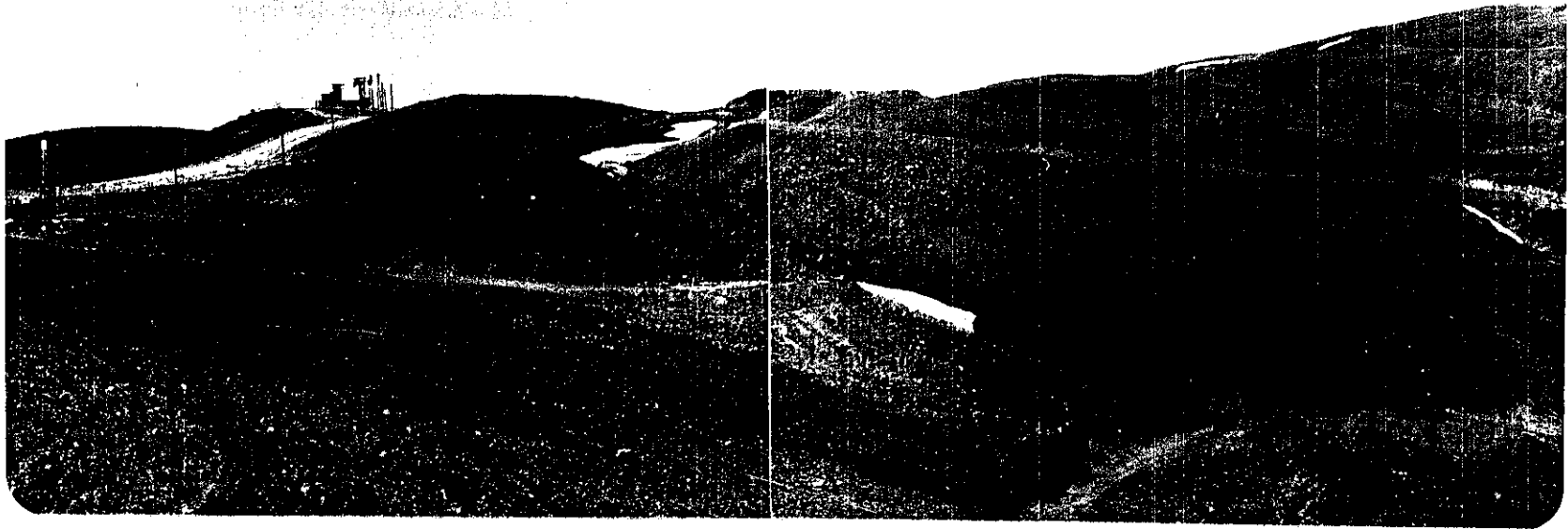


Foto 1- Gurri Tepe SW'sı Henegebaşı mevkiinde Kop ultramafiti(Mk) ile Gurri formasyonu(J-Kg) arasındaki ilişki.

Dunit seviyelerini harzburgit seviyeleri izler ve bu seviyede de bazı kırık zonları boyunca kromit mercekleri gözlenir. Üst seviyeleredöğru gidildiğinde piroksen yüzdesi artar ve piroksenit düzeylerinin ayırtlanabildiği kromitli bir seviyeye gelinir. Piroksenit düzeylerini plajioklas-piroksen ardalanmasından oluşan bantlı gabrolar izler. Gabro seviyelerindeki plajioklas-piroksen diziliminden ölçülen magmatik bantlaşma K47D/65GD dur. Bunun Kop ultramafitinin genel uzanımına uyumlu olduğu gözlenir.

Kop ultramafitinin çalışma sahasında gözlenen dokanıklarının çoğu tektonik olduğundan bu kesimlerde birincil özelliklerini çoğun kaybeden bu kayalar tektonizma etkisi ile kırıklı ve eklemlı bir görünüm kazanmışlardır. Dokanak zonlarından alınan numunelerde yoğun bir serpantinleşme gözlenir. Özellikle Henegebaşı mevkiinde ultramafitler bol kırıklı çatlaklı ve blokludur. İnce kesitlerde tamamen serpantinite dönüşmüşlerdir. Ayrıca ultramafitler içinde serpantinleşmenin yoğun olduğu kesimlerde yeraltısuları etkisi ile killeşme ve ofikalsitler gözlenir.

Çeşitli araştırmacılar, KETİN (1951), ALTINLI (1966), AĞAR (1977) ofiyolitlerin Kretase yaşlı kayaları kesen magmatik intrüzifler olduklarını, BİLGİN (1983) ofiyolitlerin diğer birimlerle olan dokanağında sıcak sokulumu kanıtlayacak kontakt metamorfizmi bulunmadığını, fakat ofiyolitlerin yerleşim sırasında soğuk olduğunu, belirtmişler. BEKTAŞ v.d (1984) bölgede Liyas öncesi bir riftleşme olduğunu, riftleşmeye bağlı kabuk kalınlığının azaldığını, basenin faylandığını, bu fayların kabuk altı mantoya su sağlayarak serpantinleşmeye neden olduğunu ve yoğunluğun azalması nedeni ile serpantinlerin diyapirik yükseldiklerini belirtmişler, serpantinler üzerine Liyas-Dogger çökellerinin geldiğini söylemişlerdir.

İnceleme sahasında Aktaş, Henegebaşı mevkiinde ve Akdağ'da Üst Jura-Alt Kretase Gurri formasyonu ultramafitler üzerinde diskordanslı olarak yeraldığından (Akdağ'da ikincil hareketlerle diskodanslı durum kısmen korunmuştur), ultramafitler



Foto 2- Aralep sırtında Kop ultramafiti(Mk)'nin yakından görünüşü.



Foto 3- Sarıkaya formasyonu(Js)'nun genel görünüşü.

Üst Jura öncesi oluşmuş olmalıdır. Alt Kretase ve Miyosen sonrası ikincil ve hatta üçüncül hareketlerle bugünkü konumu kazanmışlardır.

III.2.4. SARIKAYA FORMASYONU (Js)

İnceleme sahasının kuzey, harita alanının kuzeybatı sınırında yeralan formasyon, Kopdibi Komu Mahallesi kuzeyindeki Aralep sırtı, Kopırçağın ve Kop Deresi civarında yaklaşık 5 km²lik bir alanda mostra verir. Bol kıvrımcıklı olan formasyon yumuşak topoğrafyası ile kolay tanınır.

Formasyona, Kopdibi Komu Mahallesi kuzeydoğusunda yeralan Sarıkaya Tepe kuzeyinde mostra verdiğinden, yazar tarafından Sarıkaya formasyonu adı verilmiştir.

Sarıkaya formasyonunun tabanı gözlenemez, üst sınırı ise Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Gurri formasyonu ile geçişlidir. Formasyon Kop Deresi boyunca alüvyon ve yamaç molozları ile örtülüdür ve dere boyunca geçen bir yanal atımlı fay ile sınırlanır. Bol kıvrımcıklı ve kırıklı olan formasyonun çalışma sahası içindeki görünür kalınlığı yaklaşık 1200 m.dir.

Sarıkaya formasyonu gözlenebildiği yerlerde tabanda, ince orta katmanlı, siyah renkli oolitlik kireçtaşları ile başlar ve gri-bej renkli orta-kalın katmanlı yeryer bordo kırmızı renkli ince-orta katmanlı kireçtaşlarına geçer. Açık gri, bej renkli orta-kalın katmanlı kumtaşları, kireçtaşları ile arakatmanlıdır. Kireçtaşları içinde yeryer gri, bej renkli, orta-kalın katmanlı çört yumruları içeren kireçtaşı ara seviyeleri gözlenmektedir. Formasyonun üst seviyelerine doğru kumtaşı, marn ve çamurtaşı yoğunlaşır.

Geniş bir yayılım sunmayan formasyon içinde, yaş verebilecek herhangi bir fosile rastlanmamıştır. KETİN (1951), KORKMAZ, BAKİ (1984), ÖZER (1984) aynı birimin kömür ve volkanik arakatlı seviyelerinde Alt-Orta Jura yaşlarını tespit etmişlerdir. Formasyonun Üst Jura-Alt Kretase Gurri

formasyonu ile geçişli olamasından dolayı yaşı Alt-Orta Jura olarak kabul edilmiştir.

III.2.5. GURRİ FORMASYONU (J-Kg)

Formasyon inceleme sahasında Trabzon-Erzurum karayolunun, Erzurum tarafından Kop Dağları'na tırmanmaya başladığı Akdağ'dan başlayarak kuzeybatı'ya doğru Gurri Tepe, Aktaş mevki, Kızıleşme Tepe, Kişmişin Tepe, Bakdülü Tepe, Kaleboynunun Tepe ve Kalenintaş Tepe dolayında görülür.

Gurri formasyonu alttan üste doğru üç üyeye ayrılmıştır. Bakdülü kireçtaşı-şeyl üyesi, Kızıleşme çörtlü kireçtaşı üyesi, Aktaş kumtaşı-kireçtaşı-şeyl üyesi. Bakdülü, Kızıleşme ve Aktaş üyeleri Gurri Tepe ve Gurri Tepe'nin yaklaşık 1 km. batısında mostra verirler. Ayrıca Bakdülü üyesi, Bakdülü Tepe, Kişmişin Tepe, Sarıkaya Tepe, Kaleboynunun Tepe Akdağ ve Küçük Akdağ'da, Kızıleşme üyesi, Kızıleşme ve Gurri Tepe batısında, Aktaş üyesi, Aktaş ve Henegebaşı mevkiinde mostra verirler. Formasyon tektonizmadan etkilenmiş bol kıvrımlı ve dokanak zonları çoğun faylı olduğundan gerçek kalınlığı belirlenememiştir, görünür kalınlığı yaklaşık 1230 m.dir.

Gurri formasyonu Sarıkaya Tepe kuzeyinde, altındaki Sarıkaya formasyonu ile uyumludur. Aktaş ve Henegebaşı mevki ile Akdağ'da altındaki Kop ultramafiti üzerinde diskordanslıdır ve diskordans düzlemi boyunca Aktaş mevkiinde yaklaşık 800 m. izlenebilen 2m. kalınlığında bir aragonit zonu yer alır. Gurri formasyonu üzerinde Miyosen Göller deresi formasyonu diskordanslıdır.

Gurri formasyonunu oluşturan üç üyede Gurri Tepe ve dolayında mostra verdiği için yazar tarafından Gurri formasyonu adı verilmiştir. Gurri formasyonuna ALTINLI (1966) Kop formasyonu, sahamızın kuzeyinde ERTUNÇ v.d (1970) Pügey formasyonu, AÇAR (1977) Hozbirlik yayla kireçtaşı, ÖZER (1984) Ahsünk ve Kuzdağ formasyonu, Aşkale doğusunda ARPAT (1965) Yesirçöl formasyonu adlarını vermişlerdir.



Foto 4- Gurri Tepe SW'sında Gurri formasyonu(J-Kg)'nın genel görünüşü.
Mk: Kop ultramafiti, Tg: Göllerderesi formasyonu,
Pç: Çankulesi metamorfitleri(Rekristalize kireçtaşı merceği)

III.2.5.1. Bakdülü Kireçtaşı-Şeyl Üyesi (J-Kgb)

Gurri formasyonunun en alt seviyesini oluşturan Bakdülü kireçtaşı-şeyl üyesi arazide beyaz rengi ve fazla sarp olmayan görünümüyle tanınır. Yol yarmalarındaki kıvrımlı görünümüylü dikkati çeker, ayrıca faylı bölgelerde sarp kayalıkları oluşturur. Bakdülü Tepe ve güneybatısında tipik gözleendiğinden yazar tarafından Bakdülü kireçtaşı-şeyl üyesi olarak adlandırılmıştır.

Hakim litolojisi kireçtaşı olan Bakdülü üyesi içinde yeryer şeyl ve marn ara seviyeleri gözlenir. Sarıkaya Tepe kuzeyinde tabanı görülen üyenin üst sınırı faylı, Gurri Tepe batısında üst sınırı görülen üyenin tabanı faylıdır. Bu üyenin sahada görünür kalınlığı yaklaşık 950 m. dir.

Kireçtaşları, açık bej, beyazımsı, grimsi, orta-kalın katmanlı, çok sert, yeryer çört yumrulu, kırık ve çatlakları boyunca gelişmiş bol kalsit damarlı ve makro fosillidir. Kireçtaşları içinde yeryer marn ve şeyl seviyeleri gözlenir. Marn düzeyleri beyazımsı, bej ince orta katmanlı, serttir, şeyller ise koyu gri, yeşilimsi, laminalı, kıymıksı ayrışmalı ve dağılgandır.

Bakdülü üyesi makro ve mikro fosil içeriği bakımından zengindir. Tabanda bol Ammonitli'dir. Bu üye içinde yer alan Ammonitler'in tür tayinleri yapılamamıştır. Mikro fosiller ise; *Calpionella alpina grandis* DOBEN, *Tintinopsella* sp., *Calpionella elliptica* CADISCH. Bu fosillere dayanarak birimin yaşı Üst Jura-Alt Kretase'dir. Aynı birime Bayburt yöresinde çalışan KETİN (1951), AĞAR (1977), ÖZER (1984), KORKMAZ ve BAKİ (1984) ile inceleme sahasının doğusunda Yesirçöl Dağı yöresinde AKSAY (1987) Üst Jura-Alt Kretase yaşını vermişlerdir.



Foto 5- Bakdülü kireçtaşı-şeyl üyesi(J-Kgb) içindeki
kireçtaşı-marn ardalanmasının genel görünüşü.

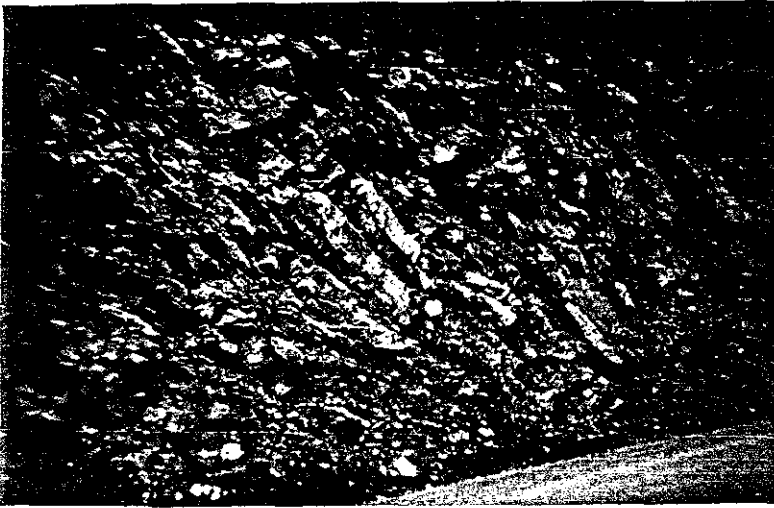


Foto 6- Akdağ NW'sında Bakdülü kireçtaşı-şeyl üyesi(J-Kgb)
içindeki kireçtaşlarında, çökelmeye bağlı ondulas-
yonlu yapının genel görünüşü.

III.2.5.2. Kızıleşme Çörtlü Kireçtaşı Üyesi (J-Kgk)

Çört ve Çörtlü kireçtaşlarından oluşan Kızıleşme üyesi siyah kalın çört bantları ile topoğrafyada kolayca tanınır. Kızıleşme Tepe batısında gözlenen birime yazar tarafından Kızıleşme Çörtlü Kireçtaşı Üyesi denilmiştir.

Kızıleşme üyesi tabanda Bakdülü üyesi, tavanda Aktaş üyesi ile geçişli olup, Gurri Tepe batısında üyenin kalınlığı 100 m. dir.

Kızıleşme üyesi açık gri, açık yeşil, bej, krem renkli, orta-kalın katmanlı, çok sert, kalsit damarlı, yeryer oolitlik ve çörtlü yumrulu kireçtaşlarından oluşur. Kireçtaşları içinde yeryer kalınlığı 30 m. ye varan çört bantları yer alır. Çört; siyahımsı, yeşilimsi kahverengi, ince-orta katmanlı, bol kırık ve çatlaklıdır.

Kızıleşme üyesinin, tabanda Bakdülü üyesi ile geçişli olması, kalınlığının ve yayılımının fazla olmaması nedeni ile Bakdülü üyesi ile aynı yaşta olduğu söylenebilir. Üyenin tabanına yakın bir kireçtaşı seviyesinde Ammonit izine rastlanması bu düşüncüyü desteklemektedir. Buna göre Kızıleşme üyesi Üst Jura-Alt Kretase yaşındadır.

III.2.5.3. Aktaş Kumtaşı-Kireçtaşı-Şeyl Üyesi (J-Kga)

Aktaş üyesi, Gurri formasyonunun en üst seviyesini oluşturur. Yumuşak topoğrafyası ve kahverengi kumtaşları ile topoğrafyada kolayca tanınır. Henegebaşı ve Aktaş mevkiinden başlayarak güneydoğuya doğru uzanan birim yazar tarafından Aktaş üyesi olarak adlandırılmıştır.

Kumtaşı, kireçtaşı, marn ve şeyl'den oluşan Aktaş üyesinin tabanı Kızıleşme üyesi ile geçişlidir. Aktaş üyesinin üst sınırı çalışma sahasında gözlenemez. Ayrıca Aktaş üyesi üzerinde gelişen heyelan nedeni ile de kalınlığı hakkında birşey söylemek zordur, ancak sahada görünür kalınlığı



Foto 7- Kızıleşme çörtlü kireçtaşı üyesi(J-Kgk) içindeki
çört seviyelerinin yakından görünüşü.



Foto 8- Henegebaşı SE'sunda Aktaş kumtaşı-kireçtaşı-şeyl
üyesi(J-Kga)'nin genel görünüşü.

180 m. dir.

Aktaş üyesi, kumtaşı, kireçtaşı, marn, şeyl ve çamurtaşı ardalanmasından oluşmuştur ve fliş fasiyesinde oluşan çökelleri karakterize eder.

Kumtaşı; taze yüzeyi gri, kahverengimsi, ayrıışmış yüzeyi kızıl kahverengi, orta-kalın katmanlı, çok sert, yer yer kaba taneli, iyi boylanmalı, bazı yerlerde derecelenmeli, karbonat çimentolu, yersel tane desteklidir ve yeryer düzensiz gelişmiş kalsit damarları gözlenir. kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı ile ardalanmalıdır. Kireçtaşı; grimsi, yeşilimsi, ince-orta katmanlı, sert, düzensiz gelişmiş bol kalsit damarlı, çok az çört yumruludur. Şeyl ve çamurtaşları ise kumtaşı ve kireçtaşı katmanları arasında yer alır.

Aktaş üyesi içinde herhangi bir fosile rastlanmamıştır. Altındaki Bakdülü ve Kızıleşme üyeleri ile geçişli olması nedeni ile Aktaş üyesinin yaşını Üst Jura?-Alt Kretase olarak kabul edilmiştir.

III.2.6. GÖLLERDERESİ FORMASYONU (Tg)

Göllerderesi formasyonu, harita alanının güneydoğu kesiminde Saptıran civarında, kuzeybatıya doğru gidildiğinde, Kopdibi Komu Mahallesi ve güneybatısında, Kıskaçlı Dere batı ve güneybatısında, Kandiltaş Tepe ve doğusunda, Göller Deresi'nin başladığı yerlerde mostra verir.

Göllerderesi formasyonu, alttan üste doğru iki üye-ye ayrılmıştır. Kandiltaş çakıltaşı üyesi, Göller kumtaşı-şeyl-çamurtaşı üyesi. Kandiltaş üyesi, Kandiltaş Tepe ve Kandiltaş Tepe'nin güneyinde, Göller üyesi ise, Saptıran, Kandiltaş Tepe kuzey ve doğusu, Göller Deresi'nin başlangıcı, Kopdibi Komu Mahallesi civarı ile Kıskaçlı Dere batı ve güneybatısında mostra verir.

Formasyon Kandiltaş Tepe'de Gurri formasyonu üzerine diskordanslı gelir. Kandiltaş Tepe güneyinde Gurri formasyonu, Saptıran ve kılıçtaş mevkiinde Kop ultramafiti, Göllerderesi formasyonu üzerine şariyajlıdır. Göllerderesi formasyonunun Gurri formasyonu ile dokanağı, Kıskaçlı Dere batısında, Kopdibi Komu Mahallesi güneybatısında, Kılıç sırtında, normal faylı, Sarıkaya Tepe batısında, Kandiltaş Tepe güneybatısında ise doğrultu atımlı faylıdır. Formasyonun alt dokanağının net görülmesine karşın üst dokanağının çoğun faylı oluşu nedeni ile kalınlığı belirlenemez, görünür kalınlığı yaklaşık 700 m. dir.

Formasyon en iyi Göller Deresi başlangıcında gözlemlendiğinden yazar tarafından Göllerderesi formasyonu olarak adlandırılmıştır.

III.2.6.1. Kandiltaş Çakiltaşı Üyesi (Tgk)

Göllerderesi formasyonunun tabanını oluşturan Kandiltaş çakiltaşı üyesi, çakiltaşlarının yaptığı sert çıkıntılarla topoğrafyada kolayca tanınır ve uzun mesafelerce izlenebilir. En tipik Kandiltaş Tepe'de gözlemlendiğinden yazar tarafından Kandiltaş çakiltaşı üyesi olarak adlandırılmıştır.

Formasyon çakiltaşlarından oluşur, tabanda Gurri formasyonu üzerinde diskordanslı olan çakiltaşları, üzerinde yeralan Göller üyesi uyumludur. Kandiltaş Tepe'de ölçülen kalınlığı 150 m. dir.

Çakiltaşı; tabanda çok kalın katmanlı, iri, köşeli yada az köşeli çakıllıdır. Matriks kumlu, karbonatlı olup, çimento killi karbonattır. Çakıllarının elemanları metamorfit kayalar, serpantin, spilitik bazalt; Jura-Alt Kretase kireçtaşları ve kumtaşlarından oluşmuştur. Kandiltaş Tepe'de tabandan 7 m.lik bir kısımdan sonra çakiltaşlarından tedrici bir değişiklik görülür, elemanlarının tamamına yakın bir kısmını kireçtaşları oluşturur ve kuzeye doğru düzgün katmanlı ince taneli iyi bağlanmalı çakiltaşları yer yer

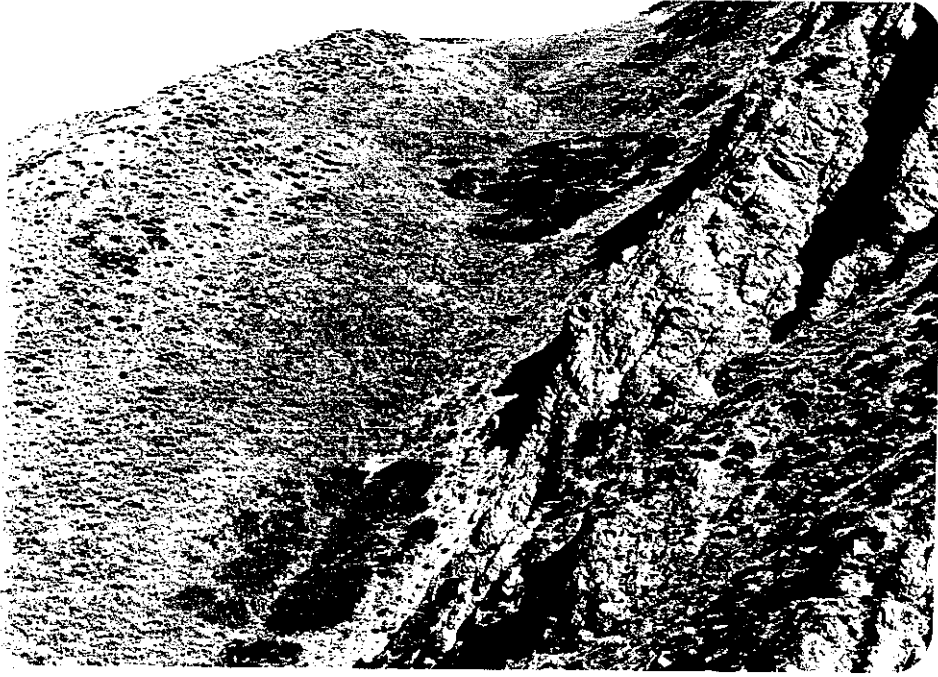


Foto 9- Kandiltaş Tepe'de Göllerderesi formasyonu(Tg)'nun genel görünüşü.



Foto 10- Kandiltaş Tepe SE'sunda Kopdağı 1 tünel güzergahı giriş ağızı (Gümüşhane tarafı)  zerindeki Kandiltaş  akilta   yesi(Tgk)  akilta larındaki devrik tabakalanmanın yakından görünüşü.

derecelenme göstererek Gölleler üyesine ait kumtaşlarına geçer.

Kandiltaş üyesinde yaş verebilecek herhangi bir fosile rastlanmamıştır. İnceleme sahasının doğusunda BİLGİN (1983) aynı çakıltaşlarının yaşının, derlediği fosil kapsamına göre Miyosen olduğunu söylemiştir. Buna göre Kandiltaş çakıltaşı üyesinin yaşı Miyosen olarak kabul edilmiştir.

III.2.6.2. Gölleler Kumtaşı-Şeyl-Çamurtaşı Üyesi (Tgg)

Gölleler üyesi, Göllelerderesiformasyonunun en üst seviyesini oluşturur. Arazide yumuşak ve heyelanlı topografya-sıyla tanınır. Gölleler deresi'nin başlangıcında iyi gözlen-diginden yazar tarafından Gölleler kumtaşı-şeyl-çamurtaşı üyesi olarak adlandırılmıştır.

Gölleler üyesi, tabanda Kandiltaş üyesi ile geçişlidir. Üst sınırı faylıdır ve alüvyon dışında başka birim örtmez. Üst sınırının aşındırmalı ve faylı olması nedeniyle kalınlı-ğı bilinemez. Ancak sahada görünür kalınlığı yaklaşık 550m.dir.

Gri, boz, ince-orta katmanlı, ince taneli, iyi boy-lanmalı, sert, karbonat çimentolu, bol kırıklı, kırıkları ikincil kalsit ve kil dolgulu kumtaşı, Gölleler üyesinin ha-kim litolojisini oluşturur. Kumtaşı ile arakatmanlı çamur-taşı, kiremit, kırmızısı, ince-orta katmanlı, kumlu, çakıllı-dır. Şeyl ise, açık boz, laminalı, kıymıksı ayrışmalı da-ğılğandır. Bazı ara seviyelerde kahverengimsi, gri, in-ce katmanlı, yeryer laminalı, orta sert kumlu kireçtaşı gözlenir.

Saptıran güneyinde aynı birim içinde jipsli seviye-lerde bulunur. Ancak inceleme sahasında herhangi jips içe-ren bir birime rastlanmamıştır.

Gölleler üyesinde yaş tayini yapılabilecek herhangi bir fosile rastlanmamıştır. Aynı birimde Bayburt bölgesinde

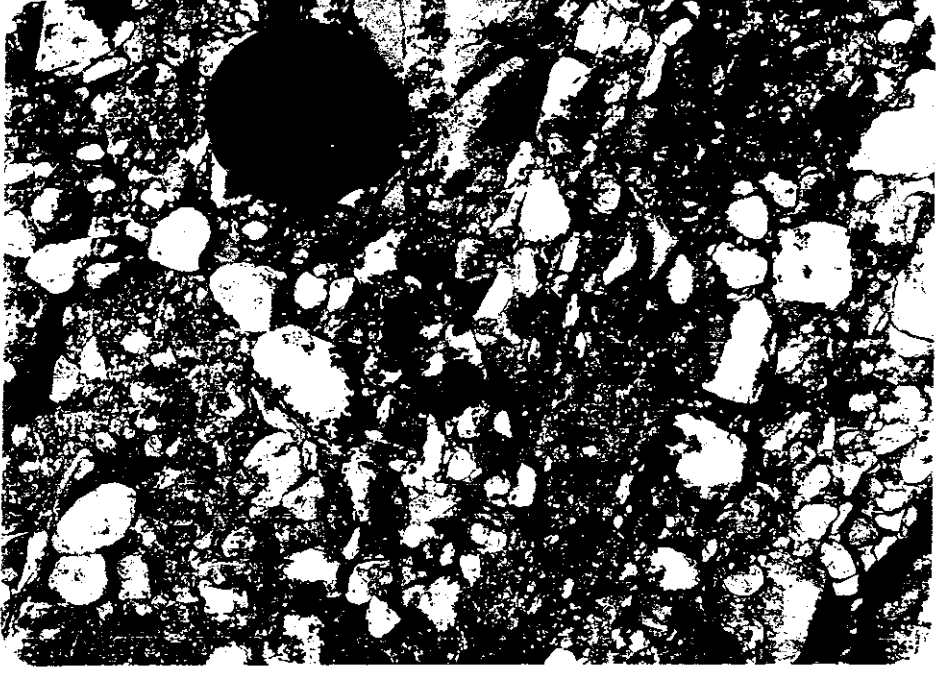


Foto 11- Kandiltaş çakıлтаşı üyesi(Tgk)'nin yakından görünüşü.



Foto 12- Göller Deresi'nde Göller kumtaşı-şeyl-çamurtaşı üyesi(Tgg)'nin genel görünüşü.

KETİN (1951), Aşkale bölgesinde GATTINGER (1955) derlediği fosillere göre yaşının Miyosen olduğunu söylemişlerdir. Tabanda Kandiltaş üyesi ile de geçişli olan Göller kumtaşı-şeyl-çamurtaşı üyesinin yaşı bu verilere göre Miyosen'dir.

III.2.7. ALÜVYON (Qal)

Alüvyon Göller Deresi-Kıskançlı Dere-Kop Deresi, Heneye suyu, Naldöken Dere boyunca gözlenir. Çakıllar grim, si, bej, yeşilimsi kireçtaşı, koyu yeşil, siyahımsı kahverengimsi ultramafit kayalar, kahverengi kumtaşı ve yeşil, mavi, bordo, siyah renkli çörtlerden oluşur. Tane boyları mil boyundan 40 cm ye kadar değişir. Göller Deresi ve Heneye suyunda kötü boylanmalı, çakıllar; köşeli, yarı köşeli çok az yuvarlaktır. Heneye suyunda alüvyon malzemesinin tamamı Kop ultramafitinden türeyen malzemedan oluşmuştur. Her iki dere yatağında kalınlıkları 1-4 m. arasında değişir. Naldöken Dere'de alüvyon yeryer iyi boylanmıştır. Çakıllar yuvarlak, yassı yeryer köşelidir. Naldöken Dere'de kalınlık 5-30 m. arasındadır.

III.2.8. YAMAÇ MOLOZU (Qym)

Yamaç molozu, Gurri formasyonuna ait kireçtaşlarının yamaç eğimlerinin fazla olduğu sırtlarda ve fay zonlarında gözlenir. Ayrıca Sarıkaya formasyonunun Kop Deresi ile keştiği yerde faylanma nedeni ile gelişen yamaç molozu gözlenir. Grimsi, beyazımsı, bej renkli, sivri-küt köşeli olan çakıllar kötü boylanmalıdır. Kalınlıkları 0.50-4 m. arasındadır.

III.3. YAPISAL JEOLJİ

Bu bölümde, çalışma sahasındaki diskordanslar, kıvrımlar, eklemler ve faylar sunulacaktır.

III.3.1. DİSKORDANSLAR

Çalışma sahasında ilk diskordans Gurri formasyonu ile Çankulesi metamorfitleri ve Kop ultramafiti arasında açısal olarak gözlenir. Çankulesi metamorfitleri ile Gurri formasyonu arasındaki diskordans düzleminin birincil konumu faylanma nedeni ile bozulmuştur. Gurri formasyonu ile Kop ultramafiti arasındaki diskordans düzlemi Aktaş mevkiinde tipik olarak gözlenir. Yaklaşık 20°'lik bir eğime sahip olan diskordans düzlemi boyunca 2m. kalınlığında ve 700 m. uzunluğunda bir zon halinde aragonit oluşumunda gözlenir. Akdağ'da aynı iki birim arasında gözlenen diskordans düzlemi tektonik etkiler nedeniyle kısmen korunmuştur.

İkinci bir diskordans, Gurri formasyonu ile Göllerdereesi formasyonu arasında ve açısalıdır. Kandiltaş Tepe'de tipik olarak gözlenen diskordans düzlemi 54°'lik bir eğime sahiptir ve batıya doğru yaklaşık 4 km. lik bir devamlılığı vardır. Kandiltaş Tepe güneyinde ise aynı diskordans düzlemi tektonik etkilerle bozulmuş ve yaklaşık 40°'lik eğime sahip bir fay düzlemi şeklinde gözlenmektedir.

Alüvyon kendinden önceki tüm birimleri açısal diskordanslı olarak örter.

III.3.2. KIVRIMLAR

Çalışma sahasında Sarıkaya formasyonu ve Gurri formasyonu bol kıvrım ve kıvrımcıktır. Sarıkaya formasyonunda sayılamayacak kadar bol ve küçük kıvrımcıklar vardır. Bu kıvrımlanmaya Sarıkaya Tepe, Kalenintaş Tepe, Kaleboynunu Tepe civarında yeralan Gurri formasyonunda eşlik etmiştir. Henegebaşı kuzeybatısında iki bindirme düzlemi arasında yeralan Gurri formasyonu bol kıvrımlıdır ve bu kıvrımlanma tamamen şariyajlara bağlı olarak gelişmiştir. Sahada gözlenen tüm kıvrımlanmaların gidişi kuzeydoğu-güneybatıdır. Bunlar dışında çökelmeye ilişkin tabakaların dalgalanması ve fay



Foto 13- Sarıkaya Tepe'de Gurri formasyonu(J-Kg)'nun kıvrımlı yapısının genel görünüşü.

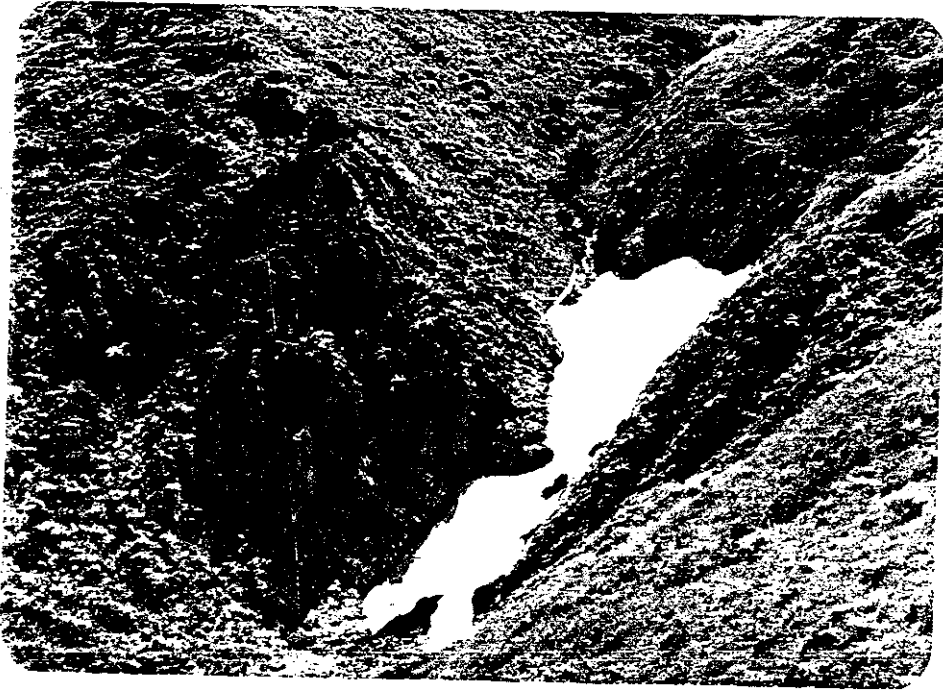


Foto 14- Gurri Tepe W'sında Gurri formasyonu(J-Kg)'nun Göller şariyajına bağlı kıvrımlanmasının genel görünüşü.

düzlemlerinde görülen bükülmeler olağandır.

Hanyeri'nde ve Kıskaçlı Dere kuzeydoğusunda gözlenen heyelanlı arazide, heyelan malzemesi içinde pek çok kıvrım görmek mümkündür. Ancak bunların herhangi bir geometrisi yoktur ve tamamen heyelan nedeni ile gelişmiştir.

III.3.3. EKLEMLER

İnceleme alanında tünel güzergahı boyunca yüzeyleyen tüm birimlerin eklemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu eklemlerin diğer özellikleri ile, tünel güzergahına etkileri "Mühendislik Jeoloji" bölümünde açıklanacaktır. Bu bölümde eklemlerin kontur ve stereografik izdüşüm diyagramları verilmiştir.

Eklem ölçümleri tünel güzergahı üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Bunun amacı eklemlerin tünel üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarındaki eklemlerin derişme dereceleri Tablo 2 de verilmiştir.

III.3.4. FAYLAR

İnceleme sahasında düşey, ters, doğrultu atımlı, şariyaj olmak üzere 13 adet fay gözlenmektedir. Faylar Miyosen'den sonra üst üste iki sıkışma ve bir gerilme kuvvetleri etkisi ile üç tektonik dönemde gelişmiştir. Birinci tektonik dönemde Kop ultramafiti, Çankulesi metamorfittleri, Gurri formasyonu ve Göllerderesi formasyonu üzerine itilmiştir. Sıkışma kuvvetleri etkisi ile gelişen bu birinci tektonik dönemde, Kop şariyajı, Cankurtaran şariyajı ve Saptıran şariyajı gelişmiştir. İkinci tektonik dönemde ise tekrar sıkışma kuvvetleri etkisi ile Gurri formasyonu, Göllerderesi formasyonu üzerine, Kop ultramafiti, Gurri formasyonu üzerine itilmiştir. Tabanda bulunan Çankulesi metamorfittleri bir ters fay yardımı ile yükselmiştir. Bu tektonik dönemde Göller ve Henegebaşı şariyajı ile Çankulesi ters fayı oluşmuştur. Üçüncü tektonik dönemde gerilme kuvvetleri etkilidir ve çekim



Foto 15- Gurri formasyonu(J-Kg) içindeki kireçtaşlarının kırıklı yapısının yakından görünüşü.

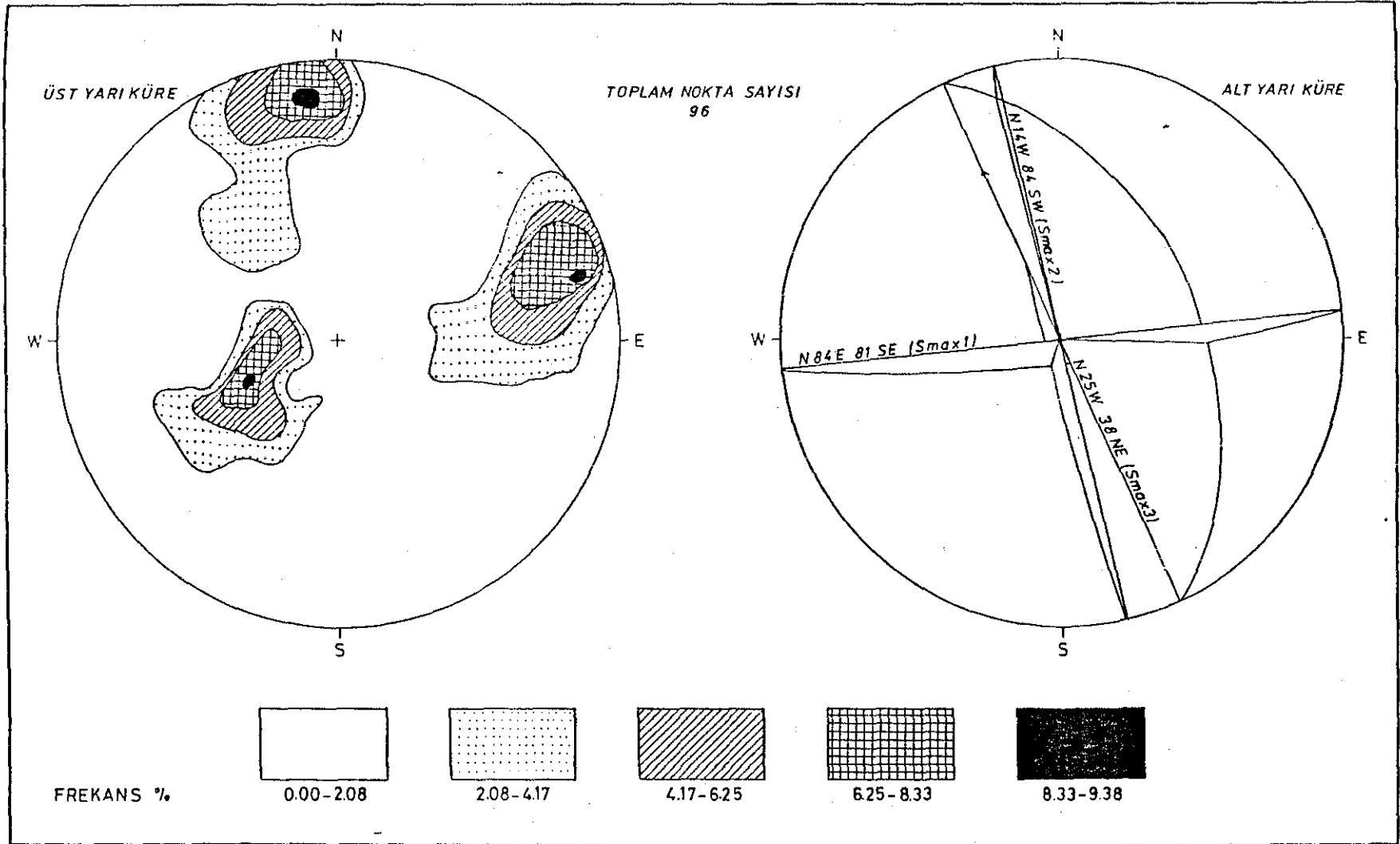


Foto 16- Henegebaşı mevkiinde, Gurri formasyonu(J-Kg) kumtaşlarının düşeye yakın tabakalı ve eklemli konumunun genel görünüşü.

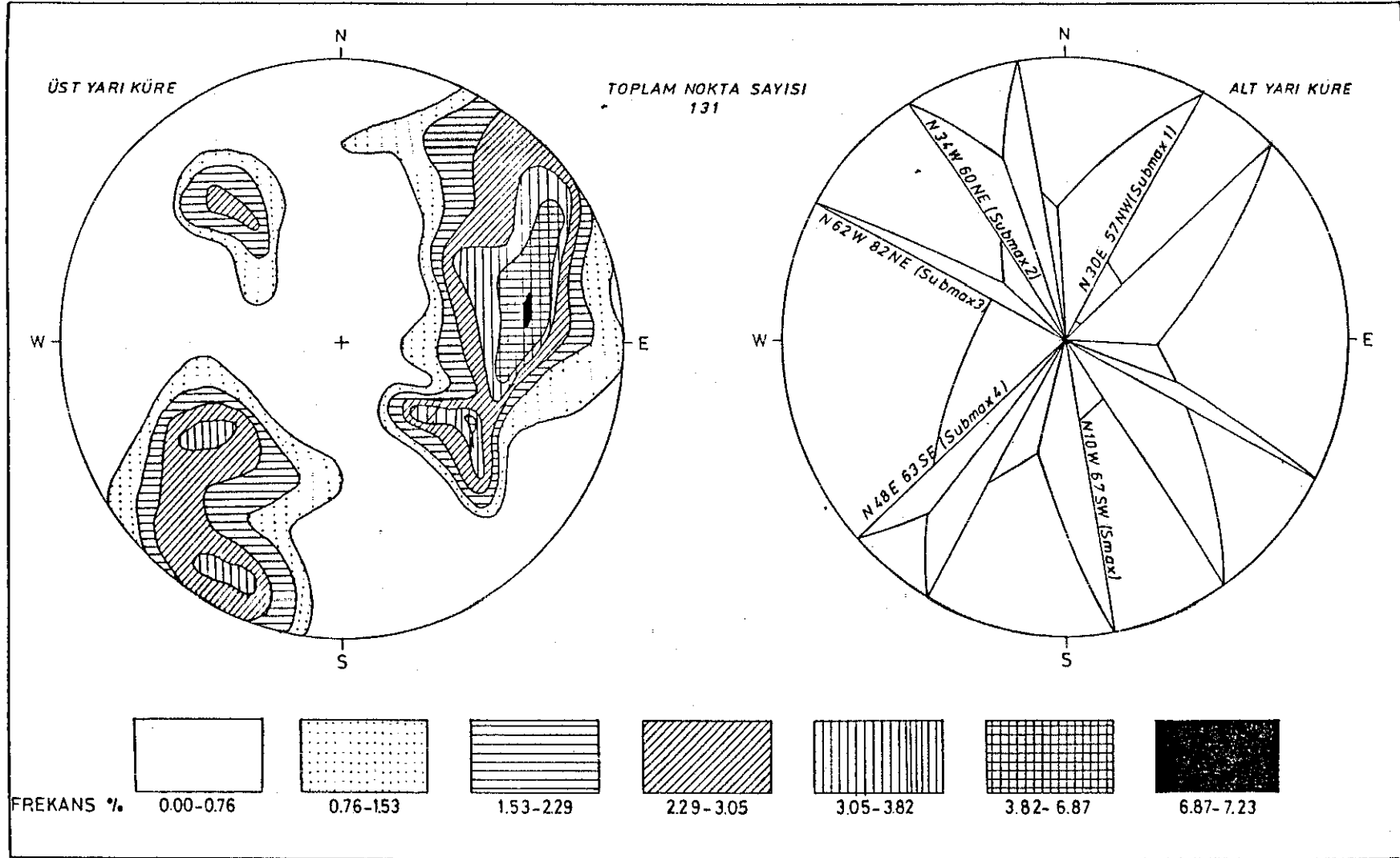
Tablo-2- Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahındaki kayaçların derişme dereceleri

Concentration degrees of the rocks of Kopdağı 1 and Kopdağı 2 tunnel line

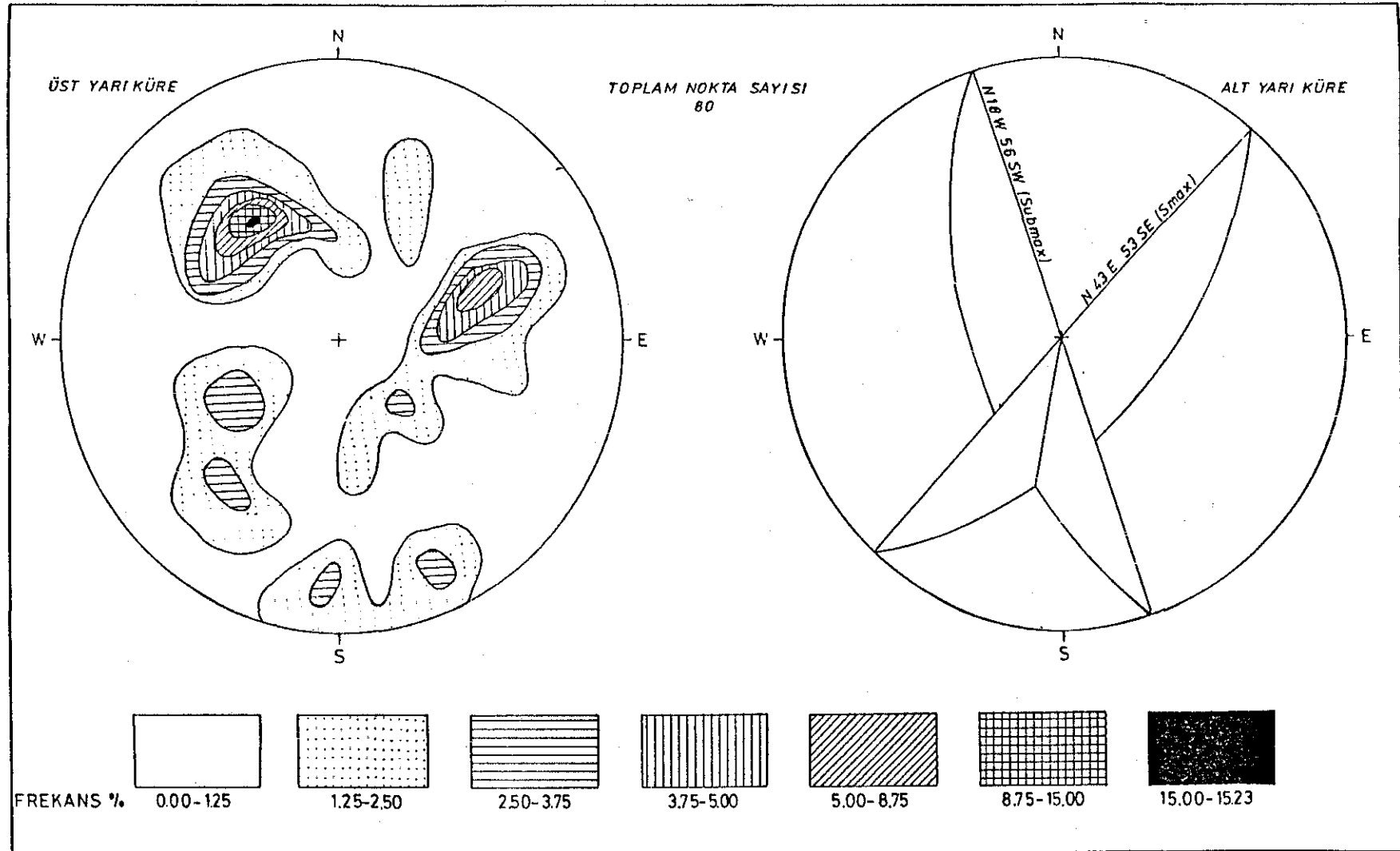
	S max	Sub max
Kopdağı 1 Gurri formasyonu, kireçtaşı (tünel girişı)	N84E 81SE N14W 84SW N25W 38NE	
Kopdağı 1 Gurri formasyonu, fliş (tünelin orta kesimi)	N10W 67SW	N30E 57NW N34W 60NE N62W 82NE N48E 63SE
Kopdağı 1-Kopdağı 2 Kop ultramafiti (tünelin orta kesimi)	N43E 53SE	N18W 56SW
Kopdağı 1-Kopdağı 2 Kop ultramafiti (tünel çıkışı)	N74E 52NW	N48W 81SW N6W 85NE
Kopdağı 2 Göllerderesi formasyonu, konglomera (Kandiltaş Tepe)	N29W 23SW	N4W 39SW N20W 53SW
Kopdağı 2 Gurri formasyonu, kireçtaşı (Kandiltaş Tepe)	N42E 87SE	N44W 69NE N54E 53NW N7W 72SW
Kopdağı 2 Gurri formasyonu, fliş (Gurri Tepe)	N16W 67SW N42W 82NE	N62W 68SW



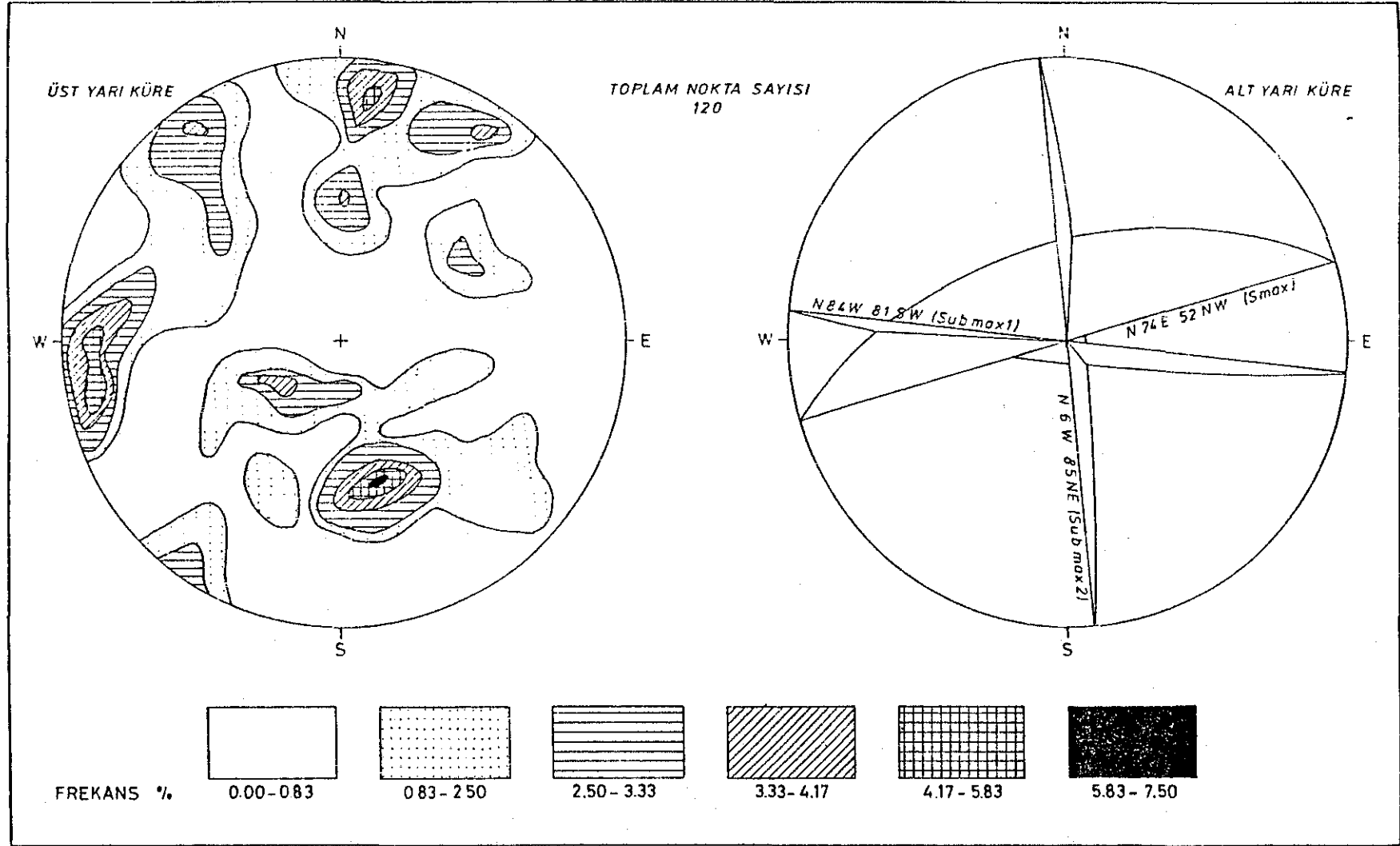
Şekil-4- Tünel giriş ağzında Gurri formasyonundaki eklemlerin stereoğrafik ve eşit alan izdüşümleri. Kopdağlı
Stereographic and equal-area projection of the joints of Gurri formation at gate of the tunnel.



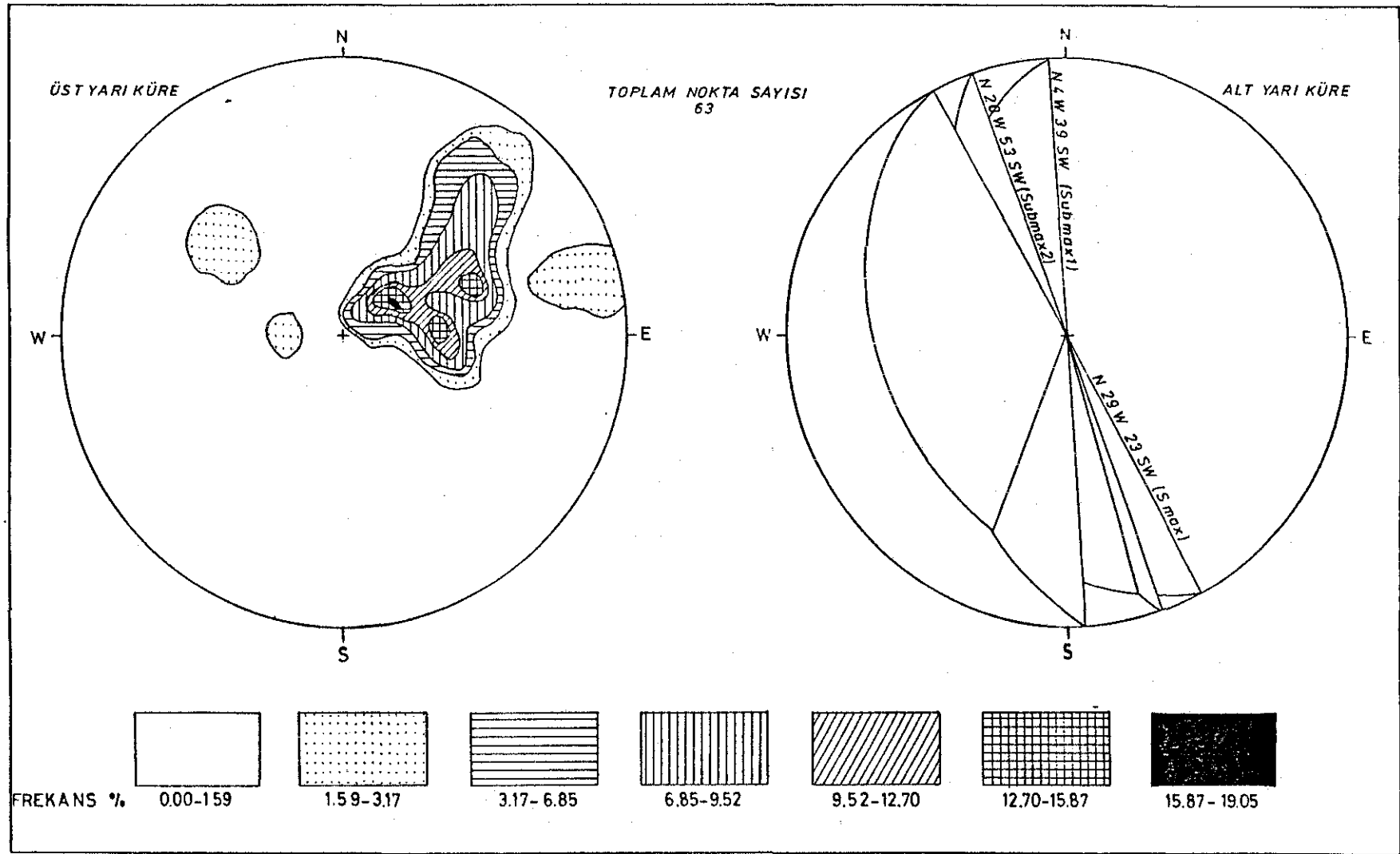
Şekil-5-Tünelin orta kesiminde Gurri formasyonundaki eklemlerin stereografik ve eşit alan izdüşümleri. Kop 1
Stereographic and equal-area projection of the joints of Gurri formation at middle of the tunnel.



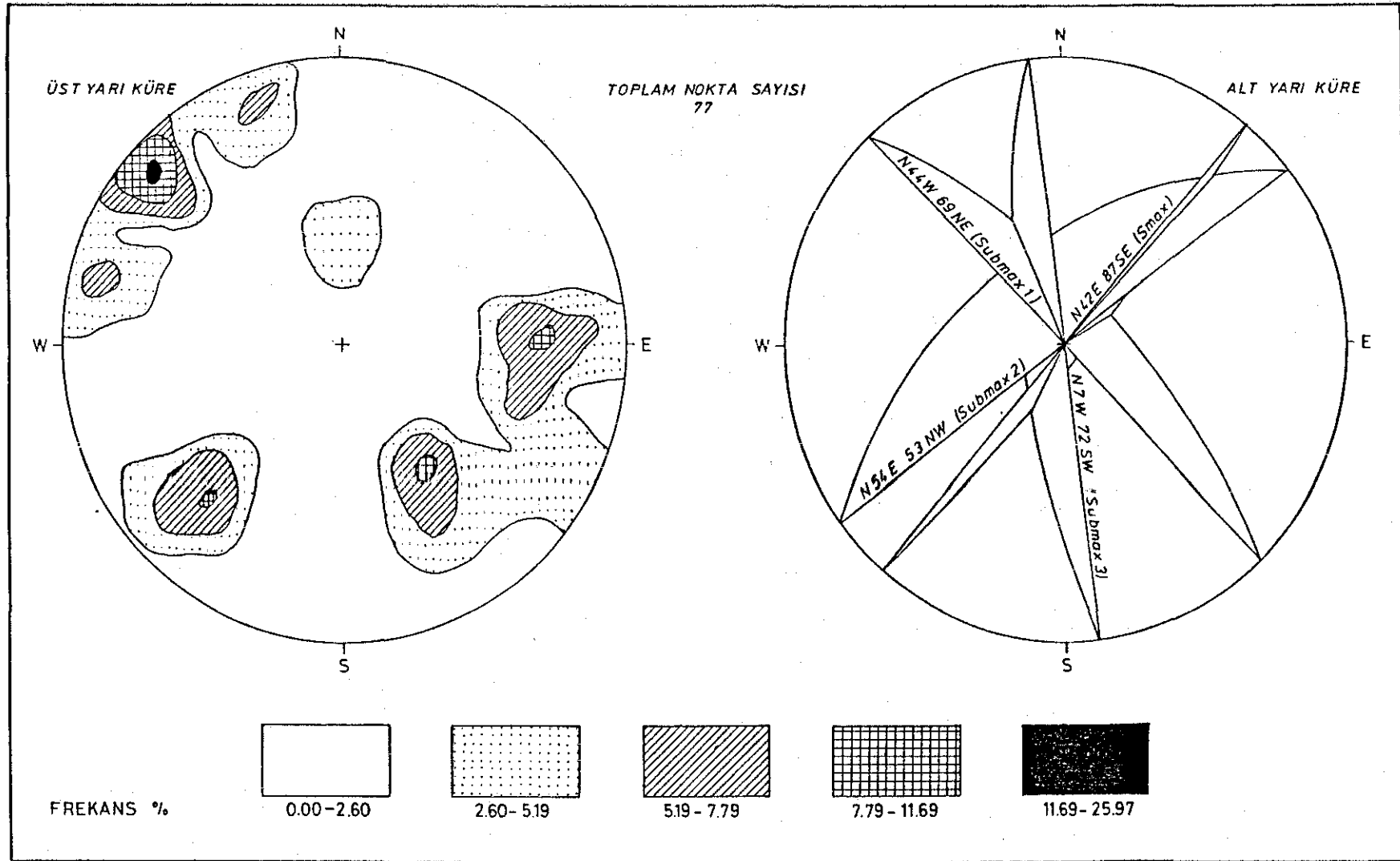
Şekil-6-Tünelin orta kesiminde Kop ultramafitindeki eklemlerin stereografik ve eşit alan izdüşümleri. Kop 1-2
Stereographic and equal-area projection of the joints of Kop ultramafics at middle of the tunnel.



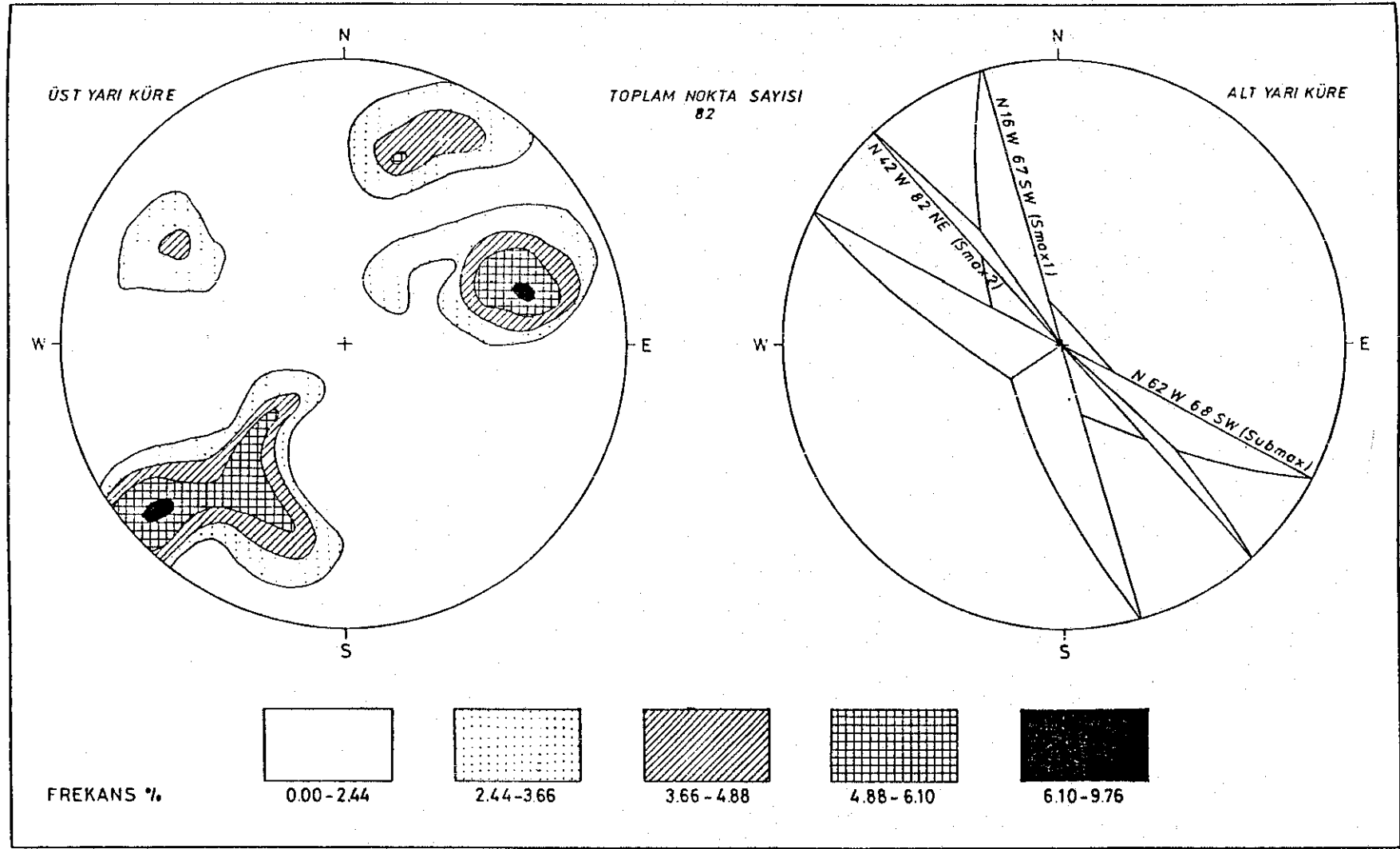
Şekil-7- Tünel çıkışında, kop ultramafitindeki eklemlerin stereografik ve eşit alan izdüşümleri. Kopdağı-2
Stereographic and equal-area projection of the joints of Kop ultramafics at gate of the tunnel.



Şekil-8-Kandiltaş tepede, Göllerderesi formasyonundaki eklemlerin stereografik ve eşit alan izdüşümleriKop2
Stereographic and equal-area projection of the joints of Göllerderesi formation at the Kandiltaş hill



Şekil-9-Kandiltaş tepede Gurri formasyonundaki eklemlerin stereografik ve eşit alan izdüşümleri.Kopdağı 2
Stereographic and equal-area projection of the joints of Gurri formation at the Kandiltaş hill.



Şekil-10- Gurri tepede Gurri formasyonundaki eklemlerin stereografik ve eşit alan izdüşümleri Kopdağı 2.
Streographic equal-area projection of the joints of Gurri formation at the Gurri hill.

fayları ile doğrultu atımlı faylar gözlenir. Bu dönemde Akdağ, Aktaş, Kiskançlı, Kalenintaş düşey fayları ile Sarıkaya ve Karataş doğrultu atımlı fayları gelişmiştir.

Çalışma sahasında fayları örten genç çökeller bulunmayışı nedeniyle, oluş yaşlarını kesin olarak saptamak zordur. Ancak tüm fayların Miyosen yaşlı çökelleri kesmesi nedeni ile, Miyosen sonrası oluşmuş olabileceği söylenebilir. İnceleme sahasında yeralan faylar üç grupta toplanabilir. Birinci grup şariyajlardan oluşur, ikinci grupta şariyajlardan oluşur, ancak birinci gruptaki şariyajları örter, son grupta ise ilk iki gruptaki şariyajları kesen düşey ve yanıl atımlı faylar gözlenir. Tüm bu veriler, inceleme sahasında Miyosen sonrası üç tektonik dönem geliştiğini ve ilk iki tektonik dönemin sıkışma üçüncü tektonik dönemin ise gerilme kuvvetleri etkisinde oluştuğunu gösterir.

Sahada gözlenen, Saptıran şariyajı haricindeki tüm faylar, yazar tarafından adlandırılmıştır. Saptıran şariyajı ALTINLI (1966) tarafından adlandırılmış ve bu çalışmada aynı ad benimsenmiştir.

III.3.4.1. Düşey Faylar

Akdağ, Aktaş, Kiskançlı ve Kalenintaş faylarının hepsi üçüncü tektonik dönemde gelişmişlerdir..

Akdağ fayı; Trabzon-Erzurum karayolunun, Erzurum tarafından Kop Dağları'na tırmanmaya başladığı yerde bulunan Akdağ'ın batı yamacında yer alır. N5W doğrultuludur ve topoğrafyada 1 km. izlenmektedir. Faylanma nedeni ile Gurri formasyonu, altında yeralan Kop ultramafiti ile yan yana gelmiştir.

Aktaş fayı; Trabzon-Erzurum karayolu üzerindeki Karataş mevkiinin yaklaşık 3 km. güneybatısında gözlenir. N40W doğrultulu ve topoğrafyada 500 m. izlenir. Aktaş fayının güneydoğu ucu Henegebaşı şariyajını keser, kuzeybatı ucu

ise heyelan malzemesi ile örtülüdür. Faylanma nedeni ile Kop ultramafiti ile Gurri formasyonu yan yana gelmiştir.

Kıskançlı fayı; İnceleme sahasında topoğrafyadaki devamlılığı en uzun olan faydır. Kızıleşme Tepe kuzeydoğusundan başlar. Kandiltaş Tepe kuzeyinden geçerek Kıskançlı Dere'yi keser ve Kılıçtaş Tepe'ye kadar uzanır. Kandiltaş Tepe kuzeyi ile Kıskançlı Dere arasında fay heyelan malzemesi ile örtülü olduğundan izlenemez. Ancak 1987 senesinde yapılan jeofizik çalışmada Kıskançlı fayının heyelan malzemesi altında devam ettiği kanıtlanmıştır. N85E doğrultulu ve topoğrafyada 6.5 km uzunluğu olan Kıskançlı fayı, doğu ucunda Henegebaşı, Göller ve Cankurtaran şariyajları ile Çankulesi ters fayını keser ve Kop ultramafiti ile Çankulesi metamorfitleri, Gurri formasyonu, Göllerderesi formasyonunu yan yana getirir. Kandiltaş Tepe kuzeyinde ve batıya doğru Göllerderesi formasyonu ile Gurri formasyonunu yan yana getirir. Batı ucunda ise Kop sariyajını keser. Fay düzlemi boyunca pek çok kaynak ve su sızıntıları gözlenir.

Kalenintaş fayı; Kopdibi Komu Mahallesi batısı, Kalenintaş ve Kaleboynunun Tepe ile Kopdibi Komu Mahallesi'nin kuzeydoğusunda Kurotepesi Dere boyunca gözlenir. N50E doğrultulu fayın kuzeydoğu ucu Sarıkaya yanal atımlı fayı ile kesilir ve güneydoğuya yaklaşık 1 km. atılarak Kurotepesi Dere boyunca devam eder. Ayır duran ancak birbirinin devamı olan iki fay topoğrafyada toplam 5 km. izlenir. Fayın güneybatı kısmı Gurri formasyonu ile Göllerderesi formasyonunu yanyana getirmiş, kuzeydoğu kısmı ise Gurri formasyonu için kalmıştır.

III.3.4.2. Ters Fay

İkinci tektonik dönemde gelişen Çankulesi ters fayı; İnceleme sahasında gözlenen tek ters faydır. Trabzon-Erzurum karayolu üzerindeki Çankulesi mevkiinde gözlenir. N10E doğrultulu ve topoğrafyada 3 km. izlenebilen Çankulesi fayı 20°lik bir eğime sahiptir. Tabanda yer alan metamorfitler

Gurri formasyonu üzerinde gözlenir. Fay düzlemi boyunca yaklaşık 50 m. kalınlığında breşik bir zon gözlenir. Fay düzlemi kuzeyde Kışkançlı fayı ile kesilir, güney ucu ise heyelan malzemesi ile örtülü olduğundan gözlenemez.

III.3.4.3. Doğrultu Atımlı Faylar

Sarıkaya ve Karataş doğrultu atımlı fayları üçüncü tektonik dönemde gerilme kuvvetleri ile gelişmiş en genç faylardır. Kandiltaş fayı ise birinci tektonik dönemden sonra ikinci tektonik dönemden önce gelişmiştir.

Sarıkaya fayı; Kopdibi Komu Mahallesi kuzeyinde gözlenir. E-W doğrultulu olan fay topoğrafyada yaklaşık 1 km. izlenir ve Kopdağı 2 tünel güzergahı ile yaklaşık aynı doğrultudadır. Kalenintaş Tepe kuzeydoğusunda, Sarıkaya Tepe güneybatısında gelişen üçgen yüzeyler doğrultu atımlı faylar için karakteristik. Sarıkaya fayının kuzeybatı ucun Kop Deresi'ne paralel uzanır ve yamaç molozları ile örtülüdür. Güneydoğu ucu ise heyelan malzemesi altında izlenemez, ancak Kışkançlı fayına kadar devam etmelidir. Çünkü Miyosen çökellerinin aşınmadan korunabilmesi bu faylar yardımı ile olmuştur. Sarıkaya fayı, Kalenintaş fayını keserek onu sağ yönlü ötelemiş ve 750m. lik bir doğrultu atım meydana getirmiştir. Bu fay ile Sarıkaya Gurri ve Göllerderesi formasyonları yan yana gelmişlerdir.

Kandiltaş fayı; Kandiltaş Tepe'nin güneybatı sınırını oluşturur. Kandiltaş Tepe faylanma nedeni ile sarptır ve bir miktar yamaç molozu gelişmiştir. Fay Göller Deresi güneybatısındaki çizgisel gidişi ile topoğrafyada 2km.kolayca izlenir. N50E doğrultulu olan Kandiltaş fayı yaklaşık 1200 m.lik doğrultu atımla Göllerderesi formasyonu ile Gurri formasyonunu yan yana getirir. Kandiltaş fayı Kop şariyajını keser ve Göller şariyajı tarafından örtülür.

Karataş fayı; Karataş mevkiinin güneydoğusunda gözlenir. N40W doğrultulu ve topoğrafyada 500 m. devamlıdır. Çankulesi fayını yaklaşık dik bir açı ile kesen Karataş fayı



Foto 17- Sarıkaya Tepe SW'sındaki Sarıkaya Formasyonu(Js)'nun genel görünüşü.

Js :Sarıkaya formasyonu, J-Kg :Gurri formasyonu,
Tg :Göllerderesi formasyonu.



Foto 18- Kandiltaş Tepe'de Kandiltaş fayının genel görünüşü.

J-Kg :Gurri formasyonu, Tgk :Kandiltaş üyesi,
Tgg :Göller üyesi.

Çankulesi metamorfitleri altındaki Gurri formasyonunu metamorfitlerle yan yana getirmiştir. Topoğrafyada yaklaşık 250m. lik bir doğrultu atıma sahiptir.

III.3.4.4. Şariyajlar

Şariyajlar inceleme sahasında iki ayrı tektonik dönemde gelişmişlerdir. Birinci tektonik dönemde Kop ultramafitleri diğer birimler üzerine itilmiş ve Kop şariyajı, Cankurtaran şariyajı, Saptıran şariyajı oluşmuştur. İkinci tektonik dönemde Kop ultramafitleri Gurri formasyonu ile birlikte Göllerderesi formasyonu, Gurri formasyonu ve kendi üzerlerine itilmiş Göller şariyajı ile henegebaşı şariyajı oluşmuştur.

Kop şariyajı; Göller Deresi ve Kışkançlı Dere güneybatısında gözlenir. Yaklaşık N20E doğrultulu olan şariyaj düzlemi 30°'lik bir eğime sahiptir ve topoğrafyada 4.5 km.lik bir mesafede izlenir. Şariyajın batı ucu Kalenintaş ve Kışkançlı fayları ile kesilmiş ve 250 m.lik yanıl atım meydana gelmiştir. Doğu ucu ise Kandiltaş fayı ile kesilmiş Göller şariyajı ile örtülmüştür. Şariyaj düzlemi boyunca Kop ultramafiti Gurri ve Göllerderesi formasyonu üzerine itilmiştir.

Cankurtaran şariyajı; Trabzon-Erzurum karayolunun Erzurum tarafında Cankurtaran mevkiinin batısında gözlenir. Topoğrafyada 3 km. devamlılığı olan şariyaj yaklaşık N10E doğrultuludur. 30°'lik eğime sahip olan şariyaj düzlemi boyunca Kop ultramafiti Çankulesi metamorfitleri üzerine itilmiştir.

Saptıran şariyajı; Harita alanımızın güneydoğu köşesinde yer alan Saptıran kuzeyinde yaklaşık doğu-Batı uzanımlı bir zon boyunca, Halilhayratı Tepe, Henege Suyu, Yılanlı Dere, Şehir Dere, Masatlık Tepe, Kutucuk Tepe arasında izlenen bu fayı ALTINLI (1966) Saptıran şariyajı olarak adlandırmıştır. ALTINLI Saptıran şariyajının 160 km. uzunluk ve 5 km. genli olduğunu söyler. Saptıran şariyajının doğrultusu E-W ve eğimi 20°N-Sdir. Topoğrafyada 10 km. izlenen bu şariyajla Kop ultramafiti

Göllerderesi formasyonu üzerine itilmiştir.

Göller şariyajı; Kandiltaş Tepe'nin güneydoğusunda yeralan Göller Deresi'nin başlangıcından kuzeydoğuya doğru Kızıleşme Tepe arasında gözlenir. Yaklaşık N50E doğrultulu ve 40° eğimli olan şariyaj düzlemi boyunca Kop ultramafiti ile Gurri formasyonu, Göllerderesi formasyonu üzerine itilmiştir. Şariyaj düzlemi boyunca Göller Deresi'ne ait tabakalar devrik bir konum kazanmışlardır. Göller şariyajı güneybatı devamında Kop şariyajı ile Kandiltaş fayını örter.

Henegebaşı şariyajı; Henegebaşı mevki, Gurri Tepe Kızıleşme Tepe arasında gözlenir. Şariyaj düzlemi N50E doğrultulu ve 45° eğimlidir. Henegebaşı mevki batısında Kop ultramafiti Gurri formasyonu üzerine itilmiş konumdadır, kuzeydoğuya doğru gidildiğinde şariyaj Gurri formasyonu içinde kalır. Şariyaj düzlemi altında kalan Gurri formasyonuna ait tabakaların aşırı kıvrımlı olmasına karşın şariyaj düzlemi üzerindeki tabakaların yaklaşık güneydoğuya eğimli olmaları Henegebaşı şariyajının belirgin bir özelliğidir.

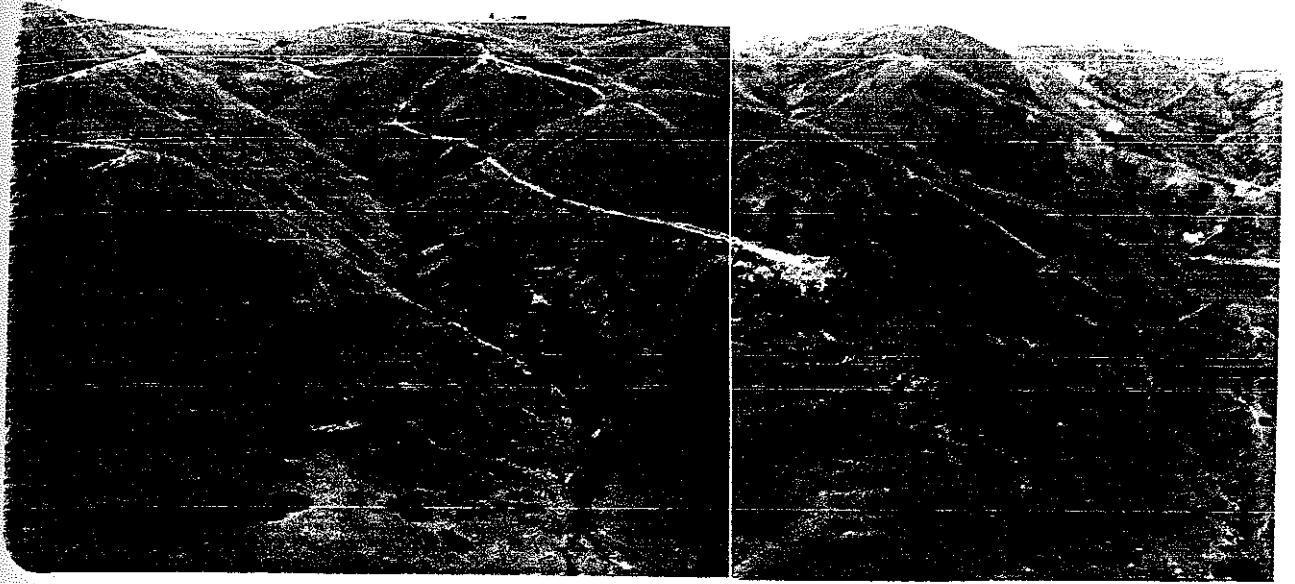


Foto 19- Kandiltaş Tepe'de Göller ve Henegebaşı şarıyajlarının genel görünüşü.

Mk :Kop ultramafiti, J-Kg :Gurri formasyonu,
Tgk :Kandiltaş  yesi, Tgg :Göller  yesi.

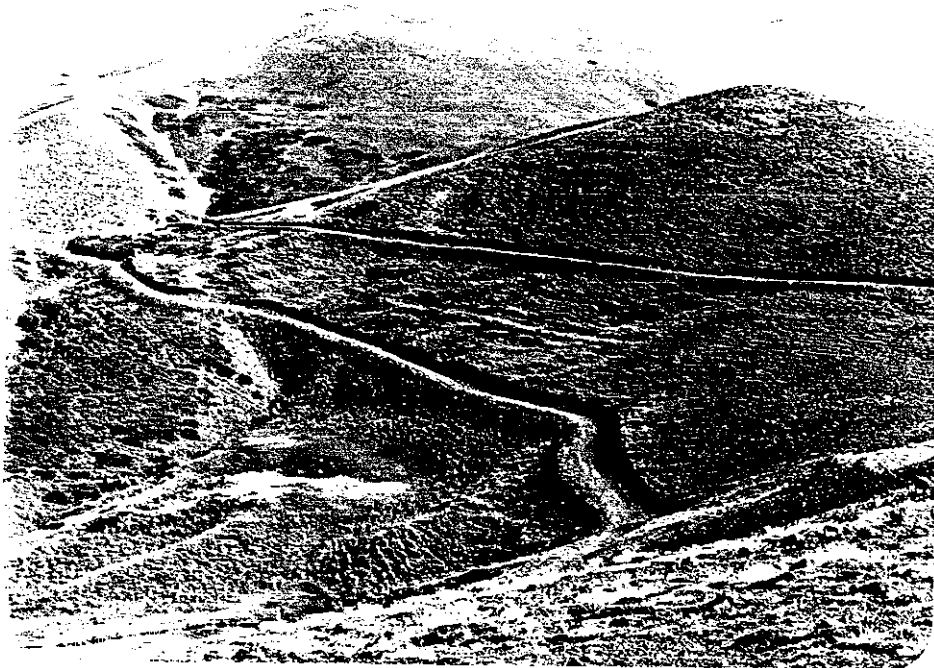


Foto 20- Henegebaşı mevkiinde Henegebaşı şarıyajının genel görünüşü.

Mk :Kop ultramafiti, J-Kg :Gurri formasyonu,
Hy :Heyelan.

IV, MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ

IV.1.GİRİŞ

Trabzon-Erzurum karayolunun, Aşkale-Bayburt ilçeleri arasında kalan Kop Geçidi mevkiinde, kış aylarında ulaşım çok zor yapılabilmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü karayolunun bu kesiminde 1970'li yıllardan beri tünel açılması ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. 1986 yılına kadar seçilen güzergahlarda yapılan çalışmalar olumlu bir sonuç vermemiştir. 1986 yılında Kopdağı 1 tünel güzergahı belirlenmiş ve araştırmalar, tamamlanmadan 1987 yılında bu güzergahtan vazgeçilerek yeni seçilen Kopdağı 2 tünel güzergahına kaydırılmıştır. Ancak Karayolları Genel Müdürlüğü Kopdağı 1 tünel güzergahını yeniden gündeme getirmiştir ve çalışmalar Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarında halen birlikte devam etmektedir. Kopdağı 1 tüneli 3060 m., Kopdağı 2 tüneli 6130 m uzunluğundadır. Her iki tünelde kazı yüksekliği 10.50 m., kazı genişliği 11.80 m.dir. (Yüksel Proje A.Ş.).

Bu incelemede Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarının jeolojik ve jeoteknik değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan çalışmalarla her iki tünel güzergahındaki kayaçların fiziksel, mekanik özellikleri incelenerek kaya kütlesi sınıflamaları yapılmış, iksa önlemleri belirlenmiş ve problemler ortaya konup karşılaştırılarak sonuca varılmıştır. Ayrıca, tünel inşaatı halinde, betonda kullanılabilecek agrega malzemesi için, malzeme ocağı tesbiti, bu ocaktaki malzemenin uygunluğu ve beton karışım tasarımı araştırılmıştır.

IV.2. KOPDAĞI 1 ve KOPDAĞI 2 TUNEL GÜZERGAHLARINDAKİ KAYAÇLARIN JEOMEKANİK ve JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları ile Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarında yeralan kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile aynı yapısal bölge içindeki birimlerin süreksizliklerinin jeoteknik özellikleri sunulmaya çalışılmıştır.

Fiziksel ve mekanik deneyler Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarındaki üç formasyona ait yedi birim üzerinde yapılmıştır. Süreksizliklerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesinde, benzer yapısal özellikler gösteren Kopdağı 1 tünel güzergahında 5 , Kopdağı 2 tünel güzergahında 6 yapısal bölgedeki arazi gözlemleri esas alınmıştır.

Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarında yapılan sondaj çalışmaları tüm güzergah boyunca tamamlanmamıştır. Deneyler için tamamlanan sondajların karotları kullanılmış, sondaj karıtlarının yetersiz görüldüğü yerlerde maksimum 10x20x30 cm ebadında blok numuneler alınarak deneyler bu numuneler üzerinde yürütülmüştür. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenen standartlar kullanılmıştır.

TS 699/Ocak 1987 Tabii yapı taşları-muayene ve deney metotları

TS 2027/Nisan1975 Kayaçların çekme dayanımlarının tayini

TS 2028/Nisan1975 Kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarının tayini

TS 2029/Nisan1975 Kayaçların üç eksenli basınç dayanımlarının tayini

TS 2030/Nisan1975 Kayaçların elastisite modülünün ve poisson oranının tek eksenli basınç deneyi ile tayini

Süreksizliklerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesinde ISRM (International Society for Rock Mechanics= Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği) ve EGWP (Engineering Geology Group Working Party=Mühendislik Jeolojisi Çalışma

Grubu) tarafından önerilen veri toplama ve değerlendirme yöntemi esas alınmıştır.

Fiziksel ve mekanik özellikler ile süreksizliklerin jeoteknik özellikleri üç ayrı alt bölüm halinde sunulmuştur. Fiziksel özellikler, mekanik özellikler içinde yer alması gereken bir konudur. Ancak anlatımda bütünlüğün sağlanması ve karışıklığın önlenmesi için ayrı alt bölümler halinde anlatılmıştır. Her alt bölümde önce gözlem veya deneyin ana ilkeleri anlatılmış, daha sonra konu ile ilgili tüm sonuçlar ve ortalamalar, grafik ve tablolar ile değerlendirilmiştir.

Bu bölümle ilgili tüm sonuçlar ileri bölümlerde kaya kütlesi sınıflamaları ile Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarının jeoteknik değerlendirilmesi bölümünde kullanılmıştır.

IV.2.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarındaki 3 formasyona ait 7 birimden alınan sondaj karotu ve blok numunelerden 120 adet deney örneği hazırlanmıştır. Sondaj karotu numuneleri iki tarafının, blok numuneler ise küp veya dikdörtgenler prizması şeklinde kesilmesi ile hazırlanmıştır. Numunelerin boyutları 5-7 cm olacak şekilde, taş kesme testeresi ile ıslak kesilmiş, düzgün olmayan yüzeyler aşındırıcı ile düzeltilmiş ve yüzeyler sert tel fırça ile fırçalanıp deneye hazırlanmıştır. Tabi birim hacim ağırlığının ve su muhtevasının belirlenmesi için ağzı parafinli kutularda muhafaza edilen şekilsiz numuneler kullanılmıştır. Tüm hacim hesaplamalarında Arşimet terazisinden yararlanılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, porozite gibi deneyler yapılmış ve bu deneyler sonucu aşağıdaki özellikler saptanmıştır.

1-Birim Hacim Ağırlık

a. Tabii Birim Hacim Ağırlık γ_n , gr/cm³

- b. Kuru Birim Hacim Ağırlık γ_d , gr/cm^3
- c. Suya Doygun Birim hacim Ağırlık γ_s , gr/cm^3
- 2- Özgül Ağırlık G_s , gr/cm^3
- 3- Su muhtevası w , (%)
- 4- Su emme
 - a. Ağırlıkça su emme S_w , %
 - b. Hacimce su emme S_v , %
- 5- Porozite
 - a. Zahirî Porozite (Görünür Porozite) n_a , %
 - b. Gerçek Porozite n , %
- 6- Boşluk oranı e , %
- 7- Doluluk oranı (Kompasite) k , %

Tüm deney sonuçları önce her birim için ayrı ayrı daha sonra tüm birimlerin ortalamaları Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları için 2 ayrı tablo halinde verilmiştir.

IV.2.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

Kayaların mühendislik amaçları için sınıflandırılmasında mekanik özelliklerin önemli bir yeri vardır. Özellikle kaya kütlesi sınıflamaları ve kaya kütlelerinin sağlamlıklarını belirlemede yoğun bir şekilde kullanılır. Bu amaçla mekanik özelliklerin belirlenmesi için, Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarında tamamlanan sondajların Nx(54mm) ve Bx(42mm) çaplı karotlarından hazırlanan 88 adet deney örneği kullanılmıştır. Ayrıca nokta yükleme deneyi için şekilsiz numunelerde kullanılmıştır.

Tek eksenli basınç, üç eksenli basınç ve çekme deneylerinde numune boylarının çapa oranı $L/D=2.0$, nokta yükleme dayanımı tayininde aşağıda görüldüğü gibi çapsal $L>0.7D$, eksenel $D/L=1.1\pm 0.05$ ve şekilsiz $D/L=1.0-1.4$ olarak şekilde hazırlanmıştır.

γ_n (gr/cm ³)	$\gamma_{n \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	$\gamma_{d \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	$\gamma_{s \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	$G_{s \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	w (%)	w_{ort} (%)
2.50	2.51	2.46	2.48	2.51	2.53	2.63	2.73	1.12	1.21
2.71		2.67		2.71		3.03		1.28	
2.40		2.38		2.43		2.76		1.04	
2.38		2.35		2.40		2.65		1.61	
2.57		2.56		2.58		2.63		1.00	

n_a (%)	$n_{a \text{ ort}}$ (%)	n (%)	n_{ort} (%)	e (%)	e_{ort} (%)	k (%)	k_{ort} (%)	s_w (%)	$s_{w \text{ ort}}$ (%)	s_v (%)	$s_{v \text{ ort}}$ (%)
0.63	1.30	6.46	7.23	6.90	7.92	93.54	92.77	0.93	0.55	0.63	1.30
2.21		9.57		10.58		90.43		0.23		2.21	
0.24		7.25		7.81		92.75		0.78		0.24	
1.87		11.32		12.76		88.68		0.21		1.87	
1.54		1.54		1.56		98.86		0.60		1.54	

Tablo-3-Ultramafit örneklerinin fiziksel özellikleri (Kopdağı 1 tünel güzergahı)
Physical properties of ultramafic samples.

γ_n (gr/cm ³)	γ_n ort (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	γ_d ort (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	γ_s ort (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	G_s ort (gr/cm ³)	w (%)	w _{ort} (%)
2.35	2.46	2.26	2.41	2.36	2.46	2.56	2.77	4.03	2.60
2.55		2.53		2.55		2.77		1.03	
2.47		2.45		2.47		2.99		1.07	
2.49		2.47		2.50		2.70		2.12	
2.44		2.33		2.44		2.84		4.75	

n_a (%)	n_a ort (%)	n (%)	n _{ort} (%)	e (%)	e _{ort} (%)	k (%)	k _{ort} (%)	s_w (%)	s_w ort (%)	s_v (%)	s_v ort (%)
10.03	4.54	11.72	12.98	13.27	15.20	88.28	87.02	4.42	2.14	10.03	4.54
2.61		8.66		9.48		91.34		1.03		2.61	
2.66		18.06		22.00		81.94		1.07		2.66	
5.12		8.52		9.31		91.48		2.17		5.12	
4.31		18.96		21.89		82.04		2.01		4.31	

Tablo-4- Ultramafit örneklerinin fiziksel özellikleri.(Kopdağı 2 tünel güzergahı)
Physical properties of ultramafic samples.

γ_n (gr/cm ³)	$\gamma_{n \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	$\gamma_{d \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	$\gamma_{s \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	$G_{s \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	w (%)	w_{ort} (%)
2.37	2.41	2.28	2.15	2.39	2.43	2.78	2.76	7.61	4.33
2.36		2.33		2.37		2.86		2.73	
2.15		2.13		2.20		2.78		3.25	
2.94		1.92		2.94		2.67		4.19	
2.21		2.08		2.25		2.69		3.88	

n_a (%)	$n_{a \text{ ort}}$ (%)	n (%)	n_{ort} (%)	e (%)	$e_{\text{ort.}}$ (%)	k (%)	k_{ort} (%)	s_w (%)	$s_{w \text{ ort}}$ (%)	s_v (%)	$s_{v \text{ ort}}$ (%)
17.04	22.29	17.99	22.29	21.93	29.02	82.01	77.71	7.49	10.74	17.04	22.29
13.95		18.53		22.74		81.47		5.98		13.95	
27.76		23.38		30.51		76.62		13.68		27.76	
29.49		28.89		40.62		71.11		15.37		29.49	
23.22		22.68		29.33		77.32		11.16		23.22	

Tablo-5-Serpantin örneklerinin fiziksel özellikleri(Kopdağı 1-2 tünel güzergahı)
Physical properties of serpentın samples.

γ_n (gr/cm ³)	$\gamma_{n \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	$\gamma_{d \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	$\gamma_{s \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	$G_{s \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	w (%)	w_{ort} (%)
2.66	2.65	2.51	2.52	2.66	2.66	2.69	2.71	5.13	4.65
2.66		2.54		2.67		2.71		4.27	
2.63		2.53		2.64		2.70		4.88	
2.64		2.53		2.65		2.71		3.96	
2.66		2.50		2.67		2.73		5.01	

n_a (%)	$n_{a \text{ ort}}$ (%)	n (%)	n_{ort} (%)	e (%)	e_{ort} (%)	k (%)	k_{ort} (%)	s_w (%)	$s_{w \text{ ort}}$ (%)	s_v (%)	$s_{v \text{ ort}}$ (%)
1.58	1.48	6.69	6.87	7.17	7.38	93.31	93.13	0.59	0.44	1.58	1.48
1.46		6.28		6.70		93.72		0.18		1.46	
1.42		6.30		6.72		93.70		0.54		1.42	
1.48		6.65		7.12		93.35		0.43		1.48	
1.50		8.43		9.20		91.57		0.47		1.50	

Tablo-6- Beyaz kireçtaşı örneklerinin fiziksel özellikleri (Kopdağı 1-2 tünel güzergahı).
Physical properties of white limestone samples.

γ_n (gr/cm ³)	γ_n ort (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	γ_d ort (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	γ_s ort (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	G_s ort (gr/cm ³)	w (%)	w _{ort} (%)
2.59	2.63	2.53	2.58	2.60	2.64	2.74	2.70	5.04	3.86
2.61		2.59		2.64		2.68		4.12	
2.70		2.69		2.71		2.71		3.21	
2.60		2.55		2.62		2.70		3.37	
2.64		2.56		2.61		2.69		3.56	

n_a (%)	n_a ort (%)	n (%)	n _{ort} (%)	e (%)	e _{ort} (%)	k (%)	k _{ort} (%)	s_w (%)	s_w ort (%)	s_v (%)	s_v ort (%)
0.30	0.28	6.57	5.69	7.03	6.04	93.43	94.31	0.11	0.11	0.30	0.28
0.27		4.85		5.09		95.15		0.10		0.21	
0.37		6.64		7.11		93.36		0.16		0.37	
0.18		5.56		5.88		94.44		0.07		0.18	
0.30		4.83		5.07		95.17		0.12		0.30	

Tablo-7- Gri kireçtaşı örneklerinin fiziksel özellikleri (Kopdağı 1 tünel güzergahı)
Physical properties of gray limestone samples.

γ_n (gr/cm ³)	γ_n ort (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	γ_d ort (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	γ_s ort (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	G_s ort (gr/cm ³)	w (%)	w _{ort} (%)
2.65	2.64	2.58	2.59	2.65	2.65	2.76	2.73	1.98	1.49
2.63		2.59		2.63		2.74		1.40	
2.66		2.60		2.67		2.70		1.28	
2.64		2.57		2.64		2.72		1.37	
2.64		2.60		2.66		2.72		1.43	

n_a (%)	n_a ort (%)	n (%)	n ort (%)	e (%)	e _{ort} (%)	k (%)	k ort (%)	s_w (%)	s_w ort (%)	s_v (%)	s_v ort (%)
5.16	4.16	6.53	5.13	6.99	5.42	93.47	94.87	1.98	1.59	5.16	4.16
3.81		5.48		5.79		94.52		1.47		3.81	
3.68		3.71		3.85		96.29		1.40		3.68	
4.21		5.52		5.84		94.48		1.61		4.21	
3.94		4.41		4.61		95.58		1.50		3.94	

Tablo-8- Gri kireçtaşı örneklerinin fiziksel özellikleri. (Kopdağı 2 tünel güzergahı)
Physical properties of gray limestone samples.

γ_n (gr/cm ³)	γ_n ort (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	γ_d ort (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	γ_s ort (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	G_s ort (gr/cm ³)	w (%)	w _{ort} (%)
2.68	2.66	2.65	2.46	2.69	2.66	2.70	2.68	0.08	0.34
2.64		2.26		2.64		2.64		0.58	
2.66		2.48		2.67		2.65		0.48	
2.65		2.46		2.65		2.63		0.21	
2.67		2.47		2.67		2.67		0.38	

n_a (%)	n_a ort (%)	n (%)	n _{ort} (%)	e (%)	e _{ort} (%)	k (%)	k _{ort} (%)	s_w (%)	s_w ort (%)	s_v (%)	s_v ort (%)
0.40	1.21	1.85	7.32	1.88	8.11	98.15	92.68	0.15	0.44	0.40	1.21
2.03		14.39		16.80		85.61		0.77		2.03	
1.21		6.42		6.86		93.58		0.46		1.21	
0.98		6.46		6.91		93.54		0.24		0.98	
1.47		7.50		1.11		92.50		0.58		1.47	

Tablo-9-Kumtaşı örneklerinin fiziksel özellikleri (Kopdağı 1-2 tünel güzergahı).
Physical properties of of sandstone samples

γ_n (gr/cm ³)	$\gamma_{n \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	$\gamma_{d \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	$\gamma_{s \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	$G_{s \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	w (%)	w_{ort} (%)
2.49	2.51	2.47	2.48	2.52	2.53	2.65	2.68	2.15	3.46
2.53		2.49		2.53		2.72		4.21	
2.56		2.51		2.58		2.67		4.73	
2.48		2.45		2.49		2.62		3.18	
2.51		2.48		2.52		2.75		3.02	

n_a (%)	$n_{a \text{ ort}}$ (%)	n (%)	n_{ort} (%)	e (%)	e_{ort} (%)	k (%)	k_{ort} (%)	s_w (%)	$s_{w \text{ ort}}$ (%)	s_v (%)	$s_{v \text{ ort}}$ (%)
2.50	2.58	6.79	7.51	7.28	8.14	93.21	92.49	1.01	1.04	2.50	2.58
2.66		8.46		9.24		91.54		1.07		2.66	
2.63		5.99		6.37		94.01		1.11		2.63	
2.48		6.49		6.94		93.51		1.03		2.48	
2.64		9.82		10.89		90.18		0.98		2.64	

Tablo-10- Çakıлтаşı örneklerinin fiziksel özellikleri (Kopdağı 1-2 tünел güzergahı)

. Physical properties of conglomerate samples .

* Numuneler su ile temasta dağıldığından deney yapılamadı.

γ_n (gr/cm ³)	$\gamma_{n \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	$\gamma_{d \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	$\gamma_{s \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	$G_{s \text{ ort}}$ (gr/cm ³)	w (%)	w _{ort} (%)
2.40	2.46	2.35	2.42	2.43	2.50	2.72	2.81	4.07	3.71
2.58		2.53		2.61		2.85		4.42	
2.41		2.39		2.47		2.76		3.01	
2.40		2.37		2.45		2.85		3.26	
2.50		2.46		2.56		2.87		3.78	

n_a (%)	$n_{a \text{ ort}}$ (%)	n (%)	n_{ort} (%)	e (%)	e_{ort} (%)	k (%)	k_{ort} (%)	s_w (%)	$s_{w \text{ ort}}$ (%)	s_v (%)	$s_{v \text{ ort}}$ (%)
*	13.49	12.13	13.57	13.80	15.33	87.87	86.43	*	13.35	*	13.49
*		11.23		12.65		88.77		*		*	
13.35		13.40		15.47		86.59		5.77		5.92	
14.01		16.84		20.25		83.15		6.26		14.01	
13.12		14.29		14.49		85.71		5.73		13.12	

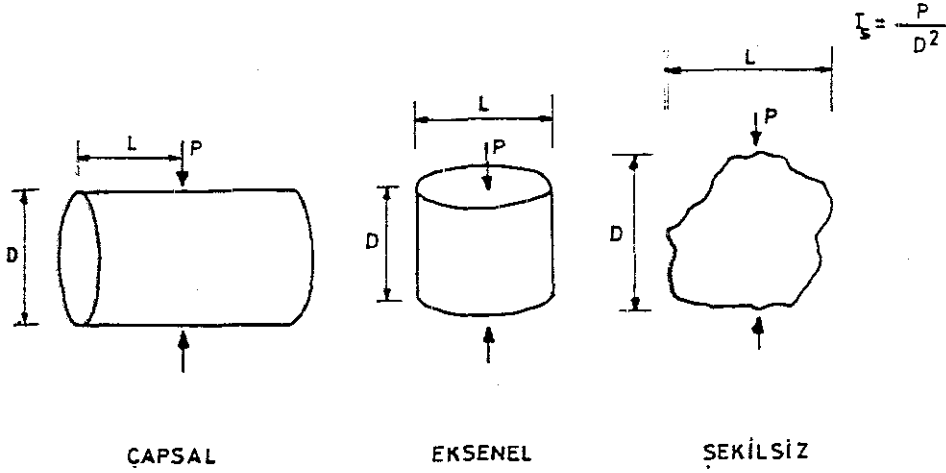
Tablo-11- Çamurtaşı örneklerinin fiziksel özellikleri (Kopdağı 1-2 tünel güzergahı).
Physical properties of mudstone samples.

Formasyon	Litoloji	γ_n (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	w (%)	n_a (%)	n (%)	e (%)	k (%)	S_w (%)	S_v (%)
KOP	Ultramafit	2.51	2.48	2.53	2.73	1.21	1.30	7.23	7.92	92.77	0.55	1.30
	Serpantin	2.41	2.15	2.43	2.76	4.33	22.29	22.29	29.02	77.71	10.74	22.29
Gurri Tepe	Beyaz kireçtaşı	2.65	2.52	2.66	2.71	4.65	1.48	6.87	7.38	93.13	0.44	1.48
	Gri kireçtaşı	2.63	2.58	2.64	2.70	3.86	0.28	5.69	6.04	94.31	0.11	0.28
	Kumtaşı	2.66	2.46	2.66	2.68	0.34	1.21	7.32	8.11	92.68	0.44	1.21
Göllerderesi	Çakıлтаşı	2.51	2.48	2.53	2.68	3.46	2.58	7.51	8.14	92.49	1.04	2.58
	Çamurtaşı	2.46	2.42	2.50	2.81	3.71	13.49	13.57	15.33	86.43	5.92	13.49

Tablo-12- Kopdağı 1 tünel güzergahı kayaçlarının ortalama fiziksel özellikleri.
Average physical properties of the rocks of Kopdağı 1 tunnel line.

Formasyon	Litoloji	γ_n (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	G_s (gr/cm ³)	ω (%)	n_a (%)	n (%)	e (%)	k (%)	S_w (%)	S_v (%)
KOP	Ultramafit	2.46	2.41	2.46	2.77	2.60	4.54	12.98	15.20	87.02	2.14	4.54
	Serpantin	2.41	2.15	2.43	2.76	4.33	22.29	22.29	29.02	77.71	10.74	22.29
Gurri Tepe	Beyaz kireçtaşı	2.65	2.52	2.66	2.71	4.65	1.48	6.87	7.38	93.13	0.44	1.48
	Gri kireçtaşı	2.64	2.59	2.65	2.73	1.49	4.16	5.13	5.42	94.87	1.59	4.16
	Kumtaşı	2.66	2.46	2.66	2.68	0.34	1.21	7.32	8.11	92.68	0.44	1.21
Göllerderesi	Çakıлтаşı	2.51	2.48	2.53	2.68	3.46	2.58	7.51	8.14	92.49	1.04	2.58
	Çamurtaşı	2.46	2.42	2.50	2.81	3.71	13.49	13.57	15.33	86.43	5.92	13.49

Tablo-13- Kopdağı 2 tünel güzergahı kayaçlarının ortalama fiziksel özellikleri.
Average physical properties of the rocks of Kopdağı 2 tunnel line.



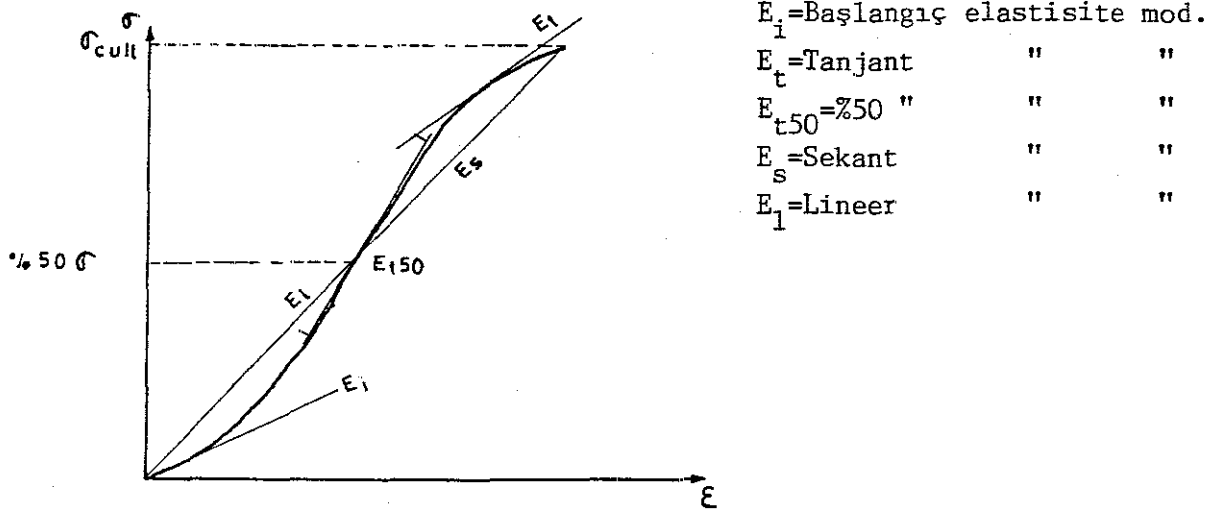
Tek eksenli, üç eksenli, çekme deneylerinde 300 ton kapasiteli hidrolik pres, üç eksenli basınç deneyinde 700 kg/cm² kapasiteli yanal basınç ünitesi ile Nx(54mm) çaplı Hook hücresi, nokta yükleme deneyinde 5 ton kapasiteli hidrolik kriko kullanılmıştır. Deneylerde yükleme hızı, saniyede 10-12 kg/cm² olacak şekilde uygulanmıştır. Yapılan deneylerle saptanan özellikler aşağıdaki gibidir.

- 1- Tek eksenli basınç dayanımı σ_c , kg/cm²
- 2- Üç eksenli basınç dayanımı σ_I , σ_{III} , kg/cm²
- 3- Çekme dayanımı σ_t , kg/cm²
- 4- Nokta yükleme dayanımı I_s , kg/cm²
- 5- Elastisite Modülü (Young modülü) E, kg/cm²
- 6- Poisson oranı ν
- 7- Kohezyon c, kg/cm²
- 8- İç sürtünme açısı ϕ , --°

Tek eksenli basınç deneylerinde, numuneler üzerine microstrain mertebesinde iki yönde deformasyon ölçebilen strain gauge'ler yapıştırılmış, enine ve boyuna deformasyonlar direkt olarak ölçülmüştür.

Elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν)'nın belirlenmesi için gerilme deformasyon (σ - ϵ) eğrileri çizilmiştir. Beş çeşit elastisite modülü vardır ve çeşitli mühendislik problemleri için ayrı ayrı kullanılırlar. Tünelcilikte kazı destek problemlerinde sekant elastisite modülü (E_s)

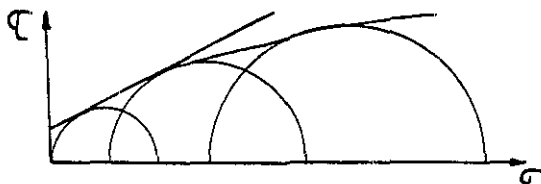
kullanılır (ROBERTS, 1977). %50 tanjant elastisite modülü kayaların mühendislik sınıflamasında kullanılır (DEERE and MILLER). Bu çalışmada sekant ve %50 tanjant elastisite modülleri kullanılmıştır. Sekant elastisite modülü (E_s) kayanın nihai kırılma direncinin (σ_{cult}), %50 tanjant elastisite modülü (E_{t50}) nihai kırılma direncinin yarısının, deformasyona (ϵ) oranı ile hesaplanır.



Üç eksenli basınç deneylerinde üç ayrı yanıl basınç (σ_{III}) uygulanmıştır.

Çekme dayanımı (σ_t) direkt (σ_t) ve indirekt (Brezilyan) çekme (σ_{ti}) şeklinde iki yöntemle belirlenmiştir.

Tek eksenli basınç, üç eksenli basınç ve çekme dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlardan yararlanarak her birim için Mohr daireleri ve bu dairelerin ortak teğeti olan Coulomb zarf doğrusu çizilmiştir. Ancak yapılan deneylerle Mohr dairelerine çizilen teğetin, Coulomb doğrusu şeklinde olmadığı gözlenmiştir. Ortak teğet, basınç artışına bağlı olarak gittikçe eğimi azalan bir eğri şeklindedir.



Bu da büyük gerilmeler altında taşların daha düşük iç sürtünme değerlerine sahip olabileceklerini gösterir.

Tüm deney sonuçları her birim için önce ayrı ayrı daha sonra tüm birimlerin ortalamaları tablo halinde verilmiştir (Tablo-14). Laboratuvar çalışmaları ile bulunan sonuçların genel bir değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan genel değerlendirmede Stapledon (1973) ün nokta yük dayanımı (Tablo-15), Deere ve Miller (1966)in elastisite modülü ve tek eksenli basınç dayanımı (Tablo 16) tabloları kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar Tablo-17 de verilmiştir.

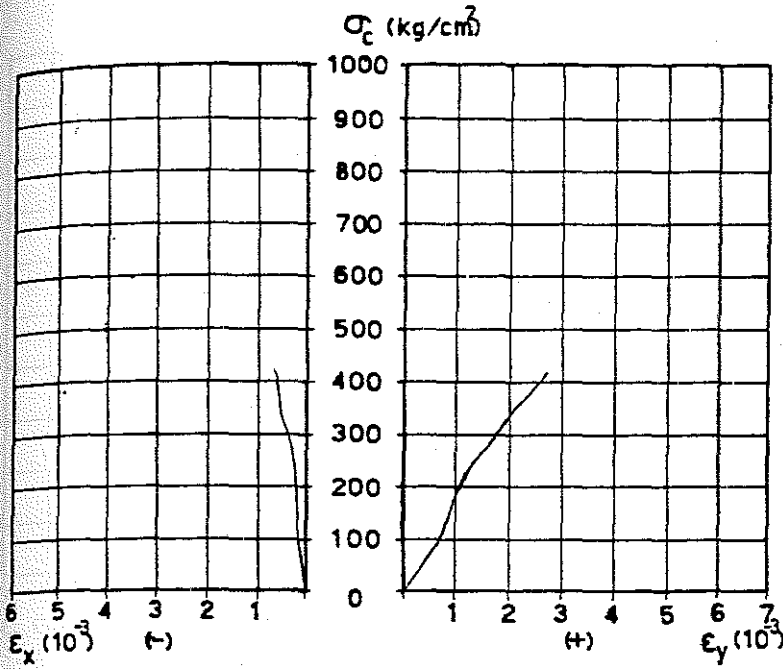
IV.2.3. SÜREKSİZLİKLERİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Süreksizlik; kaya kütleindeki kırık, çatlak, tabaka düzlemi, yapraklanma düzlemi, fay gibi yapısal özellikleri kapsayan genel bir terimdir ve kaya kütlesi sınıflamalarında temel parametreleri oluşturur.

Süreksizliklerin tünel güzergahına etkilerini araştırmak ve kaya kütlesi sınıflamalarına ayrıntılı bilgi sağlamak için Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları boyunca 3 formasyona ait 7 bölgede toplam 649 lokasyonda gözlem yapılmıştır. Yapılan gözlemlerde ISRM ve EGWP tarafından önerilen veri toplama ve değerlendirme yöntemleri esas alınarak süreksizliklerin jeoteknik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Süreksizliklerin; yönelim ve takım sayısı, devamlılık, açıklık, pürüzlülük, dolgu malzemesi gibi jeoteknik özellikleri ile kayaç kütle bozunma dereceleri belirlenmiş, sonuçlar histogram çözümleri ve tablolar halinde sunulmuştur. Süreksizliklerin yönelim ve takım sayıları yapısal jeoloji bölümünde anlatılmıştır.

Süreksizliklerin jeoteknik özellikleri ile ilgili temel sınıflamalar Tablo 18, 19, 20, 21, 22 de verilmiştir.



Formasyon: Göllerderesi

Litoloji: Çakıltası

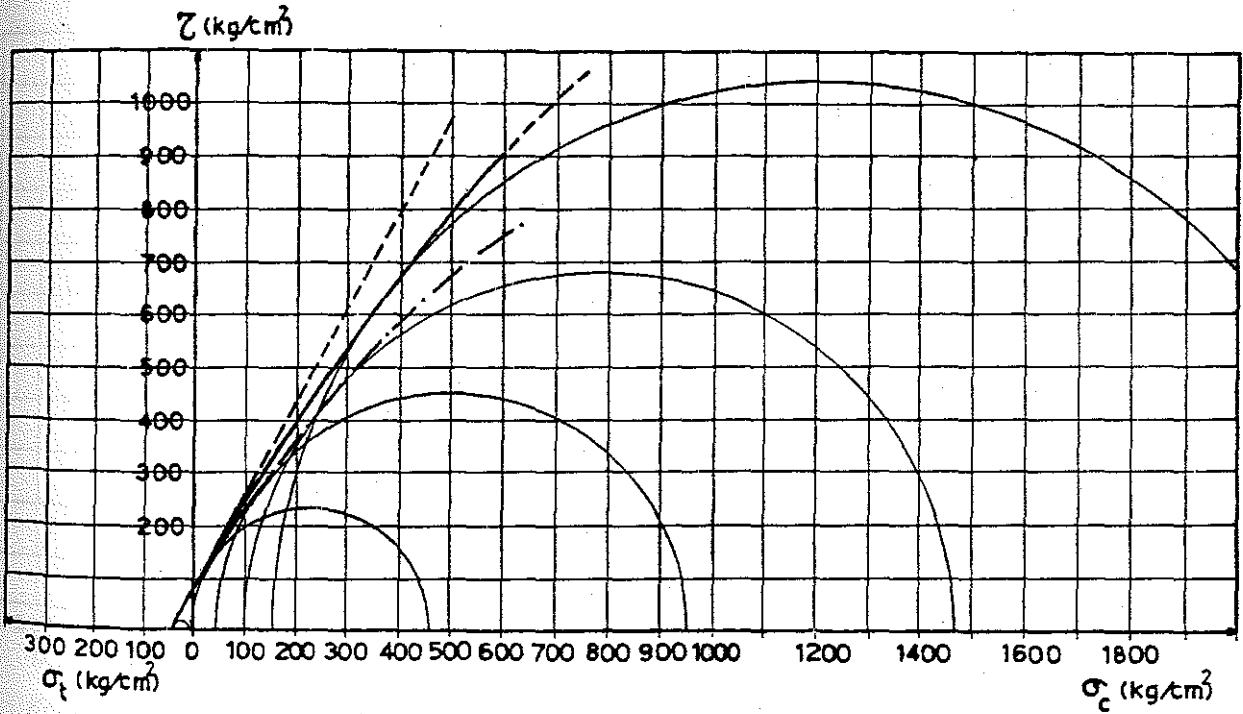
Elastisite Modülü (x10³ kg/cm²)

$E_s = 157.7$

$E_{t50} = 186.4$

Poisson Oranı

$\nu = 0.18$

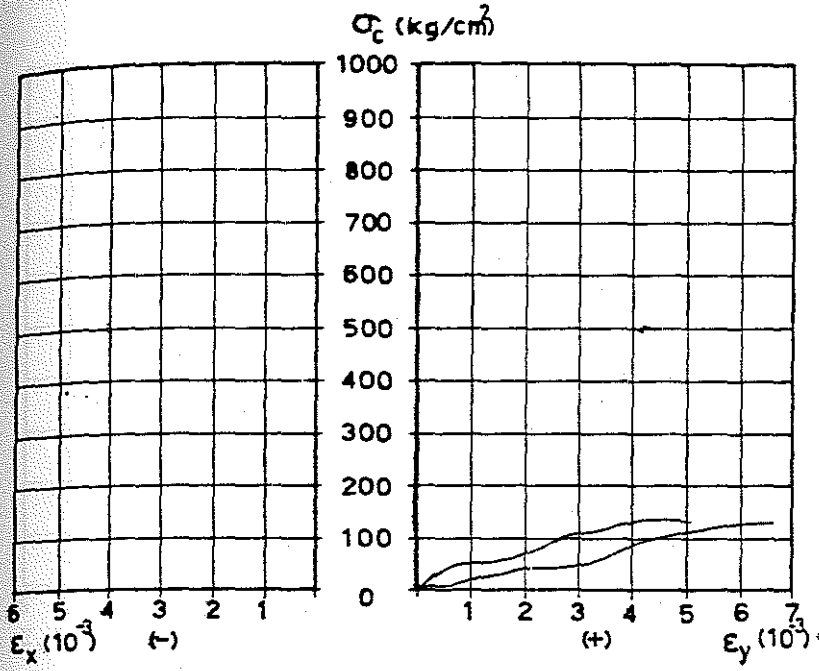


Kohezyon $C = 89$ kg/cm²

İç Sürtünme Açısı $\phi = \max 61^\circ \min 33'$

Şekil-11- Çakıltasının $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.

$\tau = f(\sigma)$ diagram and $\sigma = f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ behavior of the conglomerate



Formasyon: Göllerderesi

Litoloji: Çamurtaşı

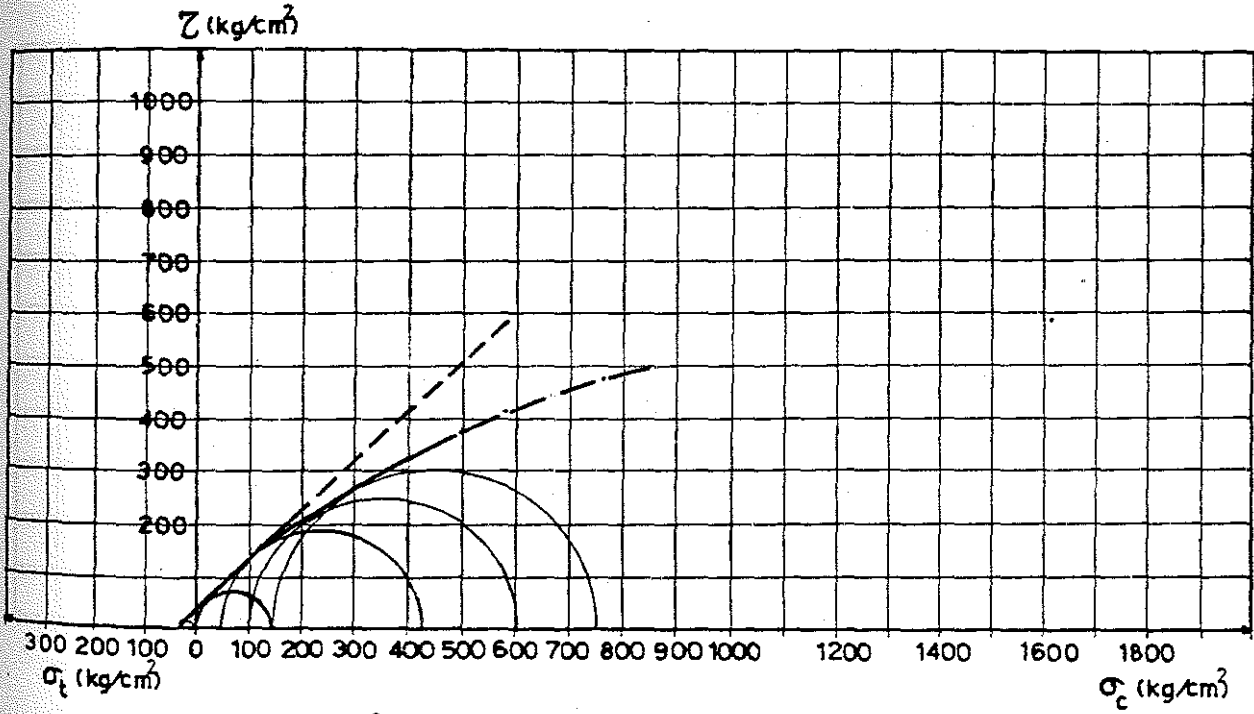
Elastisite Modülü ($\times 10^3$ kg/cm²)

$E_s = 27.0 - 19.7$
23.4

$E_{t50} = 67.5 - 19.7$
43.6

Poisson Oranı

$\nu = -$

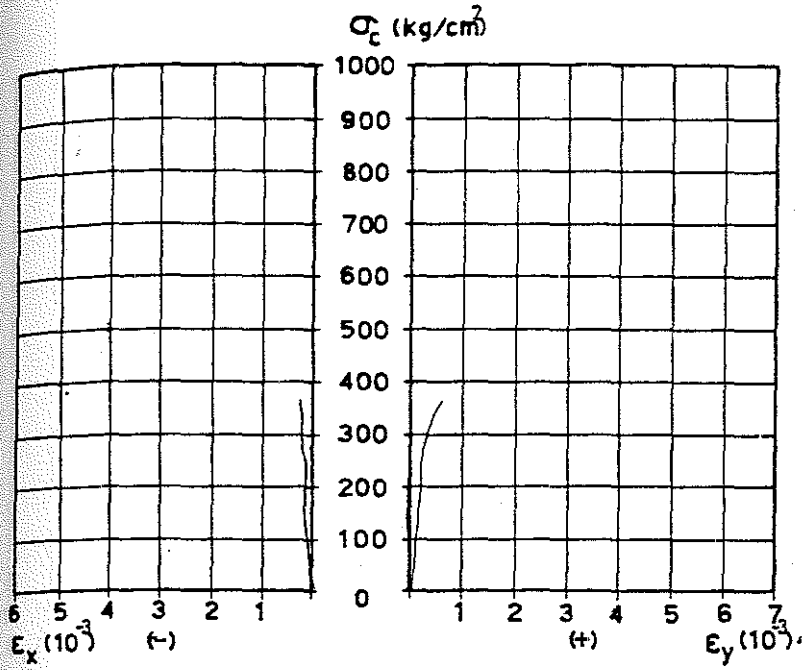


Kohezyon $C = 45$ kg/cm²

İç Sürtünme Açısı $\phi = \max 44 \text{ min } 18$

Şekil-12- Çamurtaşının $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı.

$\tau=f(\sigma)$ diagram and $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ behavior of the mudstone



Formasyon: 6urri

Litoloji: Kireçtaşı (beyaz)

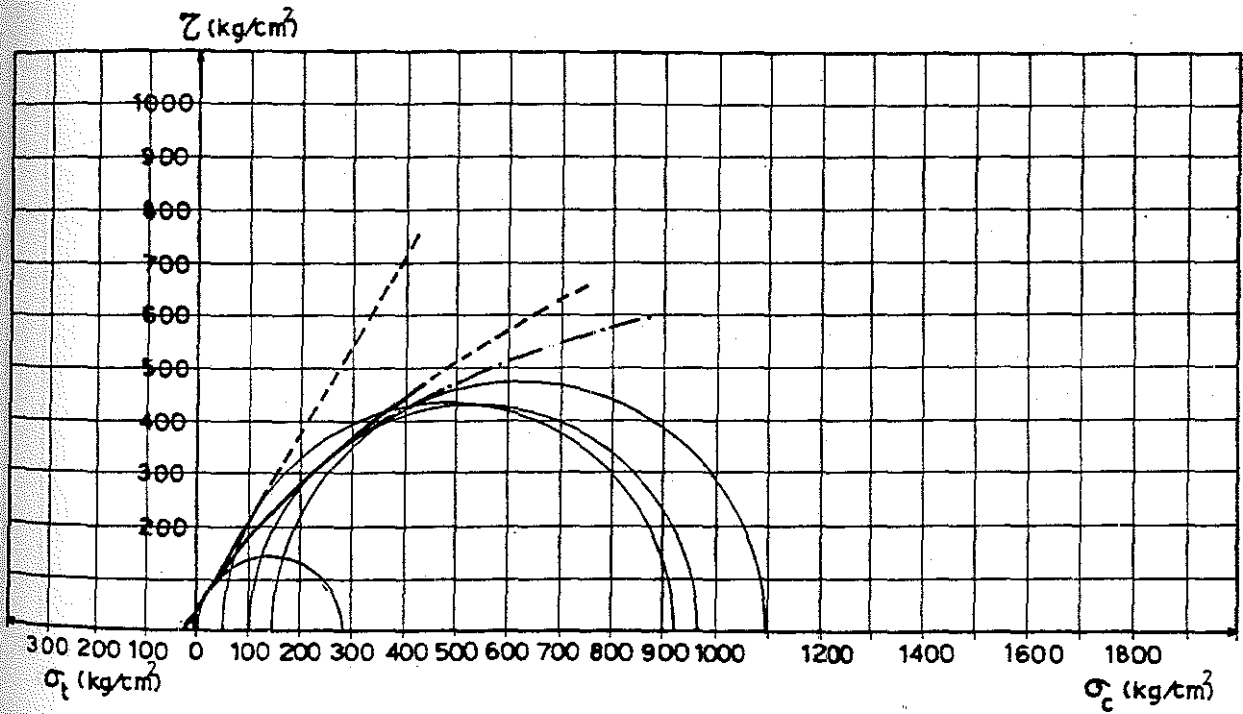
Elastisite Modülü (x10³ kg cm²)

E_s = 618.2

E_{t50} = 862.5

Poisson Oranı

ν = 0.1

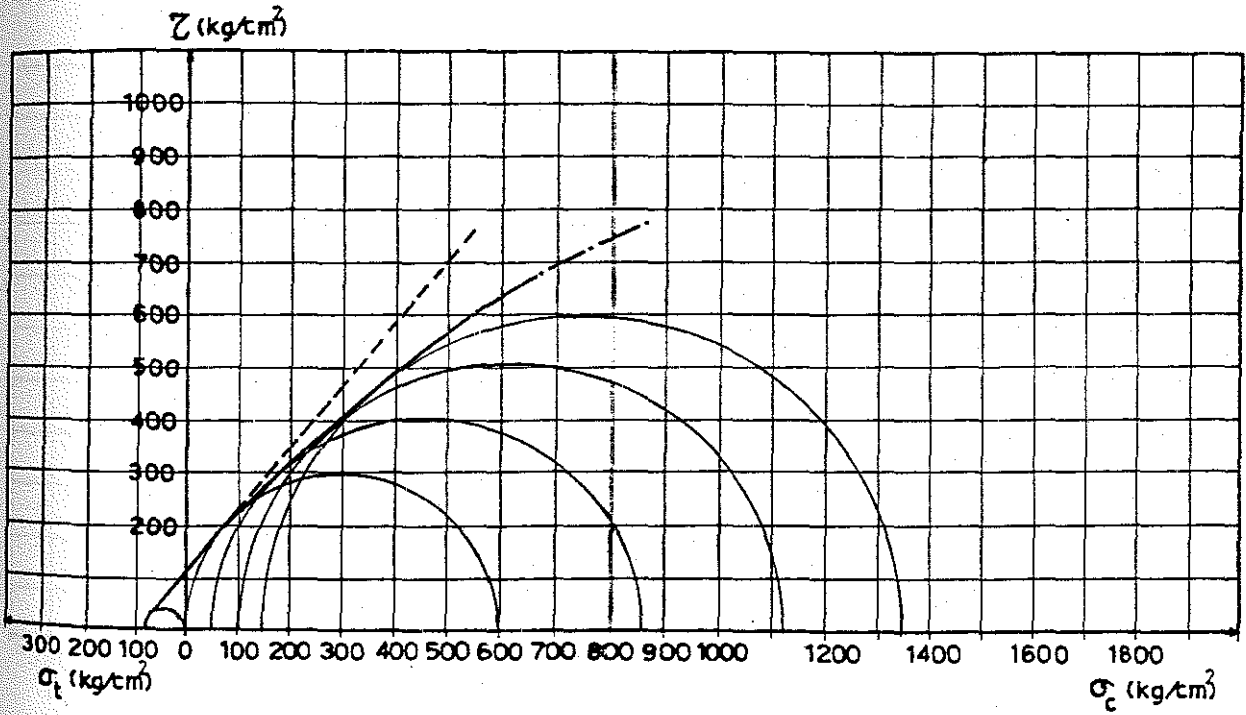
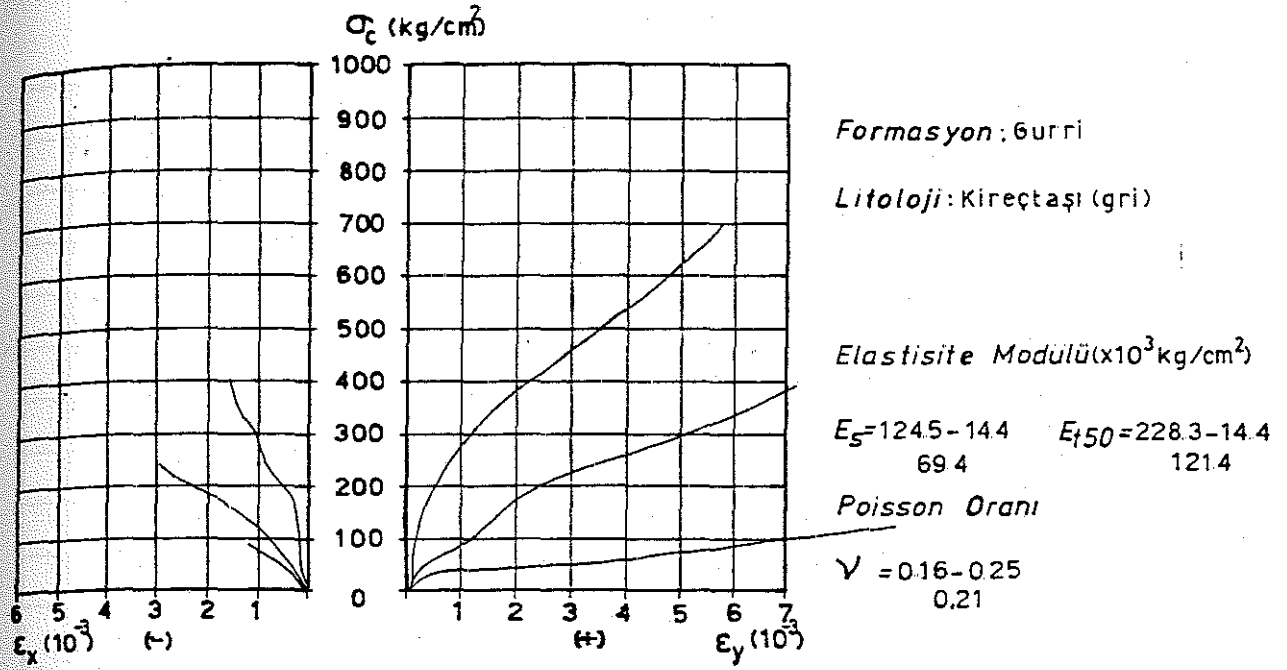


Kohezyon C = 47 kg/cm²

İç Sürtünme Açısı φ = max 60 min 17

Şekil-13- Kireçtaşı (beyaz) ın τ=f(σ) diyagramı ve σ=f(ε_x, ε_y) davranışı

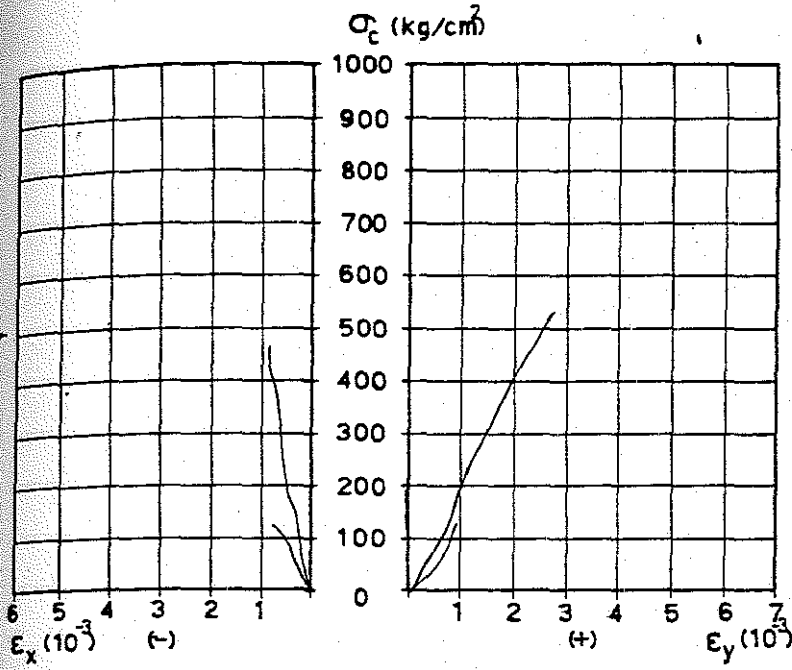
τ=f (σ) diagram and σ=f(ε_x, ε_y) behavior of the limestone (white)



İç Sürtünme Açısı $\phi = \max 50 \text{ min } 25$

Şekil-14- Kireçtaşı (gri) nin $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı

$\tau=f(\sigma)$ diagram and $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ behavior of the limestone (gray)



Formasyon: Gurri

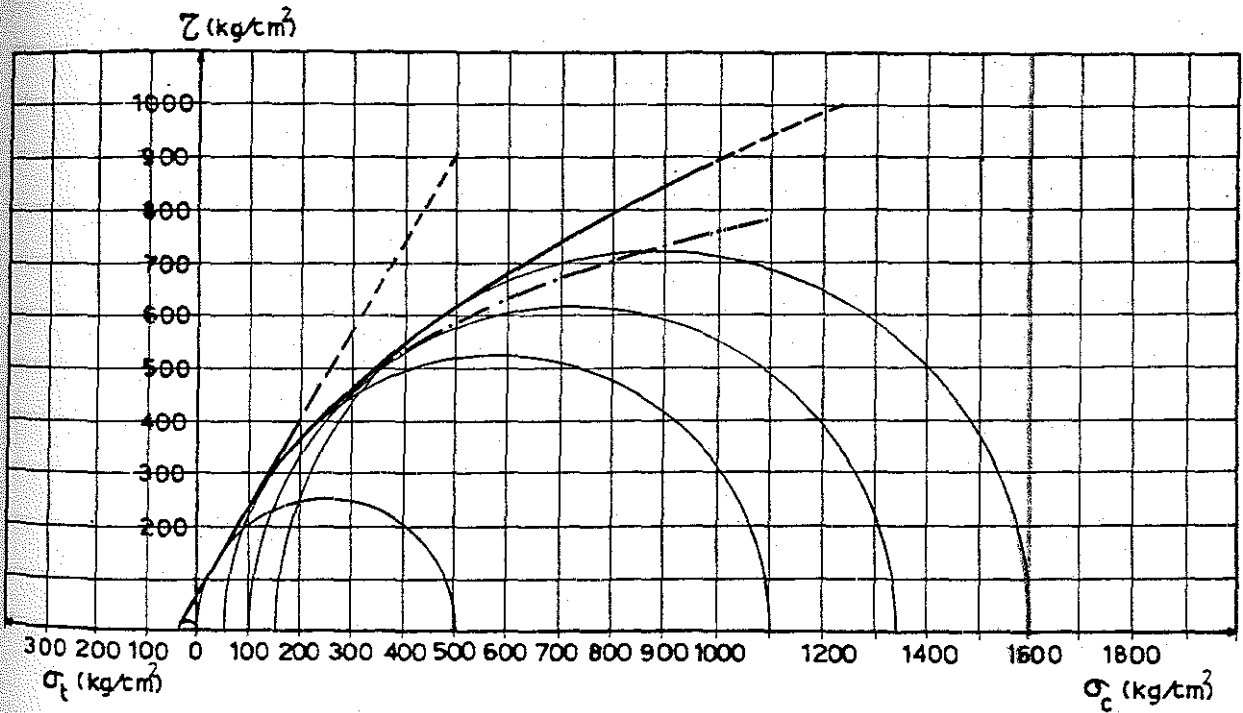
Litoloji: Kireçtaşı (gri)

Elastisite Modülü ($\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)

$E_s = 1845 - 1412$ $E_{f50} = 2058 - 109.1$
162.8 157.6

Poisson Oranı

$\nu = 0.2 - 0.4$
0.3

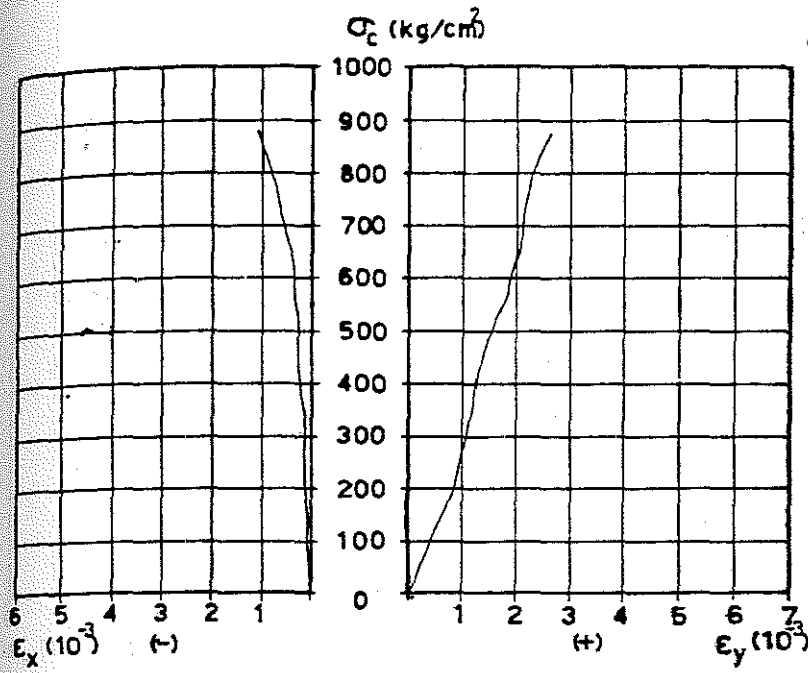


Kohezyon $C = 79 \text{ kg/cm}^2$

İç Sürtünme Açısı $\phi = \max 59^\circ \min 15^\circ$

Şekil-15- Kireçtaşı (gri) nin $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı

$\tau=f(\sigma)$ diagram and $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ behavior of the limestone (gray)



Formasyon : 6urri

Litoloji: Kumtaşı

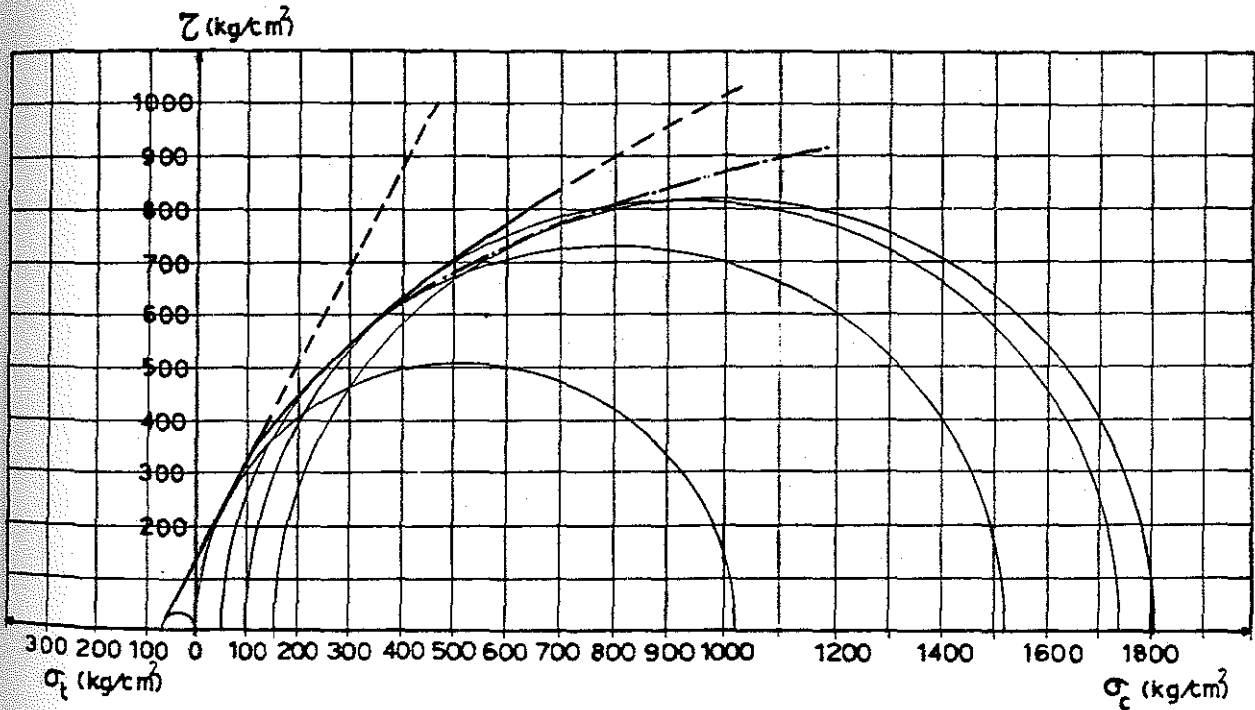
Elastisite Modülü ($\times 10^3$ kg/cm²)

$E_s = 373.1$

$E_{t50} = 346.4$

Poisson Oranı

$\nu = 0.3$

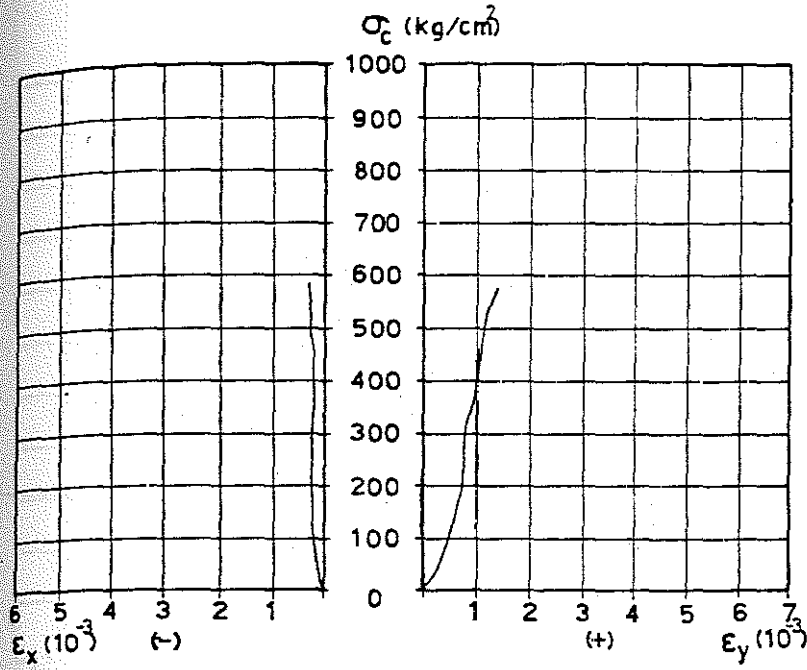


Kohezyon $C = 150$ kg/cm²

İç Sürtünme Açısı $\phi = \max 62 \text{ min } 16$

Şekil-16-Kumtaşının $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı

$\tau=f(\sigma)$ diagram and $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ behavior of the sandstone



Formasyon: Kop ultramafiti

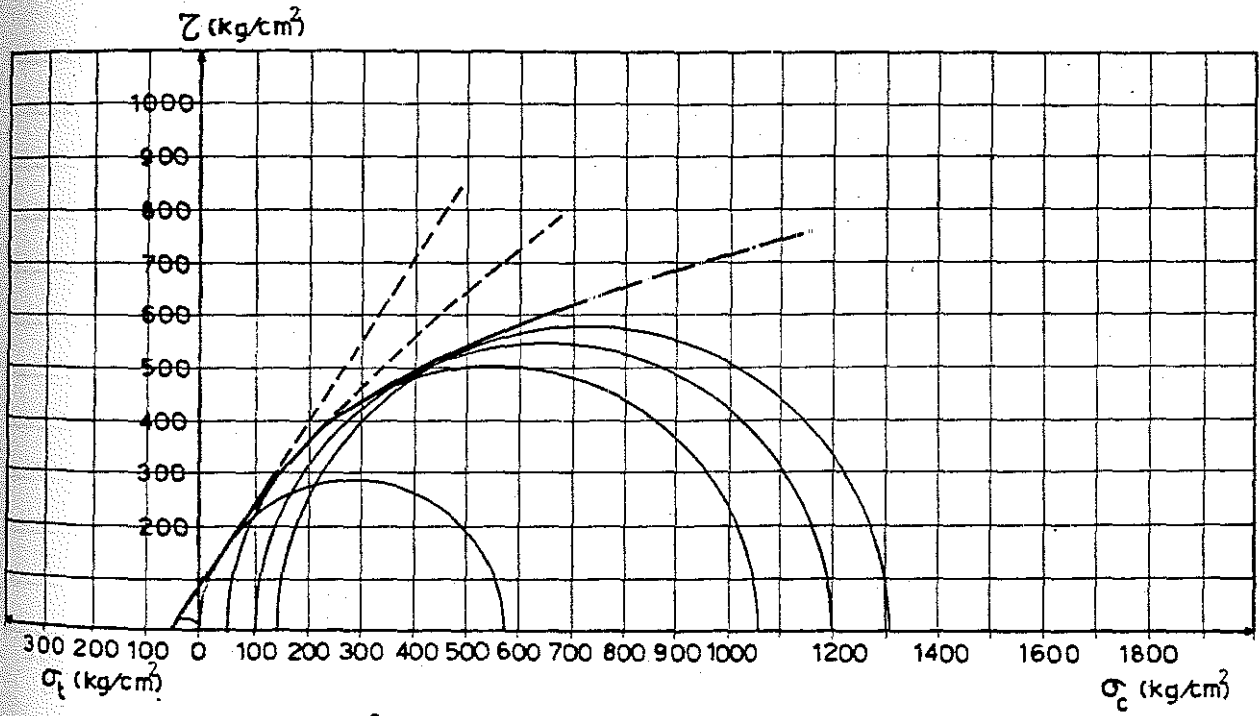
Litoloji: Ultramafit

Elastisite Modülü ($\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)

$E_s = 3714$ $E_{t50} = 150.0$

Poisson Oranı

$\nu = 0.2$

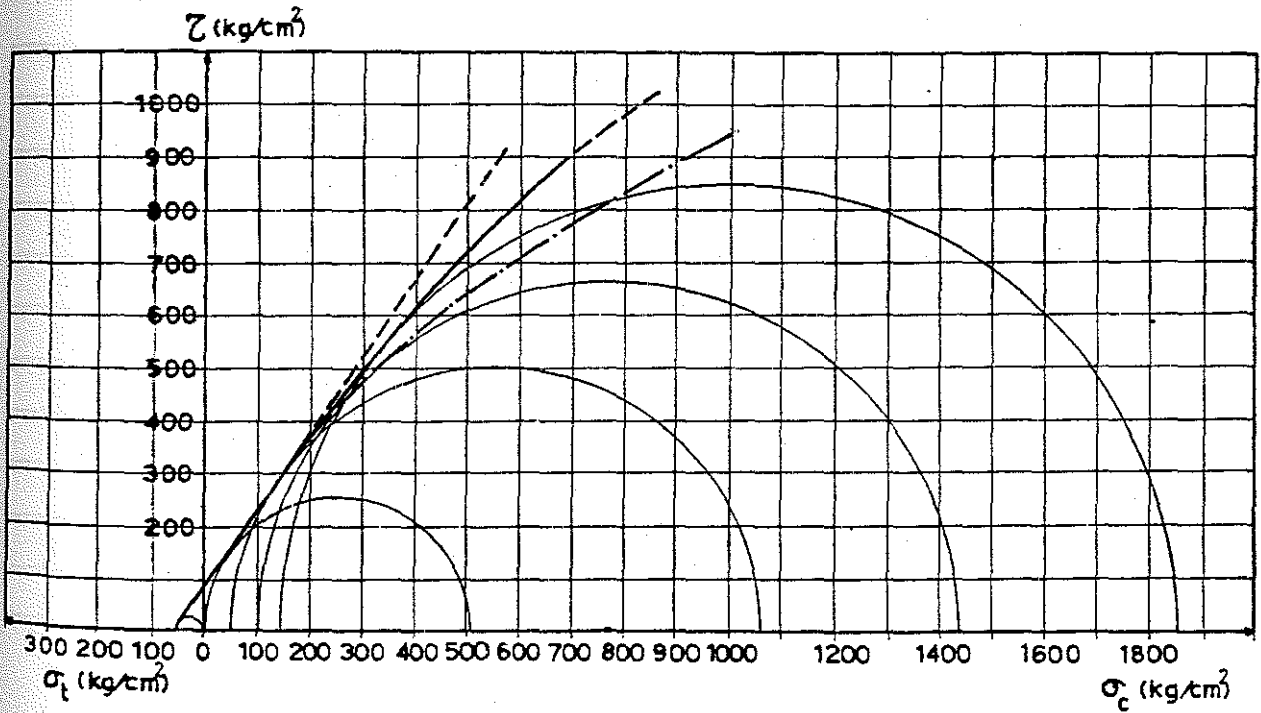
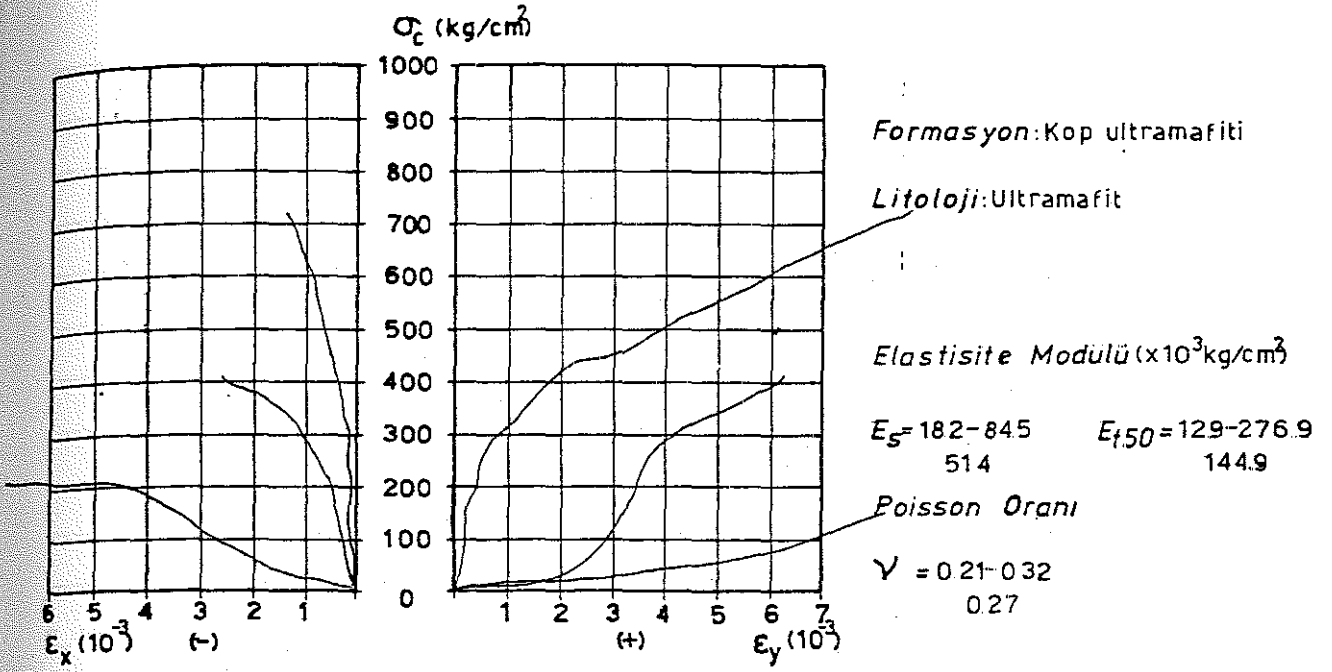


Kohezyon $C = 95 \text{ kg/cm}^2$

İç Sürtünme Açısı $\phi = \max 57 \text{ min } 16$

Şekil-17- Ultramafitin $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı

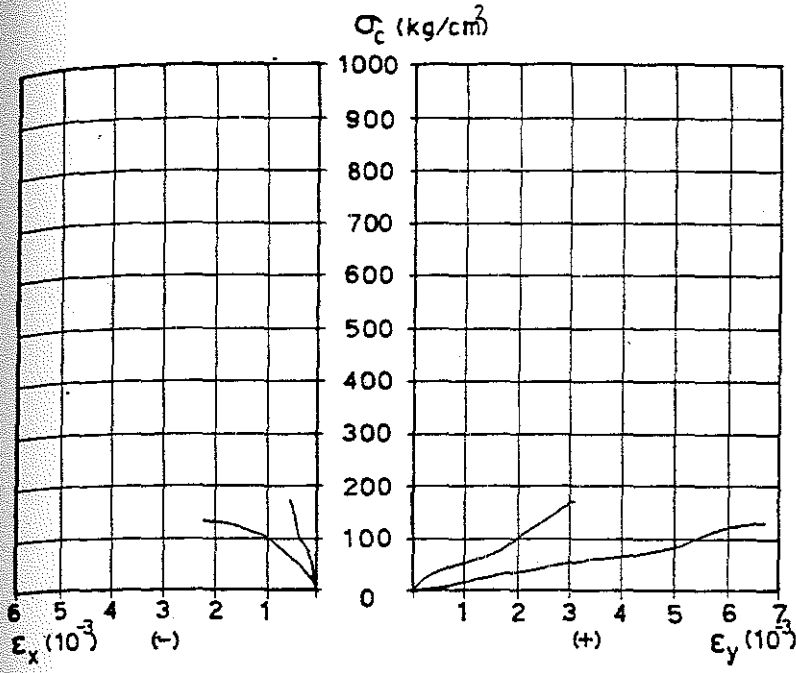
$\tau=f(\sigma)$ diagram and $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ behavior of the ultramafic



İç Sürtünme Açısı $\phi = \max 56$ min 28

Şekil-18- Ultramafitin $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı

$\tau=f(\sigma)$ diagram and $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ behavior of the ultramafic



Formasyon:Kop ultramafiti

Litoloji:Serpantin

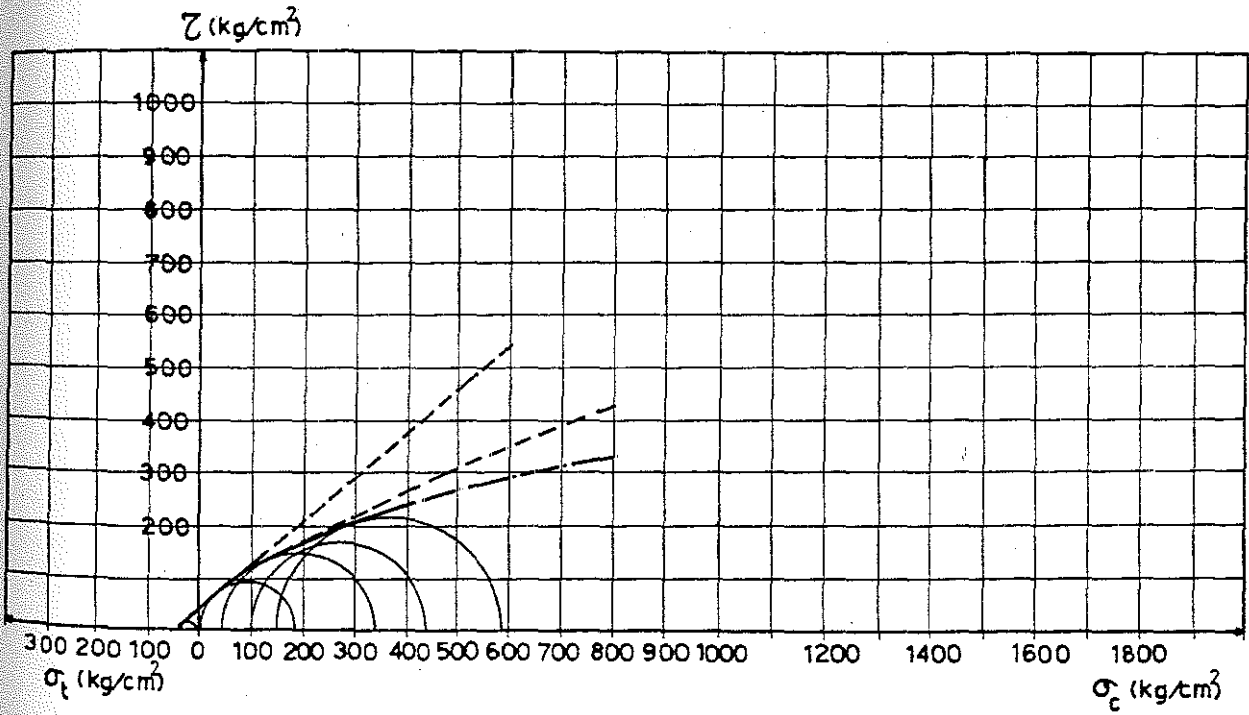
Elastisite Modülü (x10³ kg/cm²)

$E_s = 194-54.8$
371

$E_{t50} = 16.2-500$
331

Poisson Oranı

$\nu = 0.19$



Şekil-19- Serpantin $\tau=f(\sigma)$ diyagramı ve $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ davranışı

$\tau=f(\sigma)$ diagram and $\sigma=f(\epsilon_x, \epsilon_y)$ behavior of the serphantinite

Tablo-14- Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahı kayalarının ortalama mekanik özellikleri

Average mechanical properties of the rocks of Kopdağı 1 and Kopdağı 2 tunnel line

Formasyon		Göllerderesi		Gurri			Kop Ultramafiti	
Litoloji		Çakıltası	Çamurtaşı	Kireçtaşı (Bevaz)	Kireçtaşı (Gri)	Kumtaşı	Ultramafit	Serpantin
Tek eksenli basınç dayanımı σ_c kg/cm ²		460	148	282	554	1025	542	180
Üç eksenli Basınç dayanımı $\sigma_I - \sigma_{III}$ kg/cm ²		50-950 100-1470 150-2250	50-420 100-610 150-750	50-910 100-965 150-1090	50-980 100-1235 150-1475	50-1520 100-1740 150-1810	50-1055 100-1315 150-1580	50-345 100-490 150-575
Çekme dayanımı σ_t kg/cm ²		40	18	20	57	65	45	28
Nokta yük dayanımı I_s kg/cm ²		22.7	4.7	12.5	24.7	45.2	27.7	7.2
Elastisite Modülü Ex10 ³ kg/cm ²	E_s	157.7	23.4	618.7	162.8-69.4	373.1	371.4-51.4	37.1
	E_{t50}	186.4	43.6	862.5	157.6-121.4	346.4	150-144.9	33.1
Poisson Oranı ν -		0.18	-	0.1	0.3-0.21	0.3	0.24	0.19
Kohezyon C kg/cm ²		89	45	47	87	150	95	50
İç Sürtünme Açısı ϕ -°		61-33	44-18	60-17	59-15	62-16	57-16	40-10

Tablo-15-Nokta yük dayanımına göre kaya danımlaması (Stapledon, 1973)

Engineering classigation of intact rock on Basis of point load.

Tanımlama	Nokta yük dayanımı $I_s(50) \text{ kg/cm}^2$
Oldukça düşük	<0.3
Çok düşük	0.3 - 1
Düşük	1 - 3
Orta	3 - 10
Yüksek	10 - 30
Çok yüksek	30 - 100
Oldukça yüksek	>100

Tablo-16-Tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülüne göre kaya tanım-laması (Deere and Miller 1966)

Engineery classification of intact rock Basis of strenght and moduls ratio.

Tanımlama	Tek eksenli basınç dayanımı $\sigma_c \text{ kg/cm}^2$
Çok yüksek	>2000
Yüksek	2000-1000
Orta	1000- 500
Düşük	500- 250
Çok düşük	250- 10
Tanımlama	Modül Oranı E_{t50}/σ_c
Yüksek	>500
Orta	500-200
Düşük	<200

Tablo-17- Tünel güzergahındaki kayaçların mekanik özelliklerine göre genel değerlendirilmesi

General determination mechanical properties of the rocks of Kopdağı 1 and Kopdağı 2 Tunnel line.

Formasyon	Litoloji	Nokta yük dayanımı I_s	Tek eksenli basınç dayanımı σ_c	Modül oranı E_{t50}/σ_c
Göllerderesi	Çakıltaş	Yüksek	Düşük	Orta
	Çamurtaş	Orta	Çok düşük	Orta
Gurri	Kireçtaş (beyaz)	Yüksek	Düşük	Orta
	Kireçtaş (gri)	Yüksek	Orta	Orta
	Kumtaş	Çok yüksek	Yüksek	Orta
Kop Ultramafiti	Ultramafit	Yüksek	Orta	Orta
	Serpantin	Orta	Çok düşük	Düşük

Tablo-18- Devamlılık Sınıflaması

Tablo-18- Devamlılık Sınıflaması (ISRM, 1978)

Presistance classification

1.Çok düşük devamlı	<1 m.
2.Düşük devamlı	1-3 m.
3.Orta devamlı	3-10 m.
4.Yüksek devamlı	10-20 m.
5.Çok yüksek devamlı	>20 m.

Tablo-19- Açıklık Sınıflaması (EGWP, 1977)

Aperture classification

1.Geniş	>200 mm.
2.Orta geniş	60-200 mm.
3.Orta dar	20-60 mm.
4.Dar	6-20 mm.
5.Çok dar	2-6 mm.
6.Aşırı dar	<2 mm.
7.Sıkışık	-

Tablo-20- Pürüzlülük Sınıflaması (EGWP, 1977)

Roughness classification

1.Cilalı
2.Kaygan yüzeyli
3.Düz
4.Kaba
5.Belirgin çıkıntılı
6.Küçük basamaklı
7.Çok kaba

Tablo - 21 - Kayaç malzemesinin bozunma dereceleri (ISRM, 1978)
Weathering grade of rock material

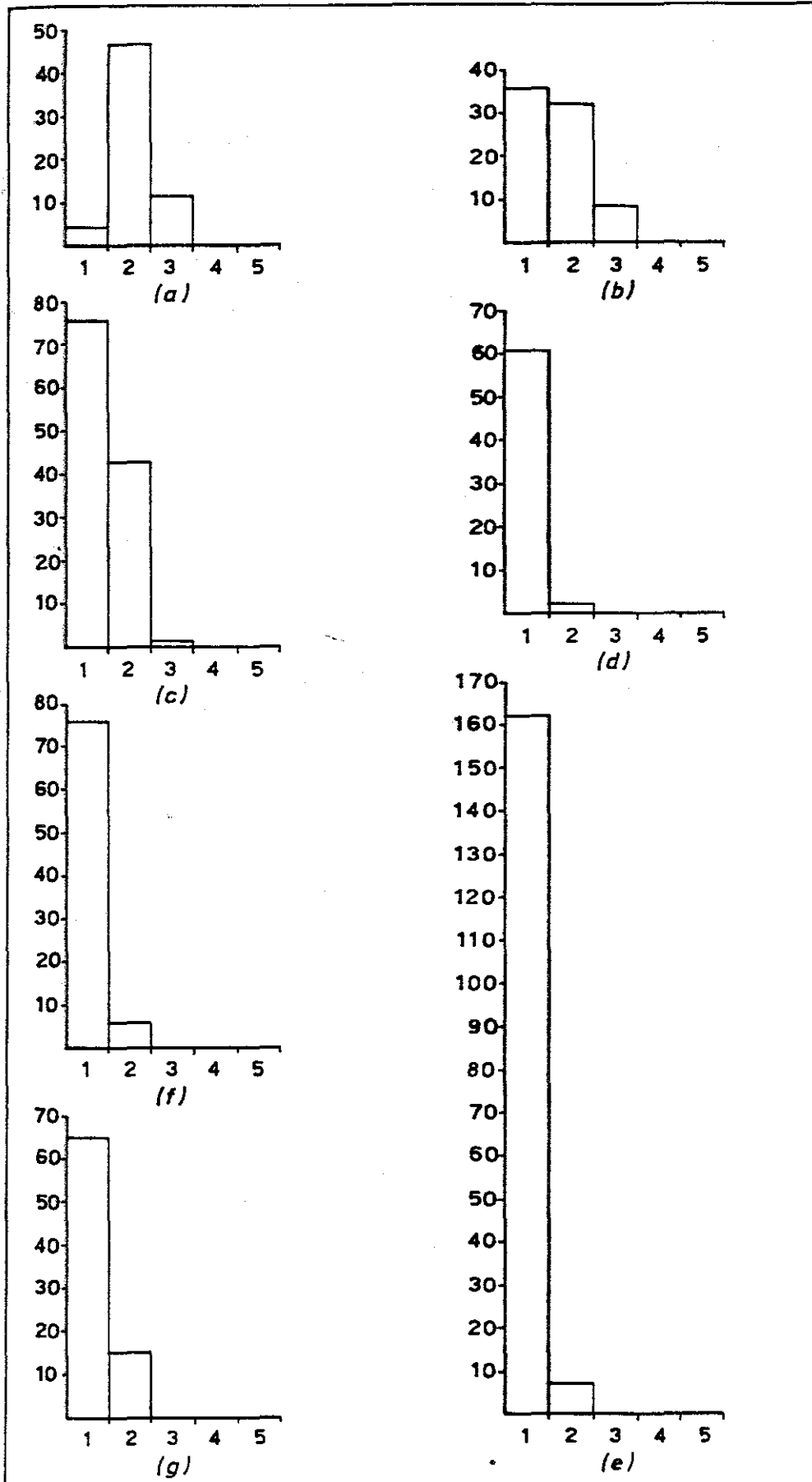
Derece Tanımlama	Saha Tanımlaması	Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa) (1MPa=10.19 kg/cm ²)
S1 Çok yumuşak kil	Yumruk ile birkaç inç kolayca kazılır.	0-0.25
S2 Yumuşak kil	Başparmak ile birkaç inç kolayca kazılır.	0.025-0.05
S3 Tıkız kil	Başparmak az gayreti ile birkaç inç kazılabilir.	0.05-0.10
S4 Pekişmiş kil	Başparmak ile kolayca yarık açılır, fakat büyük bir gayret ile kazılabilir.	0.10-0.25
S5 Çok pekişmiş kil	Parmak tırnağı ile yarık açılır.	0.25-0.50
S6 Sert kil	Başparmak tırnağı ile zor yarık açılır.	0.50
R0 Aşırı derecede zayıf kayaç	Tırnak ile kazınabilir.	0.25-1.0
R1 Zayıf kayaç	Jeoloji çekicinin ucu ile vurulan sıkı darbeler altında ufalanır, çakı ile soyulur.	1.0 -5.0
R2 Zayıf kayaç	Çakı ile zor soyulur, yüzeysel yarıklar jeolog çekici ucunun sıkı darbeleri ile ufalanır ve açılabilir.	5.0 -25
R3 Orta sağlam kayaç	Çakı ile kazılamaz veya soyulamaz yalnız jeolog çekicinin sert darbesi ile kırılabilir.	25-50
R4 Sağlam kayaç	Örneğin kırılabilmesi için jeolog çekicinin birden fazla darbesi gerekir.	50-100
R5 Çok sağlam kayaç	Örneğin kırılması için birçok jeolog çekici darbesi gerekir.	100-250
R6 Aşırı sağlam	Örnek sadece jeolog çekici ile çentilebilir (yongalanabilir).	250

Tablo-22- Kayaç kütlesinin bozunum dereceleri(ISEM,1978)
Weathering grade of rock mass.

Terim	Tanımlama	Derece	Simge
Taze	Kayaç materyalinde gözle görülebilir bir bozunma işareti yok. Önemli süreksizlik yüzlerinde önemsiz renk değişimi sözkonusudur.	I	W ₁
Az bozunmuş	Renk bozukluğu, kayaç materyali ve süreksizlik yüzeylerinin bozunduğunu belirtir. Tüm kayaç materyalinde bozunma nedeniyle renk değişik. Kayaç taze durumda biraz daha zayıftır.	II	W ₂
Orta bozunmuş	Kayaç materyalinin yarıdan daha azı toprağa ayrılmış ve/veya parçalanmış. Taze veya rengi değişmiş kayaç, ya çekirdek yada süreksizlik yapısı olarak bulunur.	III	W ₃
Çok bozunmuş	Kayaç materyalinin yandan çoğu toprağa ayrılmış ve/veya parçalanmış. Taze veya rengi değişmiş kayaç ya çekirdek yada süreksizlik yapısı olarak bulunur.	IV	W ₄
Tamamen bozunmuş	Tüm kayaç materyali ayrışarak ve/veya parçalanarak toprağa dönüşmüş, orijinal kütle yapısı hala büyük ölçüde sağlam	V	W ₅
Artık toprak	Tüm kayaç materyali toprağa dönüşmüş kayaç kütle yapısı ve materyal fabrijı yıkılmış. Hacimde büyük değişiklikler oluşur. Ancak toprak önemli ölçüde taşınmamıştır.	VI	W ₆

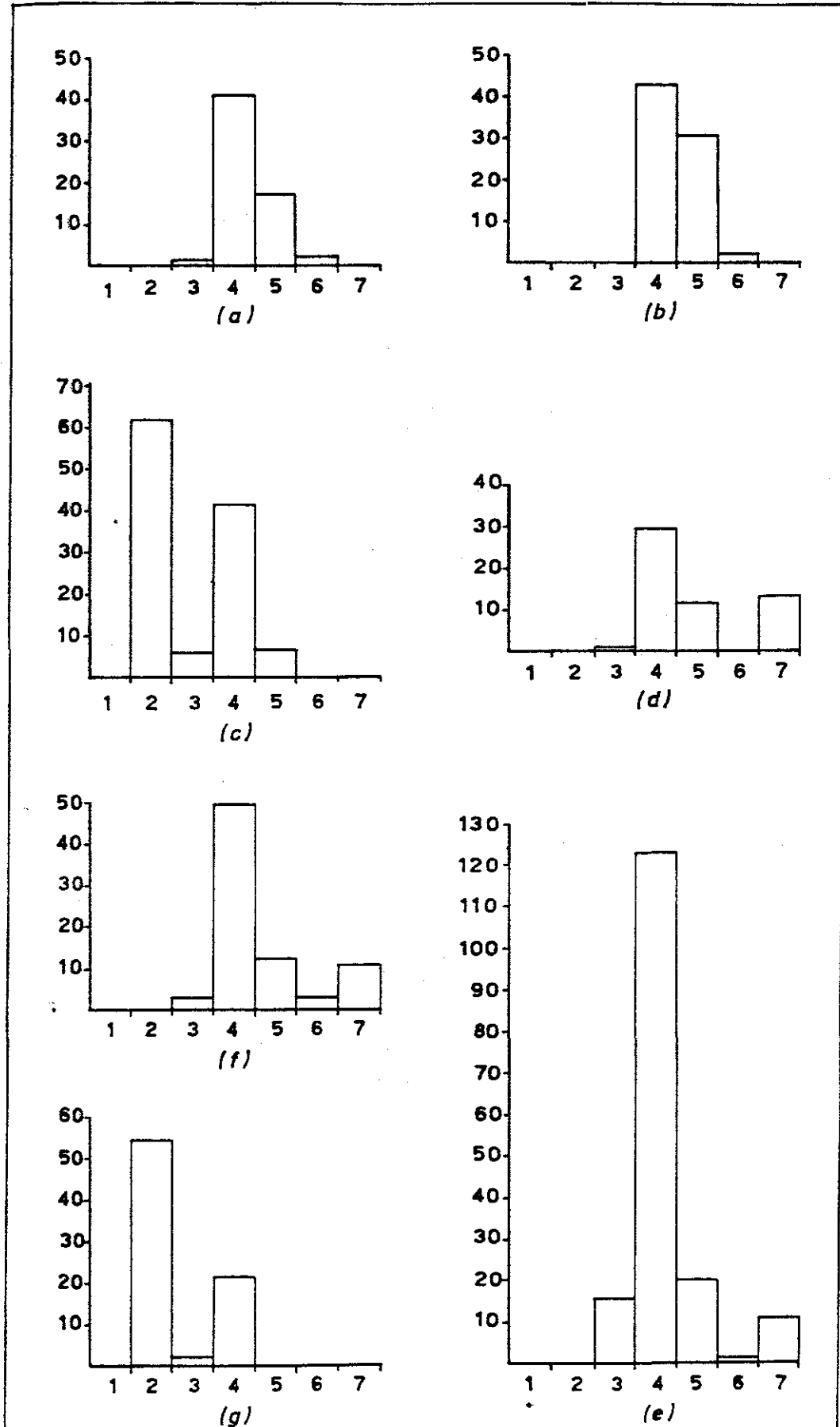
Bu sınıflamalar kullanılarak tünel güzergahındaki 7 lokasyonda yapılan açıklık, devamlılık, pürüzlülük gözlemle-
rinin histogram gzmleri Şekil-20,21,22'de verilmiştir. Sreksizliklerdeki dolgu malzemeleri ise; Kop ultramafitinde bulunan eklemlerde genel olarak dolgu malzemesi gözlenmemiştir, Gurri formasyonunda özellikle kiretaőtalarında kalınlığı 0.2-0.8 cm arasında değişen kalsit dolgu, kumtaőtı-şeyl seviyelerinde kohezyonsuz ve kil dolgu gözlenmiştir, Göllerderesi formasyonundaki akıлтаaőtalarında kalınlığı 0.2-20 cm arasında değişen kalsit, yeryer kil dolgu gözlenmiştir. Kaya kütlesindeki bozunma derecelerinin az-orta bozunmuőt olduğu gözlenmiştir.

Süreksizliklerin belirlenen 5 jeoteknik parametresi toplu halde Tablo-23'de verilmiştir.



Şekil-20- Devamlılıkların histogram çözümleri

Histogram solution of prosistance



Şekil-21- Pürüzlülüklerin histogram çözümleri..

Histogram solution of roughness

Tablo-23- Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahındaki kayaçların süreksizliklerinin jeoteknik özellikleri

Geotechnical properties of discontinues of the rocks of Kopdağı 1 and Kopdağı 2 tunnel line.

	Devamlılık	Pürüzlülük	Açıklık	Dolgu	Kayaç kütlesi bozunma derecesi
Kandiltaş Tepe'deki Göllerderesi formasyonu çakıltaşı (Şekil-20-21-22-a)	Düşük	Kaba	Aşırı dar sıkışık	R1,S3	Az bozunmuş
Kandiltaş Tepe'deki Gurri Formasyonu kireçtaşı (Şekil-20-21-22-b)	Çokdüşük-Düşük	Kaba	Aşırı Dar	R1,S3	Az bozunmuş
Kopdağı 1 tünel güzergahı giriş ağzı üzerindeki Gurri formasyonu kireçtaşı (Şekil-20-21-22-d)	Çokdüşük	Kaba	Sıkışık	R1,S3	Az bozunmuş
Kopdağı 1 tünel güzergahı orta kesimindeki (Şekil-20-21-22-e) Gurri formasyonu	Çokdüşük	Kaba	Çokdar	R1,S3	Az-orta bozunmuş
Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları orta kesimindeki kop ultramafiti (Şekil-20-21-22-g)	Çokdüşük	Kaygan yüzeyli	Aşırı dar	-	Az bozunmuş
Kopdağı 2 tünel güzergahı Gurri Tepe'deki Gurri formasyonu (Şekil-20-21-22-f)	Çokdüşük	Kaba	Aşırı dar	R1,S3	Az-orta bozunmuş
Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları çıkış ağzındaki kop ultramafiti (Şekil-20-21-22-c)	Çokdüşük	Kaygan yüzeyli	Aşırı dar	-	Az-orta bozunmuş

IV.3. KAYA KÜTLESİ TANIMLAMALARI

Kayadaki tünellerin dizaynında üç temel yaklaşımdan yararlanılır. Bunlar, analitik (hesapsal), gözlemsel ve ampirik (deneysel) yaklaşımlardır.

Günümüzde kaya kütlelerinin kompleks doğal yapılarını tanımlamada analitik yaklaşım en az kullanılır. Az kullanılması sebebi kompleks olan kaya şartlarında yeterli araştırmaların nadir yapılmasıdır. Bununla birlikte sonlu elemanlar metodu, sınır elemanlar metodu, bazı matematiksel çözümler veya fotoelastisite gibi yöntemler değişken parametrelerin etkilerinin tayininde ve karşılaştırmalı dizayn şemalarında kullanışlıdır.

Yeni Avusturya Tünelcilik Metodu, inşa sırasındaki tünel davranışının izlenmesi ve ilerleyen projedeki destek seçimi veya değiştirilmesi gibi gözlemler üzerine dayandırılmıştır. Bu da gözlemsel yaklaşımın en ünlü örneğidir. Uygulamada aşırı gevşemeleri önlemede püskürtme beton ve kaya bu-İonu kombinasyonları kullanılır, fakat yayılma ve kendi kendini destekleme karakteristiklerinin geliştirdiği deformasyonlara yeterince izin verilir.

Deneysel yaklaşım, önerilen bir yerdeki beklenen şartları eski projelerdeki deneyimlerle karşılaştırmayı anlatır. Kaya kütlesi sınıflamaları, deneysel yaklaşımın temelini oluşturur. Kayada açılan tünellerde yaygın olarak kullanıldığı gibi kaya temelleri, kaya şevleri ve madencilik problemlerinde de kullanılırlar.

Bu incelemede, deneysel yaklaşımın kaya kütlesi tanımlamaları için daha kullanışlı, daha geçerli bir yöntem olduğu ve bu yaklaşımın temelini oluşturan kaya kütlesi sınıflamalarının önemi üzerinde ayrıntılı olarak durulmuştur.

Kaya kütlesi sınıflamalarına geçmeden önce, sınıflamanın tünel uygulamasında şu amaçlara sahiptir (Bieniawski 1976).

1. Kaya kütlesi kendi içinde benzer davranışlar gösteren gruplara ayrılmalı,
2. Herbir grubun karakteristiklerini anlatmak için bir temel oluşturulmalı,
3. Kayalardaki dizayn ve planlamaların kolaylaştırılması için kantitatif verilere ihtiyaç vardır,
4. Tünel projesi ile ilgili tüm şahısların arasında etkin haberleşme için ortak ana ilkeler bulunmalıdır.

Bu amaçlara sahip bir sınıflama sisteminin özellikleri ise şöyle olmalıdır (Bieniawski 1976).

1. Basit, kolay, hatırlanabilir ve anlaşılır,
2. Her terim açık ve kullanılan terminoloji kabul edilebilir yaygınlıkta,
3. Sadece kaya kütlesinin en önemli özelliklerini kapsar,
4. Arazide uygun, çabuk ve ucuz testlerle tanımlanabilen, ölçülebilen parametreler bulunur.
5. Sınıflama sistemi sınıflama parametrelerinin önemine bağlı düşünülerek bir temele oturtulmalı,
6. Destek dizaynı için kantitatif veriler basit sağlanmalı,
7. Genelde benzer kaya kütlelerinin bir tünel bir yamaç yada bir temel olarak kullanıldığına bakmaksızın aynı temel sınıflamaya sahip olacağına yeterli olmalıdır.

Bu amaç ve özelliklere sahip RSR, RMR ve Q sınıflama sistemlerinin ayrıntılı tanıtımı, bu sınıflama sistemlerinin Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarına uygulamaları izleyen bölümlerde sunulmuştur.

IV.3.1. KAYA KÜTLESİ SINIFLAMALARININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Tünelcilik konusunda yapılan ilk ayrıntılı sınıflama Terzaghi(1946)'ye aittir. Terzaghi Alp'lerdeki karayolu tünellerinde yaptığı gözlemlerde çeşitli zemin tipleri olduğunu ve bu zeminlerin üzerinde yeralan kaya yüklerinin tünel

genişlik ve yüksekliğine bağlı değiştiğini belirtmiştir. Terzaghi bu gözlemleri sonucu basit bir kaya sınıflama sistemi geliştirmiş ve bu sistemi çelik iksalı tünellerde kaya yükünü tahminde kullanmıştır (Tablo-24). Terzaghi'nin bu sınıflaması, tünel kazılarında çelik iksanın çok yaygın kullanıldığı günümüzden yaklaşık 50 yıl öncesi için, önemli bir gelişmedir. Bu sınıflama Amerika'da çelik iksalı tünellerde uzun yıllar başarı ile uygulanmıştır.

Sitini (1950), çoğunluğu metamorfik olmak üzere kayalar kırılgenliklerine ve deformasyon durumlarına göre sınıflamış, basınç durumlarına göre sağlamdan çok baskılı kayalara kadar 9 sınıf ayırmıştır (Tablo-25). Her sınıf için oluşan çatlak boyunu ve karşılaşılabilecek durumları belirtmiştir. Sitini sınıflamasında ağaç tahkimata önem vermiş, ayrıca çok az zamana bağlı deformasyondan bahsetmiştir.

Rabcewicz (1958), kayaları Terzaghi'nin sınıflamasına benzer şekilde sınıflamış ve bu sınıfları kimyasal bakımdan ayrışma durumuna göre 3 gruba ayırmıştır (Tablo-26). Kayaları kendi kendini tutma sürelerini sınıflamasında belirtmiş, her sınıf için geçici ve kalıcı sağlamlaştırma türünü açıklamıştır. Sağlamlaştırma için çelik bağ, ağaç iksa, ankraj ve püskürtme betandan bahseden Rabcewicz bu iksa türlerinin boyutlarından hangi miktarlarda nasıl uygulanacağından bahsetmemiştir.

Lauffer (1958), kayaları çok iyi ile, çok zayıf arasında 7 sınıfa ayırmış ve her sınıfın iksasız kendini tutma süresini vermiştir (Tablo-27). Lauffer tüneller için aktif iksasız açıklık ve iksasız kendi kendini tutma süresi gibi iki önemli kavramın üzerinde durmuştur. İksasız kendi kendini tutma süresi, yeraltı açıklığının kazıdan sonra iksa yapılınca kadar geçen zaman uzunluğudur. Aktif iksasız açıklık ise iki şekilde tanımlanmıştır, eğer tünel genişliği iksadan aynaya kadar olan mesafeden küçükse bu mesafenin kendisi, tersi ise tünelin kendi genişliğidir. Bu iki tanım Şekil-23'de

TABLO-24-TERZAGHI'NİN ÇELİK KEMER İKSALİ TÜNELLER İÇİN KAYA YÜKÜ SINIFLAMASI
Terzaghi's Rock Load Classification for Steel Arch-Supported Tunnels

Kaya Durumu	Kaya Yüğü Hp(feet)	Açıklamalar
1.Sert ve sağlam	-	Kavaklanma ve patlama meydana geliyorsa ince kaplama gerekli
2.Sert tabakala veya klivajlı	0-0.5 B	Kavaklanmaları önlemek için, hafif kaplama Yüğü noktadan noktaya düzensiz olarak değişebilir.
3.Masif,orta çatlaklı	0-0.25 B	
4.Orta bloklu ve düzensiz	0.25B-0.35(B+H _t)	Yanal basınç yok.
5.Çok bloklu ve düzensiz	(0.35-1.10)(B+H _t)	Az yada hiç yanal basınç yok
6.Tamamiyle parçalanmış fakat kimyasal olarak sağlam	1.10 (B+H _t)	Kabul edilebilir yanal basınç sızan suların yumuşatıcı etkisi kaburganın tabanda bittiği yerde sürekli destek gerektirir.
7. Sıkışan kaya (orta derinlikte)	(1.10-2.10)(B+H _t)	Aşırı yan basınç ve taban iksası gereklidir. Kaburgalar tavsiye edilir.
8.Sıkışan kaya (büyük derinlikte)	(2.10-4.50)(B+H _t)	
9.Şişen kaya	(B+H _t) değerine bakmaksızın.80'ye kadar gerekli	Dairesel kaburga gereklidir. Çok özel durumlarda akmaya karşı dayanan iksa kullanılır.

AÇIKLAMA: B=Tünel genişliği (feet), H_t = Tünel yüksekliği (feet),
Hp= Tünel tavanındaki kaya yükü (feet). Tablo tünelin 1.5(B+H_t)'den daha derinde açılması halinde kullanılır. Yeraltı su seviyesinin üstünde açılan tünellerde bu değerler %50 azaltılabilir.

TABLO-25- STİNİ'YE GÖRE BEKLENEN DAĞ BASINÇLARI
Stini's Mountain Pressures .

Basınca Göre Sınıflama	Kayaç Cinsi	Oluşan Çatlak Boyu(m)	Açıklamalar
9 Çok baskılı kayaçlar	Şistler, kırılğan marnlar, ezilmiş kayaçlar, aşırı parçalanmış zonlar	40-60	Ağaç tahkimat, ne kadar sık ve sağlam olursa olsun kırılır.
8 Orta baskılı kayaçlar	Kırılğan, ince tabakalı şistler fillitler yumuşak marnlar, grafitik şistler ıslak kilitaşı	24-40	Çok sık ve sağlam ağaç tahkimatta oldukça önemli hasar görülür
7 Hafif baskılı kayaçlar	Kilitaşı, az deformasyonlu şistler, mikali kuvars şistler, kısa aralıkla bol killi, sert kayaçlar, orta dereceli milonit zonları, killi marnlar, doğal nemli mil, ıslak taban morenleri	15-25	Sık ve sağlam ağaç tahkimat yüksek basınç gerilmeleri altında
6 Çok kırılğan kayaçlar	İnce tabakalı, çok marnları kumtaşları, mikali fillitler bazı sert marnlar, kalkerli killeri, şistler, sahil morenleri	10-15	Kazı sırasında büyük gevsemeler, kavlaklanmalar görülür. Yeryer tavanda göçmeler olur.
5 Kırılğan kayaçlar	killi marnlar, bazı ince tabakalı, kırılğan kumtaşları tektonik oluşumlu dolomitler	4-10	Kazı sırasında oldukça sağlam fakat daha sonra büyük çatılma, kırılma ve kavlaklanmalar,
4 Orta kırılğan kayaçlar	Çok parçalanmış dolomitler (faylanma zonlarındaki)	2-4	Hafif hafif başlayan ve aylar geçtikçe artan kırılma ve kopmalar.
3 Az kırılğan kayaçlar	Fazla deformasyona uğramış iyice parçalanmış kuvars fillitler, kloritli şistler mikali ince kalker tabakalı kalkerli mikali şistler	1-2	Tahkimata etkisi az kazı sırasındaki kopmalar az ve hareketler ancak aylar sonra beklenebilir.
2 Yeterince sağlam kayaçlar	Mikali şistler, ince klivajlı gnayslar	0.5-1	İhmal edilebilecek kavlaklanma, ancak pek uzun süre sonra tahkimatsız yerlerde önemli hasarlar.
1 Sağlam ve çok sağlam kayaçlar		0-0.5	Yalnızca kazı dolayısıyla kavlaklanma ve deformasyon

Tablo-26- Rabcewicz'e göre kaya sınıflaması.

Rabcewicz's rock mass classification.

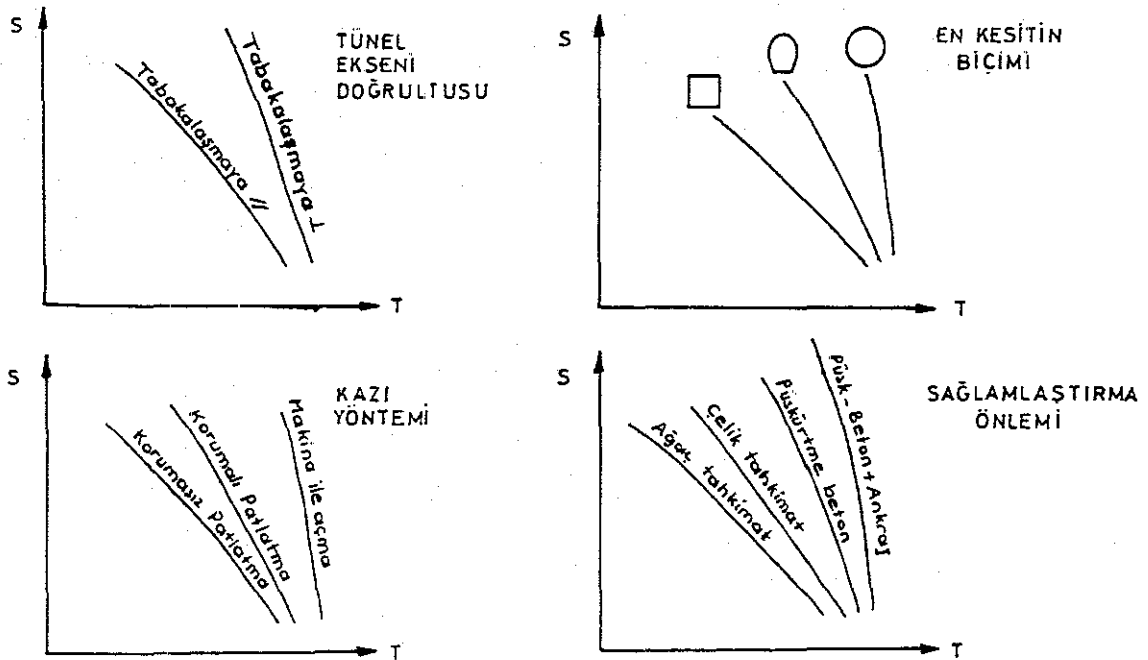
Dağ türü		Kendini tutma süresi T(gün)	Sağlamlaştırma türü		
			Geçici		Kalıcı
			Çelik beton beton içinde Ankraj	Çelik bağ Ağaç iksa	
1 Sağlam som kaya	Kimyasal baskımdan bozulmamış	∞	Hiçbir sağlamlaştırma önlemine gerek yok		
2 Tabakalı, klivajlı sağlam kaya		∞ -24 24-1	Çelik ankraj	Püskürtme beton ankraj beton kaplama	
3 Çok çatlaklı, kırıklı kaya					
4 Tümüyle parçalanmış kaya	Kimyasal baskımdan bozulmuş	0	-	Madenci tahkimatı çelik bağ veya ağaç	Beton
5 Psödo (Yalancı) sağlam kaya		Jeolojik koşullara ve su gelişimine bağlı olarak bir kaç gün birkaç saat	Püskürtme beton, ankraj, çelik hasır madenci tahkimatına yardımcı olmak üzere ek püskürtme beton ve ankrajlar	Madenci tahkimatının gerektirdiği hallerde çelik veya ağaç bağlar	
6 Yüzeye yakın az baskılı kaya					
7 Derindeki çok baskılı kaya					
8 Kabarma-şişme basınçlı kaya					
9 Silt, kil					
10 Kum, çakıl, mozaik kohezyonsuz ayrık kayaç	Kimyasal olarak sağlam	0	-	Madenci tahkimatı çelik bağ veya ağaç	Çelik beton kaplama

TABLO-27-LAUFFER'E GÖRE KAYA SINIFLAMASI VE KENDİNİ TUTMA SÜRESİ

Lauffer's rock mass classification and stand-up time.

Kaya Kalitesi	Kaya sınıflaması	Kendini tutma süresi	Atım Mesafesi(m)
AA	Sağlam	İstenildiği kadar uzun süre	-
B	Zamanla kırılğan	6 ay	4.0
C	Hafif kırılğan zamanla çok kırılğan	1 hafta	3.0
D	Kırılğan	5 saat	1.5
E	Çok kırılğan	20 dakika	0.8
F	Baskılı	2 dakika	0.4
G	Çok baskılı	10 saniye	0.15

görülebilir. Lauffer üzerinde durduğu bu iki kavramın farklı kaya sınıfları ile olan ilişkilerini bir diyagramda vermiştir (Şekil-24). Ayrıca iksasız açıklık ile kendini tutma süresinin tünel eksenı gidişı, kesit biçimi, kazı yöntemi ve iksa önlemi gibi faktörler tarafından da kontrol edildiğini belirtmiştir (Şekil-25).

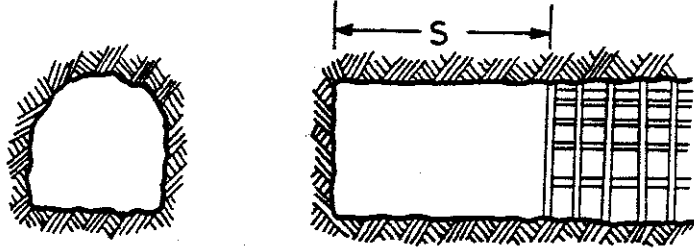


Şekil-25-Tünel açma sırasında kaya stabilitesini etkileyen faktörler.

Factors influencing rock mass stability during tunneling.

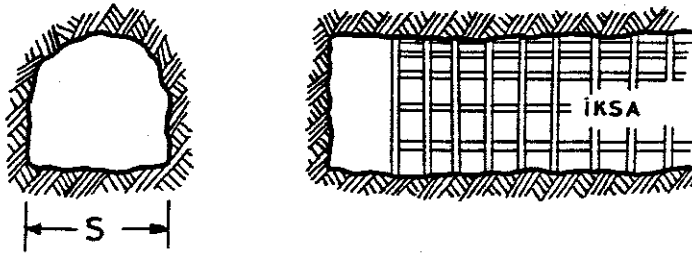
Şekil-23- Lauffer'e göre aktif iksasız açıklık S.

Lauffer's definition of active span S.



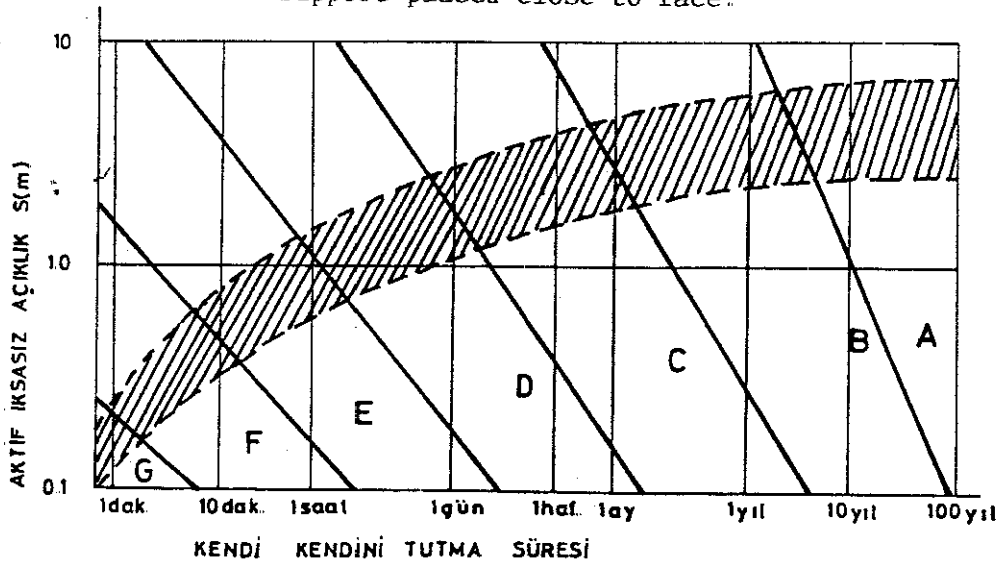
a- Tünel genişliğinin iksadan aynaya kadar olan mesafeden küçük olması durumu.

Support lagging behind face position



b- Tünel genişliğinin iksadan aynaya kadar olan mesafeden büyük olması durumu..

Support placed close to face..



Şekil-24-Farklı kaya sınıflarının aktif iksasız açıklık ve kendi kendini tutma süresi arasındaki ilişkisi.(Lauffer,1958)

Relationship between active span and stand-up time for different classes of rock mass..

Zanoskar (1964), Lauffer'in sınıflamasındaki tüm kaya sınıflarında ne tipte bir iksa önlemi alınması gerektiğini kaya kalitesi ile iksa türü arasındaki ilişkiyi göstermiştir. (Tablo-28).

Deere(1964), elmas uçlu sondajlardan elde edilen karotların uzunluklarına göre kaya kalitesini kantitatif olarak değerlendiren bir sınıflama sistemi geliştirmiştir. Bu kaya kalitesi tanımlaması (RQD) tünellerde iksa seçimi için yapılan sınıflamalarda çok geniş bir şekilde kullanılır. Kaya kalitesi tanımlaması (RQD) 10 cm ve daha uzun olan karotların ilerleme boyuna oranının % cinsinden ifadesidir.

$$RQD (\%) = \frac{\text{Karot parçasının boyu} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Sondaj ilerleme boyu}} \times 100$$

RQD tanımlamalarında karot çapının en az 50 mm, karotiyerin çift tüplü, elmas uçlu olması ve RQD tanımlamalarının her 2 m'de bir yapılması gereklidir. (Uluslararası Kaya Mekanik Derneği (ISRM) RQD tanımlamalarının T tipi elmas uçla yapılan sondajlardan elde edilen karotun en az NX çaplı (2.16 inç=54mm) olmasını önermiştir.)

Deere'in geliştirdiği RQD değeri ile kaya kalitesi arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir;

<u>RQD (%)</u>	<u>Kaya kalitesi</u>
<25	Çok fena
25-50	fena
50-75	orta
75-90	iyi
90-100	Pekiyi

Grob (1967), bir yeraltı kazısı sırasında metredeki çatlak sayısına göre kayaçları sağlam-baskılı arasında 4 sınıfa ayırmıştır. Ayırdığı her sınıfta kazı sırasında meydana gelen deformasyon ve yükler ile gerekli iksa önlemlerini açıklamışlardır (Tablo-29).

Tablo-28- Zanoskar'a göre destek önlemleri
Zanoskar's suppor determination.

Kaya kalitesi (Lauffer'e göre)	Eski iksa Türü	Püskürtme beton	Kaya Ankrajı	Açıklamalar
A	-	Gerekli değil	Gerekli değil	-
B	Kavlanmaları tutan önlem- ler.	Kalot kısmında 2-3cm kalınlığında	Gerektiği takdirde	-
C	Ön süren veya sürme kaya	Kalotta 3-5 cm. kalınlığında çelik hasır gerekli	Ankraj aralık- 1-1.5 cm ank- rajlar hasırı taşımaktadır- lar.	Ankraj etkisi çok az. Çünkü hasırı taşımak için kaya çivi- leri kullanıl- maktadır.
D	Hafif tahkimat	Genellikle kalotta 5-7cm kalınlıkta çelik hasır zorun- lu	Kalotta 0.7- 1 m. aralık- larla	C'deki gibi
E	Ağır tahkimat	7-15 cm tavanda ve genişliğinde yanlarda çelik hasır	Ankraj başla- rının tutması halinde kalı- cı sağlamla- tırma önlemi olarak ank- rajlar, tavanı alttan destek- leme	Püskürtme beton ile tavanda ta- şıyıcı bir kubbe oluşunu çelik beton direkler kaplamanın içinde bırakılır
F	Arın tahkimatı yapılmaksızın ön süren veya sürme kama	15-20cm veya daha kalın püskürtme beton, çelik bağ- ve hasırlar. Arada gerektiğin- de püskürtme beton	Mümkün değil	Kalıplar dahil olmak üzere tüm bağlar ve iksa beton içinde bırakılır.
G	Domuz damlı	Mümkün değil	Mümkün değil	Bir önceki gibi madenci tahki- matı yerine kalkan kullanıl- ması uygun olur

Tablo-29- Grob'a göre 4 kaya sınıfının tünel açımı esnasındaki belli başlı davranışları
Grob's dominant behavior of 4 rock mass during tunneling.

	Saglam	Hafif Kırılğan	Kırılğan	Baskılı
Tahkimat	Gereksiz ençok metreye 5 civata	Tel örgü veya püskürtme beton gerekli. 5 civatadan fazla. Arının 20 m. gerisinde çelik bağlı tahkimat gerekli olabilir.	Her atımdan sonra çelik tahkimat, bağların arasında hazır beton levhalar veya gunit. Püskürtme beton	Ağır çepoçevre kapalı tahkimat (hemen atımdan sonra)
Kazı sırasında dikkati çeken hususlar	Pek az sayıda uyumsuz çatlaklar ayrılmaya temayül yok.	Uyumsuz çatlaklar ayrılmaya temayül yok.	Kopmalar, ayrılmalar, nemlenme ve kayganlaşma, kohezyon azalır, tavanda çekme çatlakları.	Çatlaklar boyunca kayma ve kopmaları; devamlarda hızlı ve büyük deformasyonlar
Çatlak sayısı (m.basına)	1-5	1-10	50-100	-
Yapı çevresindeki gerilmeler	Çevredeki teğetsel gerilmeler kayacın ve taşın çekme ve basınç mukavemetinden daha küçük.	Teğetsel gerilmeler kayacın basınç mukavemetinden ve taşın çekme ve basınç mukavemetinden daha küçük, fakat yaklaşık olarak kayacın çekme mukavemetine eşit.	Teğetsel gerilmeler kayacın çekme ve basınç mukavemetinden ve taşın çekme mukavemetinden büyük fakat taşın basınç mukavemetinden.	Teğetsel gerilmeler hem taşın hemde kayacın çekme ve basınç mukavemetlerinden büyük.
Kazı profilindeki deformasyon	Birkaç mm'lik elasto-plastik deformasyon atımdan hemen sonra sükunet bulur	Atımdan sonra bütünüyle sönen birkaç mm ile cm arasında elasto-plastik veya plastik deformasyon	Birkaç cm'yi aşmayan plastik deformasyon Atımdan kısa bir süre sonra hareketlerde durma görülür.	Tahkimatin hızına ve sağlamlığına bağlı olarak uzun süre devam eden plastik deformasyonlar
Tünel duvarına binen yük	Yok	Tahkimatin mükemmel yapıldığı hallerde yok	Başarılı tahkimata yok	Örtü tabakasının kalınlığına, tahkimatin cins ve sağlamlığı ile kayaçların özelliğine bağlı olarak değişen yük.

Cording, Hendron ve Deere(1972), Terzaghi'nin kaya yükü faktörünü geliştirmiş ve çelik iksalı tüneller için RQD ile arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır (Şekil-26).

Merit (1972), RQD'nin önemli bir tanım olduğunu söylemiş, eklemleri ince kil dolgu ve ayrıışmış malzeme kapsayan kayalarda RQD tanımlamasının sınırlı kaldığına işaret etmiştir. Merit RQD'nin kullanım aralığını genişleterek, tünel genişliğine bağlı destek önlemlerini bir grafikte göstermiştir (Şekil-27).

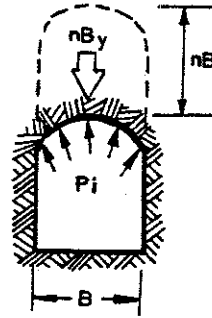
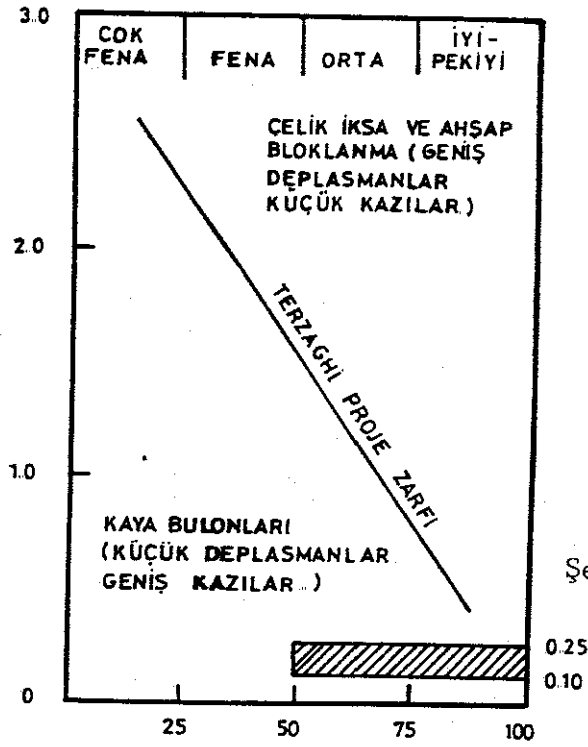
Brekke ve Howard (1972), çatlakları kil ve ayrıışmış malzeme kapsayan kayalarda RQD tanımlamasının yetersiz kaldığını ve bu dolgu malzemesinin kaya kütlesi tanımlamasında pek önemli olduğunu belirtmişler, dolgu malzemesini sınıflandırarak bunların tünel davranışına etkilerini açıklamaya çalışmışlardır (Tablo-30).

Wickham, Tiedemann ve Skinner (1972), RSR kavramını ortayaatarak, kantitatif ilk ayrıntılı sınıflama sistemini sunmuş, Bieniawski (1973, 1974, 1976) RMR yada jeomekanik sınıflama sistemiyle, Barton, Lien ve Lunde (1974), ise Q sınıflama sistemiyle tünellerde kaya kütlesi ile destek önlemlerini saptamaya çalışmışlardır. Bu incelemede RSR, RMR ve Q sınıflama sistemleri esas alındığından ayrı bir bölüm halinde anlatılmıştır.

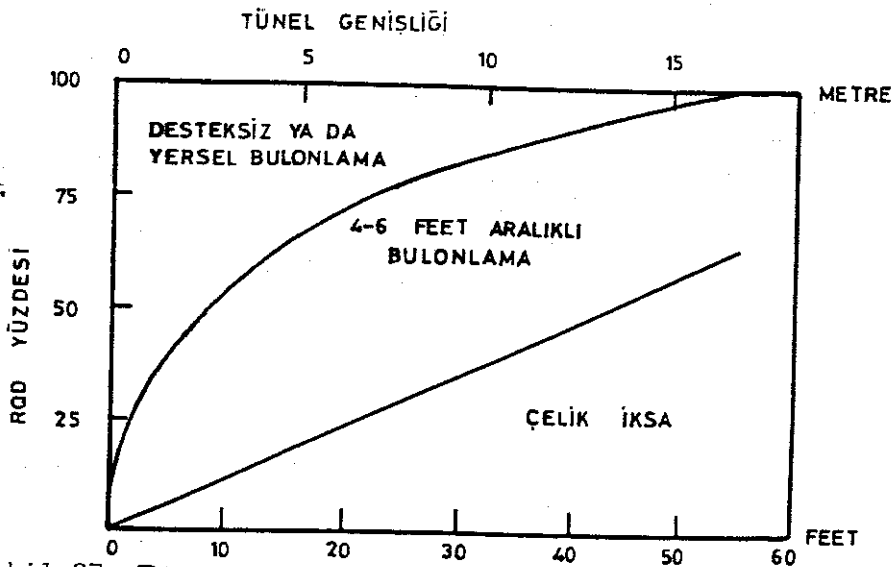
IV.3.2.KOPDAĞI 1 VE KOPDAĞI 2 TÜNEL GÜZERGAHLARI İÇİN YAPILAN KAYA KÜTLESİ SINIFLAMALARININ AYRINTILI TANITIMI

IV. 3.2.1. RSR

RSR kavramı Wickham, Tiedemann ve Skinner (1974) tarafından ortaya konmuş tünellerde kayanın yapısal değerini



Şekil-26- Terzaghi'ningeliştirilmiş kaya yükü faktörü ile RQD arasındaki yaklaşık ilişki. (Cording, Hendron ve Deere 1972).
Approximate relationship between Terzaghi's Rock load factor(modified)and RQD.



Şekil-27- Tünel genişliği ve RQD'ye bağlı destek seçimi (Merit, 1972).
Proposed use of RQD for choice of rock support system.

Tablo-30- Brekke ve Howard'a göre Süreksizlik dolgusunun tünel davranışı üzerindeki etkisi

Influence of discontinuity infilling upon the behaviour of Tunnels.

Hakim Dolgu Malzemesi	Dolgu Malzemesi'nin Muhtemel Davranışı	
	Kazı sonrası desteklemeden önce yüzeyde	Destekleme'den sonra
Şişen Kil	Serbest şişme ve çamurlaşma koruyucu iksa üzerine şişme basıncı ve baskı	Destek veya kaplamaya karşı şişme basıncı ve baskı, kaplama yetersiz ise şişme basıncı ile yıkılma yada yıkanma olur.
Aktif olmayan kil	Baskının neden olduğu çamurlaşma ve tünel duvarlarında ufalanma. Ağır baskı altında özel durumlar	İyi korunmamış yerlerde destek yada kaplamaya baskı, çamurlaşma yada duvarlarda ufalanma nedeniyle çevresel değişim.
Klorit, Talk, Grafit, Serpantin*	Kaya düşmesi	Ortam(taneler) nemli ise, düşük gerilmeler aşırı yük gelişimine neden olabilir.
Parçalanmış kaya yada kum gibi dolgu**	Kaya düşmesi yada zemin akması kendi kendini tutma süresi çok kısa olabilir.	Eğer düşme ve akmalar iyi desteklenmemişse serbestse kaplamada yük kayıpları olabilir.
Gözenekli veya taneli kalsit, jips	Uygun durumlar	Çözülmeler, kaya kütlelerinin duraysızlığına yol açabilir.

* Bu grup bloklu dolgu malzemesini içerir.

** Bu gruptaki dolgu malzemeleri tipik kohezyonsuz davranış gösterirler.

(Rock Structure Rating-RSR) belirleyen bir destek tahmin sistemidir. Tüneller için yapılan daha önceki tüm kaya kütleli sınıflama sistemleri jeolojik gözlemler yada sondaj karotları esas alınarak yapılmakta idi, RSR sisteminde ise kaya kütlelerinde yapılan jeolojik gözlemlerle kaya kütlelerine çeşitli puanlar verilmekte ve bunların tümünün birleşmesi RSR değerini oluşturmaktadır. Bulunan RSR değerine göre bir tablo yardımıyla uygun destek önlemide seçilmektedir. Böylece RSR sisteminin tünelticilikte kullanılan kaya sınıflama sistemlerinden kantitatif olan ilk ayrıntılı kaya sınıflama sistemi olduğu söylenebilir.

RSR sistemi kendinden önceki sınıflama sistemlerinden farklı üç temel özelliği vardır. İlki; Terzaghi (1946)'nin sınıflama sisteminden sonra ilk ayrıntılı sınıflama sistemi olmasıdır, ikincisi; sadece karot kalitesine bağlı RQD indeksinden farklı çeşitli sınıflama parametreleri içermesidir, üçüncüsü; Lauffer (1958)'in sınıflamasında, kaya sınıfına basit bir şekilde karar verilir ve kendi kendini tutma süresi, aktif iksasız açıklık gibi çıktı terimleri verilir, RSR'de ise fark girdi ve çıktı terimleri sınıflamada bir bütün olarak değerlendirilir.

Wickham, Tiedemann ve Skinner kaya kütlelerinin destek ihtiyacının tayininde iki parametrenin etken olduğunu ve yapılacak bir sınıflamada bu parametrelerin gözönüne alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Bunlar jeolojik parametreler ve yapı parametreleridir. Jeolojik parametreler: a) Kaya tipi b) Ekleme örneği (eklemlerin ortalama aralığı), c) Eklemlerin yönelimi (doğrultu ve eğim), d) Süreksizliklerin tipi, e) Büyük faylar, makaslamalar ve kırılmalar, f) Kaya malzeme özellikleri, g) Ayrışma ve bozuşma. Yapı parametreleri: a) Tünel boyutu, b) Tünelin kazı yönü, c) Kazı metodu. Bu faktörlerin tümü birbirleriyle ilişkilidir, bir kısmı arazide doğru bir şekilde tanımlanabildiği gibi bir kısmı ancak

genel yaklaşımlar, yardımıyla tanımlanabilir.

Wickham, Tiedemann ve Skinner tüm bu faktörleri göz-önünde bulundurarak çeşitli durumlar için üç temel parametre oluşturmuşlardır. Bunlardan ilk, RSR A parametresi, kayanın genel jeolojik tanımlamasını (Tablo-31), ikincisi, RSR B parametresi şureksizliklerin tünel açma yönüne etkilerini (Tablo-32) ve üçüncüsü RSR C parametresi yeraltısuyu akımı etkisini içerir (Tablo-33). Bu parametreleri maddeler halinde şöyle gösterebiliriz;

RSR.A

- 1- Kayanın kökeni (magmatik, metamorfit, sedimanter),
- 2- Kayanın sertliği (sert, orta, yumuşak, ayrışmış),
- 3- Jeolojik yapı (masif, az faylı yada kıvrımlı, orta derecede faylı yada kıvrımlı, çok faylı yada kıvrımlı).

RSR.B

- 1- Eklem aralığı,
- 2- Eklem yönlenimi (doğrultu ve eğim),
- 3- Tünel açma yönü.

RSR.C

- 1- Birleştirilmiş A ve B'ye göre tüm kaya kütlesi niteliği,
- 2- Eklem durumu (iyi, orta, zayıf),
- 3- Su akım miktarı (bir ayak boyundaki tünelde, dakikada galon olarak).

Bu saydığımız parametreler içinde RQD tanımlaması yeralmaz. Wickham, Tiedemann ve Skinner RQD'nin kaya tipi ile her feet'deki kırık sayısı ile ilgili olduklarını söylemişler ve RQD tanımlamasını kaya tipi içerisinde kullanmışlardır (Tablo-34).

Tablo-31- RSR A parametresi.

RSR, parameter A.

Max değer 30

Ana Kaya Tipi					Jeolojik Yapı			
Kayanın Kökeni	Kayanın Sertliği							
	Sert	Orta	Yumuşak	Ayrışmış				
Magmatik	1	2	3	4	Masif	Az faylı veya kıvrımlı	Orta derecede faylı veya kıvrımlı	Çok faylı veya kıvrımlı
Metamorfik	1	2	3	4				
Sedimanter	2	3	4	4				
Tip 1					30	22	15	9
Tip 2					27	20	13	8
Tip 3					24	18	12	7
Tip 4					19	15	10	6

Tablo-32- RSR B Parametresi.

RSR, Parameter B.

Max değer 45

	Doğrultu Eksene Dik					Doğrultu,Eksene Paralel		
	Açma Yönü					Açma Yönü		
	Her ikisi	Eğim Yönünde		Eğimin tersi yönünde		Her ikisi		
	Önemli eklemlerin eğimi					Önemli eklemlerin eğimi		
	0°-20°	20°-50°	Düsey 50°-90°	20°-50°	Düsey 50°-90°	0°-20°	20°-50°	Düsey 50°-90°
1-Çok sık eklemlî	9	11	13	10	12	9	9	7
2-Sık eklemlî	13	16	19	15	17	14	14	11
3-Orta derece eklemlî	23	24	28	19	22	23	23	19
4-Orta-Bloklî	30	32	36	25	28	30	28	24
5-Bloklî-Masif	36	38	40	33	35	36	34	28
6-Masif	40	43	45	37	40	40	38	34

Tablo-33-RSR C parametresi.

RSR, parameter C.

Max değer 25

Beklenen Su Akımı Dakikada galon (1000')	A ve B Parametrelerinin Toplamı					
	13-44			45-75		
	Eklem Durumu*					
	İyi	Orta	Fena	İyi	Orta	Fena
Hiç yok	22	18	12	25	22	18
Az (< 200 dakikada galon)	19	15	9	23	19	14
Orta (200-1000 dakikada galon)	15	11	7	21	16	12
Çok (> 1000 dakikada galon)	10	8	6	18	14	10

* Eklem Durumu; İyi=Sıkı yada çimentolu, Orta=Az ayrıışmış, Fena=Çok ayrıışmış yada açık

Tablo-34-Karot analizi.

Core analysis

Kaya Tipi	R Q D				
	0-25 %	25-50 %	50-75 %	75-90 %	90-100 %
	Kırık sayısı (her feet'teki kırık)				
	>4.5	3-4.5	2-3	1-2	≤1
	Çok fena	fena	orta	iyi	Pekiyi
Magmatik	6	16	24	30	35
Sedimanter	4	10	16	24	35
Metamorfik	5	12	18	27	35

RSR A, B, C parametrelerinin toplamı bize RSR değerini verir. Bu değer kaya kalitesi ile destek ihtiyacını yansıtır. Bulunan RSR değeri ile kaya yükü arasında bir ilişki olduğunu belirten Wickham, Tiedemann ve Skinner bu ilişkiyi aşağıdaki eşitlikle vermişlerdir;

$$RSR = \left[\frac{6000}{\left(\frac{302 W_r}{D} \right) + 70} \right] - 8 \quad W_r = \frac{D}{302} \left(\frac{6000}{RSR+8} - 70 \right)$$

W_r = Kaya yükü (Kips per sq.ft.)(k/ft²)

D = Tünel çapı (ft)

Bu iki eşitlik kullanılarak kaya yükü ve tünel çaplarının çeşitli durumlarına karşılık gelen RSR değerleri Tablo-35 de verilmiştir.

Wickham, Tiedemann ve Skinner kaya bulonu ve püskürtme beton için aşağıdaki eşitlikleri vermiştir;

24.000 libre yük taşıyan, 1, 1 1/4, 5/8, 3/4 inç çaplı bulonları için,

Tablo-3.5- Tünel çapına bağlı RSR değeri ile kaya yükünün karşılaştırması.

Corelation of RSR to rock load and Dunnel Diameter.

Tünel çapı (D) (feet)	Kaya yükü (W_r) (k/ft ²)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
	RSR Değeri											
10'	62.5	49.9	40.2	32.7	21.6	13.8						
12'	65.0	53.7	44.7	37.5	26.6	18.7						
14'	66.9	56.6	48.3	41.4	30.8	22.9	16.8					
16'	68.3	59.0	51.2	44.7	34.4	26.6	20.4	15.5				
18'	69.5	61.0	53.7	47.6	37.6	29.8	23.8	18.8				
20' 70'	470.4	62.5	55.7	49.9	40.2	32.7	26.6	21.6	17.4			
22'	71.3	63.9	57.5	51.9	42.7	35.3	29.3	24.3	20.1	16.4		
24'	72.0	65.0	59.0	53.7	44.7	37.5	31.5	26.6	22.3	18.7		
26'	72.6	66.1	60.3	55.3	46.7	39.6	33.8	28.8	24.6	20.9	17.7	
28'	73.0	66.9	61.5	56.6	48.3	41.4	35.7	30.8	26.6	22.9	19.7	16.8
30'	73.4	67.7	62.4	57.8	49.8	43.1	37.4	32.6	28.4	24.7	21.5	18.6

$$1 \text{ inç çaplı kaya bulonu için} \quad s = \sqrt{\frac{24}{W_r}}$$

$$1 \frac{1}{4} \text{ inç çaplı kaya bulonu için} \quad s = \sqrt{\frac{37.5}{W_r}}$$

$$5/8 \text{ inç çaplı kaya bulonu için} \quad s = \sqrt{\frac{9.2}{W_r}}$$

$$3/4 \text{ inç çaplı kaya bulonu için} \quad s = \sqrt{\frac{13.5}{W_r}}$$

Püskürtme beton için,

$$t = 1" + \frac{W_r}{1.25}$$

$$t = \frac{D}{150} (65 - RSR)$$

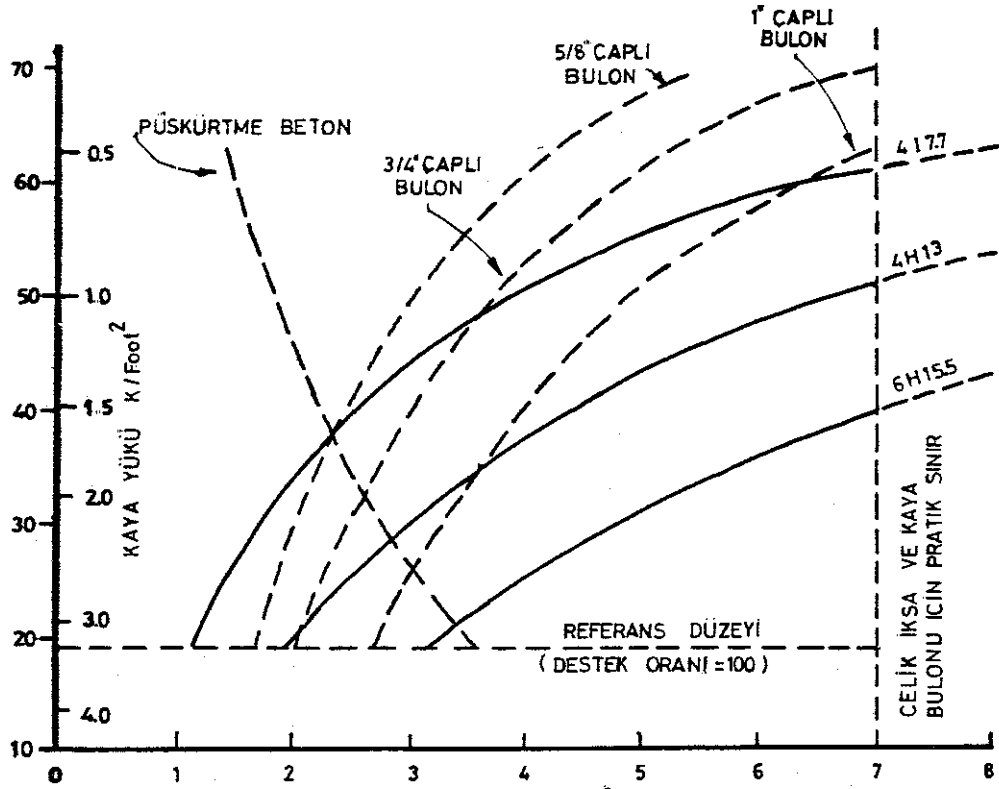
s = Bulon aralığı (feet)

t = Püskürtme beton kalınlığı (inç)

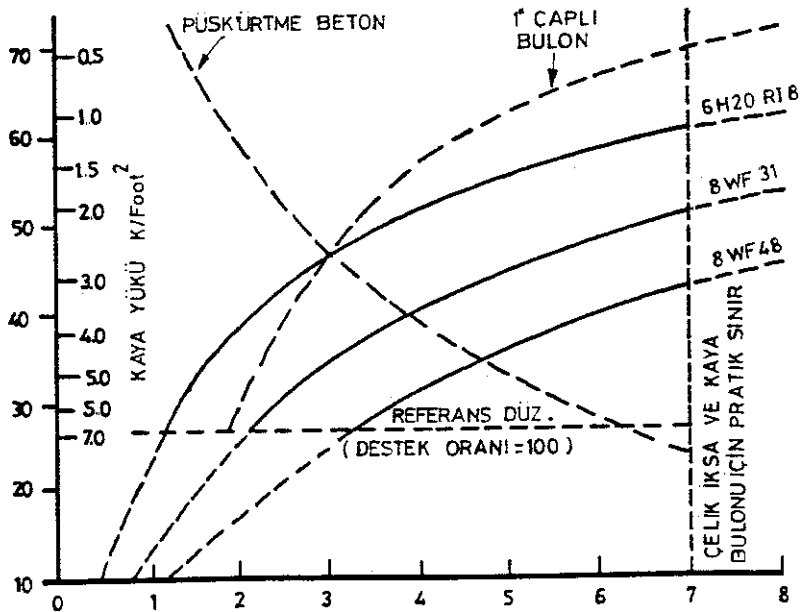
Verilen tüm bu değerler (RSR, W_r , s, t) Wickham, Tiedemann ve Skinner tarafından aynı bir şekil üzerinde birleştirilmiş ve 10,20 ve 24 ft. çaplı tüneller için destek tabloları hazırlanmıştır (Şekil-28,29,30). Destek tablolarını incelediğimizde RSR değeri 19'dan küçük olan kayalarda kuvvetli iksa 80 ve daha fazla olanlarda ise iksa gerekmediği söylenebilir. Destek tabloları delme patlatma ile tünel açıldığı zamanki destek durumlarını yansıtır. Ancak makine ile tünel açma delme ve patlatma ile tünel açmaktan daha az destek gerektirdiğinden, makine ile tünel açıldığı zaman kullanılmak için bir indirgeme faktörü gereklidir. Bu faktör Wickham, Tiedemann ve Skinner tarafından tünel çapına bağlı RSR düzeltme faktörü olarak Şekil-31 de verilmiştir.

IV.3.2.2. RMR

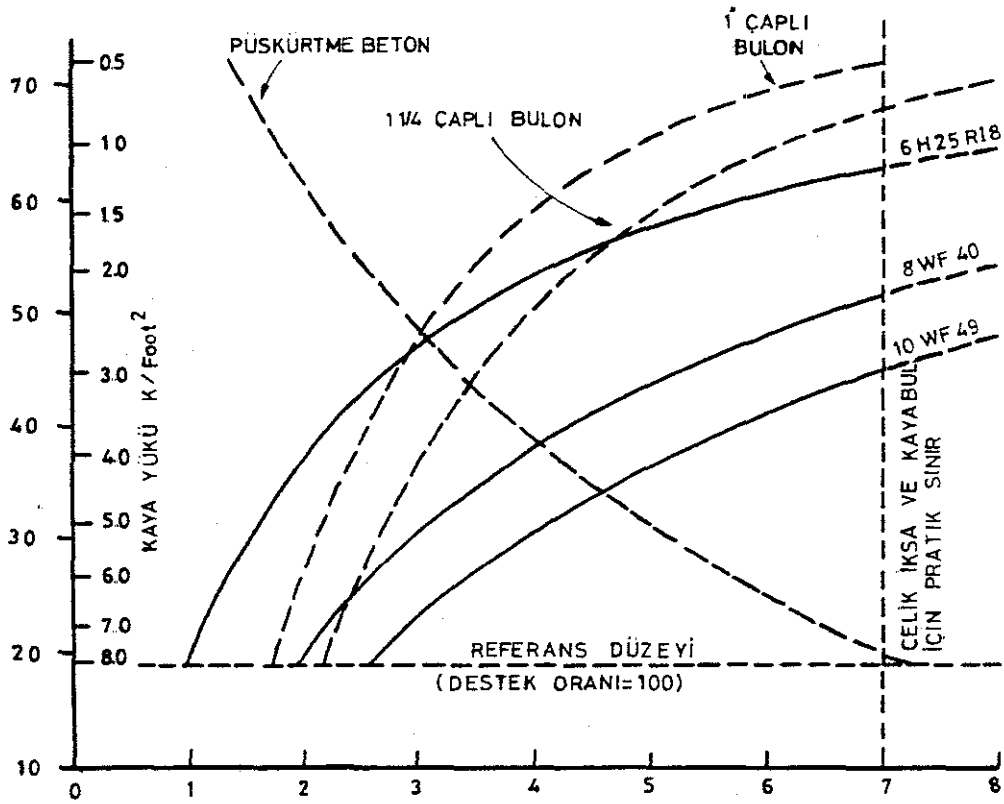
RMR Bieniawski (1973) tarafından ortaya konmuş bir sınıflama sistemidir. Jeomekanik sınıflama olarak da bilinen bu sınıflama sistemi, Kaya Kütlesi Değeri (Rock Mass Rating= RMR)'nin bulunması ve uygun destek önlemlerin seçilmesini belirler.



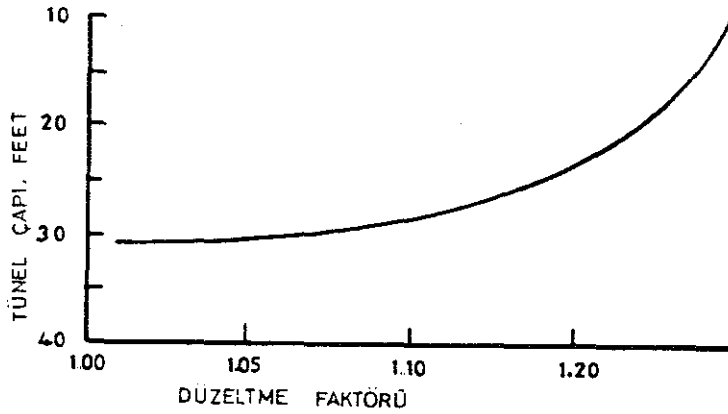
İksa aralığı; FT, Bulon aralığı; FT², Püskürtme beton kalınlığı; İNÇ.
Şekil-28-10 feet çaplı tünel için destek tablosu (Wickham vd.1974).
Support chart for 10-ft-diam tunnel.



İksa aralığı; FT, Bulon aralığı; FT², Püskürtme beton kalınlığı; İNÇ
Şekil-29- 20 feet çaplı tünel için destek tablosu (Wickham vd.1974).
Support chart for 20-ft-diam tunnel.



İksa aralığı; FT, Bulon aralığı; FT², Püskürtme beton kalınlığı; İNÇ.
Şekil-30-24 feet çaplı tünel için destek tablosu (Wickham vd.1974).
Support chart for 24-ft-diam tunnel.



Şekil-31- Makina ile tünel açmada RSR düzeltme faktörü (Wickham vd.1974)
RSR adjustment factor for machine tunneling.

Bieniawski'nin ilk önerdiği sınıflamada şu parametreler yer alır;

- a-Kaya kalitesi tanımlaması (RQD),
- b-Ayrışma durumu,
- c-Kayanın tek eksenli basınç direnci,
- d-Eklem sıklığı ve tabakalanma,
- e-Doğrultu ve eğim düzeltmesi,
- f-Eklemlerin ayrılması,
- g-Eklemlerin devamlılığı,
- h-Yeraltısuyu akımı.

Bu önerilen sınıflama parametreleri, Bieniawski (1976) tarafından, bazı deney ve pratikteki uygulamalar sonucu değiştirilerek geliştirilir. Ayrışma durumunu, tek eksenli basınç direncini direkt etkilediğinden, elimine eder. Eklemlerin ayrılması ve devamlılığını, eklemlerin durumu adı altında yeniden değerlendirir. Doğrultu ve eğim düzeltmesini temel sınıflama parametrelerinden ayırır ve düzeltme etkisini temel parametrelerin hesabından sonra değerlendirir. Bieniawski'nin beş temel parametresi şöyledir;

- a-Kayanın tek eksenli basınç direnci,
- b-Kaya kalitesi tanımlaması(RQD),
- c-Eklem sıklığı,
- d-Eklemlerin durumu,
- e-Yeraltısuyu durumu.

Kayanın tek eksenli basınç direnci, Deere ve Miller (1966)'in geliştirdiği sınıflama sisteminden alınmıştır (Tablo-36). Sondaj karotlarından yada araziden getirilen blok numunelerden alınan karot örnekleri üzerinde standart laboratuvar deneyleriyle kayanın tek eksenli basınç direnci belirlenebilir. Ancak Bieniawski kaya sınıflamaları için nokta yük direncini önermiştir. Basit ve kolay taşınabilir bir ekipmanla arazide çabuk bir şekilde tayin edilebilir, ayrıca deneyin karot numunede yapılmasını gerektirir bir şartta yoktur.

RQD tayini tünellerde destek seçiminde çok faydalıdır. Deere(1964) tarafından ortaya konan bu tanımlama sondajlardan elde edilen karotlar yardımıyla basit bir şekilde tanımlanır.

Eklem sıklığı, teriminde yeralan eklem anlamı, eklem, tabaka düzlemi, küçük faylar ve diğer kusurlu yüzeyler gibi süreksizliklerdir. Bu süreksizlikler, kaya kütlesinin tüm davranışını kontrol ederler, süreksizliklerin artması kaya kütlesinin direncini azaltır. RQD indeksi kaya kütlesinin eklem sıklığını tanımlayamaz, çünkü RQD sadece karot üzerindeki eklem sıklığını gösterir. Eklem sıklığı parametresi Deere (1968) tarafından yapılan sınıflamadan alınmıştır (Tablo-37).

Tablo-36- Sağlam kayanın direncine göre sınıflaması (Deere, Miller, 1966)
Deere and Miller's classification of intact rock strength.

Tanımlama	Tek eksenli basınç direnci			Örnek kaya tipi
	lbf/in ²	kgf/cm ²	MPa	
Çok düşük dirençli	150-3500	10-250	1-25	Tebeşir, kayatuzu
Düşük dirençli	3500-7500	250-500	25-50	Kömür, silttaşı, şist
Orta dirençli	7500-15000	500-1000	50-100	Kumtaşı, sleyt, şeyl
Yüksek dirençli	15000-30000	1000-2000	100-200	Mermer, granit, gnays
Çok yüksek dirençli	>3000	>2000	>200	Kuarsit, dolerit, gabro, bazalt.

Tablo-37- Eklem sıklığına göre sınıflama (Deere, 1968)
Deere's classification for joint spacing.

Tanımlama	Eklem sıklığı	Kaya kütlesi sınıfı
Çok geniş	>3 m >10 ft.	Katı
Geniş	1 m-3 m 3ft-10 ft	Masif
Orta kapalı	0.3 m-1 m 1 ft- 3 ft	Bloklu-Biçimsiz
Kapalı	50 mm-300 mm 2 in-1 ft	Kırıklılı
Çok kapalı	<50 mm <2 in	Kırılmış ve Parçalanmış

Eklem durumları, eklem yüzeyinin pürüzlülüğünü, devamlılığını, açıklığını yada ayrılmasını (iki yüzey arasındaki), dolgu malzemesini ve kaya duvarlarındaki ayrışmayı kapsar. Pürüzlülük, eklem yüzeyinin durumunu karakterize

eden en önemli özelliktir. Uygulamalarda aşağıdaki şekilde tanımlanır;

a- Çok pürüzlü: Süreksizlik yüzeyi düşey basamak ve sırtlar kapsar,

b- Pürüzlü: Bazı sırt ve yay şeklinde basamaklar, yüzeye elle dokunulduğunda çok aşındırıcıdır,

c- Az pürüzlü: Yüzey keçe gibidir,

d- Pürüzsüz: Yüzeyin temizliği elle dokunulduğunda ve gözle bakıldığında görülür,

e- Kayma yüzeyli: Sürtünme izleri ve parlak yüzeyler görülebilir.

Eklemlerin devamlılığının etkisi geniştir ve kaya kütlelerinin davranışını süreksizlikler ayırır. Tünelde süreksizliğin devamlılığı tünel genişliğinden büyük ve tamamen devamlı olduğu düşünülmeyle beraber bu devamlılık tanımlanmalıdır. Ayrılma yada iki süreksizlik yüzeyi arasındaki mesafe süreksizliğe akabilecek su miktarını kontrol eder. Eğer bir engel yoksa süreksizlik yüzeyleri arasındaki eklem dolgusu süreksizliğin kesme direncini direkt olarak etkiler. Çatlak boyunca kesme direnci ayrılma derecesi, dolgu malzemesinin varlığı yada yokluğu, süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü ve dolgu malzemesinin cinsine bağlıdır. Süreksizlik yüzeyinde ayrılma aşağıdaki gibi tanımlanır;

a- Çok sıkı: <0.1 mm.

b- Sıkı : 0.1-0.5 mm.

c- Orta açık: 0.5-2.5 mm.

d- Açık : 2.5-10mm.

e- Geniş : 10-25 mm.

(Eğer iki süreksizlik arasındaki mesafe 25 mm. den fazla ise ana süreksizlik olarak tanımlanır.)

Dolgu malzemesi iki özelliği ile belirlenir;

a- Dolgu kalınlığı,

b- Dolgunun kesme direnci, permeabilite ve deformasyon gibi karakteristikleri.

Kaya duvarındaki ayrışma, Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği'nin Hizmet Komitesi (American Society of Civil Engineers (ASCE) Task Committlee) tarafından önerilen ayrışma sınıflaması ile aşağıdaki gibi belirlenir;

a- Ayrışmamış: Temiz kaya, parlak kristaller gibi ayrışma ile ilgili, açık olmayan işaretler belirtilir,

b- Az ayrışmış kaya: Süreksizlik lekeli yada boyanmıştır ve ince bir dolgu bulunabilir. Boyanma süreksizlik açıklığının %20'si kadar kaya içine ilerleyebilir,

c- Orta ayrışmış kaya: Süreksizlik altere malzemeden bir dolgu kapsayabilir ve boyanma kaya içine süreksizlik açıklığının %20'sinden fazla bir mesafede gelişebilir,

d- Aşırı ayrışmış kaya: Kayanın orjinal dokusu korunmakla beraber, taneler ayrışabilir. Boyanma kaya içine doğru gelişir ve kayada parçalanma görülür,

e- Tamamen ayrışmış kaya: Kaya tamamen boyanır ve parçalanır, dış görünüş zemine benzer, kayanın dokusu bazı yerlerde korunmakla beraber taneler tamamen ayrışmıştır.

Yeraltısuyu durumu, tünelde her 1000 ft'te dakikada galon olarak yeraltı suyu akımı olarak tanımlanır, yada kuru nemli, ıslak, damlayan ve akıcı gibi genel durumlar tanımlanmalıdır. Ayrıca suyun basınçlı olup olmadığıda gözlenmelidir.

Açıklamaya çalışılan bu beş temel sınıflama parametresi bir bölge için belirlendikten sonra Tablo-38 A bölümü yardımı ile her parametrenin derecelendirmesi yapılır ve bulunan değerler toplanır. Bu işlemden sonra önemli bir adım doğrultu, eğim yönü ve eğim miktarına göre yapılacak düzeltmedir. Doğrultu, eğim düzeltmesinin tünel duraylılığı üzerine etkili olduğu Wickham, Tiedemann ve Skinner (1974) tarafından ortaya konmuştur. Bieniawski bu değerleri kullanmış ve uygunluklarına göre derecelendirmiştir. (Tablo 38 B bölümü). Uygunluk terimi Tablo-39'da açıklanmıştır. Bu düzeltme derecesini, beş temel parametreden elde ettiği dereceye ilave etmiştir (Düzeltilme derecesi negatif (-) olduğundan, temel parametrelerin derecesine ilavesi toplama değil,

Tablo-38-RMR sınıflama sistemi (Bieniawski,1976)

RMR classification system.

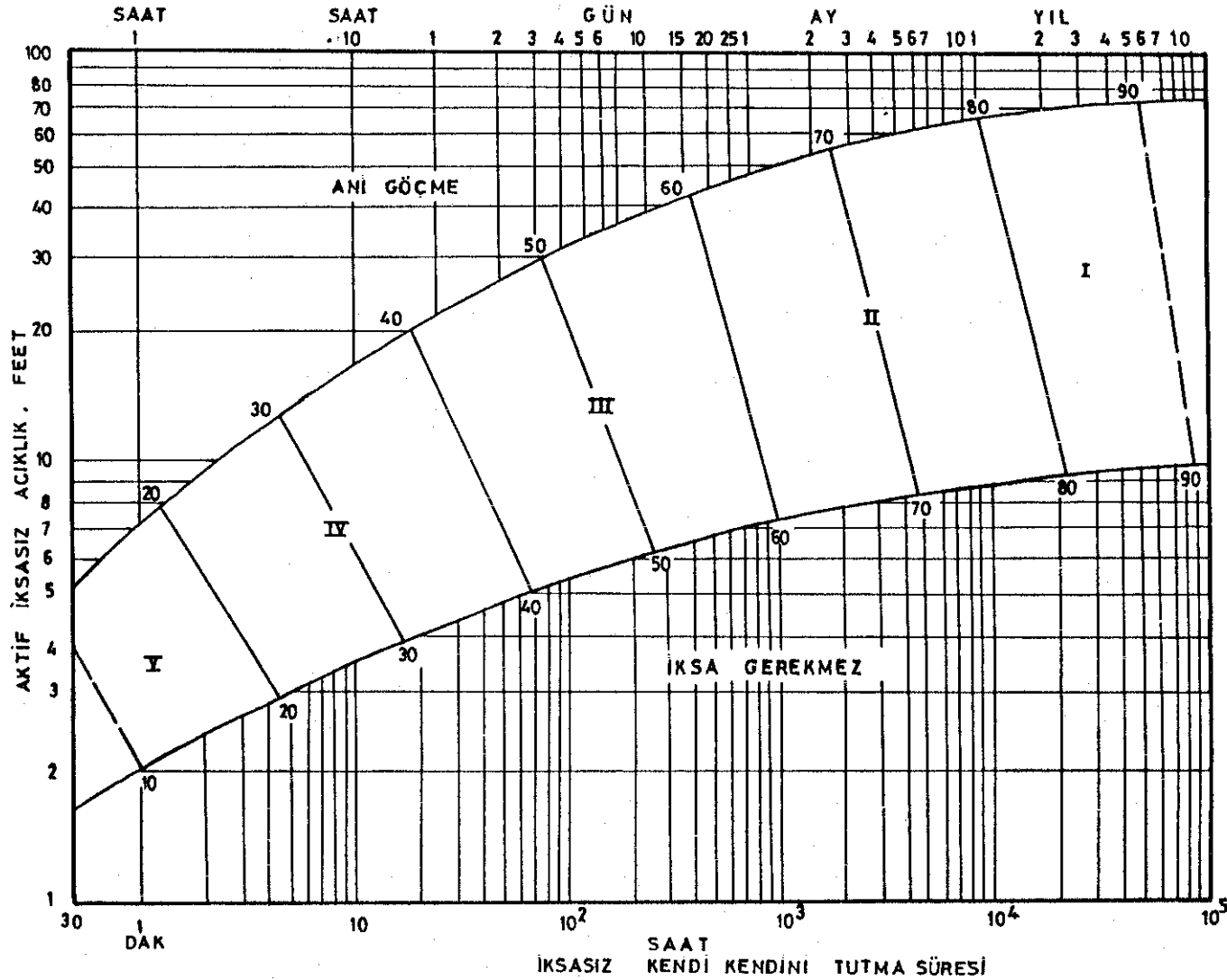
A. SINIFLAMA PARAMETRELERİ VE DERECELERİ									
1	Sağlam kayanın direnci	Nokta yük direnci	>8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Yeğlenen tek eksenli basınç deneyini kullan		
		Tek eksenli basınç dir.	>200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	Derecelendirme		15	12	7	4	2	1	0
2	Sondaj Karot Kalitesi RQD		%90-%100	%75-%90	%50-%75	%25-%50	< %25		
	Derecelendirme		20	17	13	8	3		
3	Eklemlerin sıklığı		>3m.	1-3 m.	0.3-1 m.	50-300 mm.	< 50 mm.		
	Derecelendirme		30	25	20	10	5		
4	Eklemlerin durumu		Çok kaba yüzler Sürekli değil Ayırılma yok Eklemler sert duvar kayası	Az kaba yüzler Ayırım <1 mm. Eklemler sert duvar kayası	Az kaba yüzler Ayırım <1 mm. Eklemler yumuşak duvar kayası	Sürtünme izli yüzler veya fay kili <5mm.veya 1-5mm.açık eklemler sürekli eklemler	Yumuşak fay kili >5mm.kalınlık veya açık eklemler > 5mm.sürekli eklemler		
	Derecelendirme		25	20	12	6	0		
5	Yeraltı suyu	Tünelin 10m.lik kısmından gelen su	Yok		<25 litre/dak	25-125 litre/dak	>125 litre/dak		
		Oran	veya		veya	veya	veya		
			0		0.0-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
			veya		veya	veya	veya	veya	
	Genel koşullar		Tamamen kuru		Yalnızca kuru (kırıklardaki su)	Orta basınç altında su	Önemli su problemleri		
Derecelendirme		10		7	4	0			

Tablo-38'in devamı

B. EKLEM YÖNLENİMİNE GÖRE DÜZELTME						
Eklemlerin doğrultu ve eğim yönlenimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Derecelenme	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Yamaçlar	0	-5	-25	-50	-60
C. KAYA SINIFLAMALARI VE DERECELERİ						
Sınıflama No	I	II	III	IV	V	
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya	
Derecelendirme	100-81	80-61	60-41	40-21	<20	
D. KAYA SINIFLAMA YORUMLARI						
Sınıflama No	I	II	III	IV	V	
Ortalama dayanma süresi	5m. açıklıkta	4m. açıklıkta	2m. açıklıkta	1.5m. açıklıkta	0.5m. açıklıkta	
	10 yıl	6 ay	1 hafta	5 saat	10 dakika	
Kaya kütlelerinin kohez.	>300 kPa	200-300 kPa	150-200kPa	100-150 kPa	<100 kPa	
Kaya kütlelerinin sürt.açıl.	>45°	40°-45°	35°-40°	30°-35°	<30°	
Cevherin kazılabilirliği	Çok zayıf	Kolaylıkla büyük parçalar çıkmaz	Orta	Kolaylıkla kazılır iyi parçalanma	Çok iyi	

Tablo-39- Eklem doğrultu, eğimine göre uygunluğunun belirlenmesi (Bieniawski, 1976)
The effect of joint strike and dip orientations in tunnelling

Tünel eksenine dik doğrultu				Tünel eksenine paralel doğrultu		Doğrultuya bakılmaksızın eğim 0°-20° Uygun değil
Eğim yönünde açım		Eğime dik açım				
Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	



Şekil-32-Aktif iksasız açıklık ile iksasız kendi kendini tutma süresi arasındaki ilişki (Bieniawski, 1976).

Geomechanics Classification-output of stand-up time versus unsupported span.

Tablo-40- RMR sınıflama sisteminde kazı ve iksa önerileri (Bieniawski, 1976)
RMR classification guide for excavation and support of rock tunnel

KAYA KÜTLESİ SINIFLA- MASI	KAZI	B İ R İ N C İ L İ K S A		
		Kaya bulonları* (10 m. genişlikteki) tünel için uzunluk	Püskürtme beton	Çelik Takımlar
I	Tam kesit 3m. ilerleme	Bazı bulonların haricinde genellikle iksa gerektirmez		
II	Tam kesit 1.0-1.5m. ilerleme	Kemerin 2-3m. sinde yer yer bulon, tel kafeslerle 2-2.5m. aralıklı, aynaya 20m.ye kadar gerekir.	Su geçirmezlik için tavan kemerinde 50mm.	Yok
III	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme,ta- vandan 1.5- 3m.ilerleme	3-4m.uzunlukta sistematik bulonlar bulonlar, kemerde tel kafesli du- varlar ve kemerde 1.5-2m.aralıklı aynaya 10m.ye kadar gerekli.	Tavan kemerinde 50-100mm yan duvarlarda 30mm.	Yok
IV	Tavan kemeri, tabandan iler- leme Tavandan 1.0-1.5m.iler- leme	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5m. aralıklı,4-5m.uzunluklu sistematik bulonlar.Aynaya 10m.ye kadar gerekli	Tavan kemerinde 100-150m. ve yan duvarlarda 100 mm Kazı ilerledikçe iksa yer- leştirilmelidir.	Gereken yerde 1.5m. aralıklı yeryer hafif traversler (ribs)
V	Tavan ve taban müşterek iler- leme Tavandan 0.5-1m.iler- leme	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5m.aralıklı, 5m.uzunluklu sis- tematik bulonlar.Aynaya 5m.ye ka- dar gerekli.	Tavan kemerinde 150-200mm yan duvarlarda 150mm.Ayna- da 50mm.Patlamadan hemen sonra püskürtme beton uy- gulanmalı.	Çelik iksalı 0.75m. aralıklı ağır travers- ler.
*20 mm.çaplı tamamen reçine bağlantılı, uzunluk tünel genişliğinin 1/2-1/3'ü.				

Kesit:Atnalı, Genişlik:6-12m., Düşey gerilme:30MPa, İnşaat:Delme ve patlatma

çıkarma olarak düşünülmelidir). Son elde edilen derece RMR değeridir. Tablo-38 C bölümü yardımıyla bulunan RMR derecesine karşılık gelen sınıfın tanımlaması yapılır. Bulunan kaya kütlesi sınıfı Lauffer (1958)'in kullandığına benzer kavramları içeren Şekil-32 yardımı ile aktif iksasız açıklık ve iksasız kendi kendini tutma süresi kavramları belirlenir, Tablo-38 D bölümü yardımı ile kaya kütlesi sınıfı yorumları yapılır.

Bieniawski bulunan RMR derecesine karşılık gelen kaya sınıfının, atnalı şeklinde, genişlik 5-12 m. düşey gerilme 30 MPa ve delme patlatma ile açılacak bir tünel için, iksa seçimini Tablo-40'da vermiştir.

IV.3.2.3. Q

Kaya kütlesi kalitesi (Rock Mass Quality=Q) Barton, Lien ve Lunde (1974) tarafından ortaya konmuş, Q sistemi olarak da bilinen bir kaya kütlesi sınıflama sistemidir. Bu sistemin temeli, Deere (1963) tarafından belirtilen RQD tanımlamasının kaya kütlesini tam olarak tanımlamadığı ve aynı RQD değerine sahip iki kayada açılan tünelde farklı davranışlar görüldüğü (Bjerrum (1970)), RQD tanımlamasının geliştirilmesi gerektiği esasına dayanır.

Barton, Lien ve Lunde; a) yüksek RQD ve 1'den fazla eklem takımı içeren bir kaya ile düşük RQD ve 1 eklem takımı içeren bir kayanın aynı duraylılığa sahip olabileceğini, eklem takımı sayısının RQD ile ters orantılı olduğunu, b) Kaya kalitesini, ufak veya orta boyutlu eklem pürüzlülüklerinin olumlu, alterasyon ve dolgu malzemelerinin olumsuz etkilediğini, c) Eklem suyu ve buna bağlı su basıncı, ile kaya yükünün, gözönünde bulundurulması gerektiğini söylemişler ve kaya kütlesi kalitesi (Q)'ni aşağıdaki gibi tanımlamışlardır.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

RQD= Kaya kalitesi tanımlaması
Jn = Eklem takımı sayısı
Jr = Eklem pürüzlülük sayısı
Ja = Eklem alterasyon sayısı
Jw = Eklem su indirgeme faktörü
SRF= Gerilme indirgeme faktörü

Bu parametreler, Tablo-41'de verilmiştir. kaya kütlesi kalitesi (Q) belirlenirken Tablo-41'de verilen değerlerle ilgili göz önüne alınması gereken ek notlar şöyledir;

1- RQD tanımlaması Deere (1963)'den alınmıştır, ancak sondaj karotlarının bulunmaması halinde birim hacimdeki eklem sayısı toplanarak Palmström (1974)'ün verdiği bağıntı ile hesaplanır. Bu bağıntı kil içermeyen kayalar için geçerlidir.

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

$$J_v = 1m^3 \text{ 'teki eklem sayısı}$$

2- Eklem takımı sayısını (Jn) şistozite, tabakalanma yüzeyi gibi süreksizlikler etkiler. Bunların belirgin şekilde paralel olarak gelişenleri bir eklem takımı olarak alınmalıdır. Bir paralellik sunmayanlar gelişigüzel eklemler olarak alınmalıdır.

3- Jr ve Ja parametreleri makaslama mukavemetini temsil eder. (Jr/Ja) değeri minimum olan süreksizlik zonu veya eklem takımı duraylılık için uygun doğrultudaysa, bu durumda daha az uygun doğrultulu eklem takımı veya süreksizlik zonu duraylılık yönünden daha önemli olabilir. Q hesaplanırken (Jr/Ja) nın yüksek değeri kullanılmalıdır.

4- Kil içeren kayalarda Gerilme İndirgeme Faktörü (Stress Reduction Factor=SRF) hesaplanmalıdır. SRF zayıflık zonlarının kil yada ayrıışmış malzeme içermesi halinde gevşeyen yüklerle ilgilidir. Bu durumda kayanın mukavemeti

Tablo-41- Q sistemi sınıflama parametreleri (Barton vd. 1974)
Classification parameters used in the Q system.

Tanımlama	Değerlendirme	Not
1.Kaya kalitesi tanımlaması	RQD	1-Q hesaplanırken RQD ≤ 10 ise '0'dahil 10 olarak alınır.
A-Çok fena	0-25	2-RQD 5 aralıklı olarak alınmalıdır (65,70,75 vb.)
B-Fena	25-50	
C-Orta	50-75	
D-İyi	75-90	
E-Pekiyi	90-100	
2.Eklem takımı sayısı	Jn	
A-Masif, eklem çok az yada hiç yok	0.5-1.0	1-Kesişme yerlerinde(3.0xJn)
B-Bir eklem takımı	2	2-Giriş, çıkış (kapılarda)(2.0xJn) kullanın.
C-Bir eklem takımı ve gelişigüzel eklem	3	
D-İki eklem takımı	4	
E-İki eklem takımı ve gelişigüzel eklem	6	
F-Üç eklem takımı	9	
G-Üç eklem takımı gelişigüzel eklem	12	
H-Dört veya daha fazla eklem takımı,gelişigüzel çok sayıda eklem, küp şeker şeklinde vb.	15	
J-Paralanmış kaya, toprak görünümünde	20	
3.Eklem pürüzlülük sayısı	Jr	
a)Kaya duvar kontağı ve b) Kesme kuvvetleriyle 10cm. den küçük parçalara ayrıldığında kaya duvar kontağı		1-İlgili eklem takımlarının ortalama ara mesafesi 3m.den büyükse 1.ilave edilir.
A-Süreksiz eklem	4	2-Lineasyon içeren düzlemsel fay aynalı eklem için, Lineasyonların uygun olması koşulu ile,Jr=0.5 kullanılabilir.
B-Pürüzlü yada düzensiz,dalgalı	3	
C-Düz, dalgalı	2	
D-Sürtünme izli, dalgalı	1.5	
E-Pürüzlü yada düzensiz, düzlemsel	1.5	
F-Düz düzlemsel	1.0	
G-Sürtünme izli, düzlemsel	0.5	
c)Kaya duvar kontağı yok		
H-Kaya duvar kontağını önleyebilecek kalınlıktaki kil minerali minerali içeren zon	1.0	
J-Kaya duvar kontağını önleyebilecek kalınlıktaki kumlu, çakıllı, ezilmiş zon	1.0	

Tablo-41'in devamı

Tanımlama	Değerlendirme	Not
4.Eklem alterasyon sayısı	Ja 0 (yaklaşık)	1-0 _r , kalıntı iç sür-
a)Kaya duvar kontağı		tünme açısı,eğer varsa
A-Sıkıca bağlanmış,sert,yumu-	0.75 -	alterasyon ürünlerinin
şamaz,geçirimsiz dolgu(Örne-		mineralojik özelliklerle-
ğin kuvars,epidot)		rine yaklaşık bir reh-
B-Altere olmamış eklem yüzey-	1.0 (25°-35°)	ber olarak kullanıla-
leri sadece yüzeysel pas-		bilir.
lanma		
C-Hafifçe altere olmuş eklem	2.0 (25°-35°)	
yüzleri, yumuşamayan mine-		
ral kaplamaları,kum tanele-		
ri,kil içermeyen kaya par-		
çaları		
D-Siltli veya kumlu kil kap-	3.0 (20°-25°)	
lamaları, düşük kil oranı		
(yumuşamayan)		
E-Yumuşamayan veya düşük sür-	4.0 (8°-16°)	
tümmeli kil mineral kapla-		
malı, kaolinit,mika gibi.		
Ayrıca klorit,talk,jips,		
grafit ve az miktarlarda		
şişen killer (1-2mm veya		
daha az kalınlıkta kesikli		
kaplamalar)		
b)Kesme kuvvetleriyle 10cm		
den küçük parçalara ayrıl-		
dığında kaya duvar kontağı		
F-Kum taneleri kil içermeyen	4.0 (25°-30°)	
kaya parçaları		
G-Çok fazla konsolide olmuş,	6.0 (16°-24°)	
yumuşamayan kil mineral dol-		
guları (kesiksiz,kalınlığı		
5mm.den az)		
H-Orta veya düşük derecede	8.0 (12°-16°)	
konsolide olmuş,yumuşamayan		
kil mineral dolgulu (kesik-		
siz,kalınlığı 5mm.den az)		
J-Şişen kil dolgulu,örneğin	8.0-12.0(6°-12°)	
montmorillonit(kesiksiz,		
kalınlığı 5mm.den az).Ja'		
nın değeri, şişen kil boyu-		
tundaki tanelerin yüzdesine		
ve su etkisinde kalıp kal-		
mayacağına göre değişir.		
c)Kaya duvar kontağı yok.		
K-Dağılmış kaya ve kil bölge	6.0 (16°-24°)	
veya bantları		
L-(Kil şartları tanımlaması	8.0 (12°-16°)	
M-için G,H, I maddelerine ba-	8.0-12.0 (6°-12°)	
kın)		
N-Siltli veya kumlu kil bölge	5.0 -	
veya bantları, düşük kil		
oranı (yumuşamayan)		

Tablo-41'in devamı

Tanımlama	Değerlendirme	Not
O-Kalın sürekli kil bölge P-veya bantları (kil şart- R-ları tanımlaması için G,H,I maddelerine bakın)	10.0-13.0 veya (6°-24°) 13.0-20.0	
5.Eklem su indirgeme Faktörü	Jw Su basıncı (kg/cm ²)	
A-Kuru kazılar yada 5 lt/dak gelen kazılar	1.0 <1.0	1-C'den F'ye kadar olan maddeler kaba tahminlerdir.Drenaj ölçümleri yapıldıkça Jw'yi arttırınız.
B-Orta derecede su gelişi veya basınç, eklem dolgularının yer yer yıkanması	0.66 1.0-2.5	2-Buz oluşması ile meydana gelen özel problemler gözönüne alınmamıştır.
C-Dolgusuz eklemli dayanımlı kayada çok miktarda su geli- şi veya yüksek basınç	0.5 2.5-10.0	
D-Çok miktarda su gelişi veya yüksek basınç ile eklem dolgularının fazlaca yıkan- ması	0.33 2.5-10.0	
E-Patlatma sırasında çok fazla su gelişi veya su basıncı, fakat zamanla azalması	0.2-0.1 >10.0	
F-Zamanla azalmayan çok fazla su gelişi veya su basıncı	0.1-0.05 >10.0	
6.Gerilme İndirgeme Faktörü		
a)Kazıyı kesen zayıflık zon- ları,tünel kazılırken kaya kütlesinin gevşemesine ne- den olabilirler.	SRF	
A-Kil veya kimyasal olarak parça parçalanmış kaya kapsayan birden fazla zayıflık zonu (Herhangibir derinlikte)	10.0	1-Bahsi geçen zayıflık zonları kazıyı kesme- yip sadece etkiliyorsa SRF değerlerini %25-50 oranında azaltınız.
B-Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya kapsayan tek bir zayıflık zonu (kazı derinliği ≤50 m.)	5.0	
C-Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya kapsayan tek bir zayıflık zonu (kazı derinliği >50 m.)	2.5	
D-Kil kapsamayan dayanımlı ka- yada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı (herhangibir derinlikte)	7.5	
E-Kil kapsamayan dayanımlı ka- yada tek bir makaslama zonu (kazı derinliği ≤50 m)	5.0	
F-Kil kapsamayan dayanımlı ka- yada tek bir makaslama zonu (kazı derinliği >50m.)	2.5	
G-Gevşek ve açık eklemeler,faz- la eklemli, küp şekeri görü- nümlü (herhangibir derinlik- te)	5.0	

Tablo-41'in devamı

Tanımlama	Değerlendirme			Not
b)Dayanımlı kaya,kaya gerilmesi sorunları				
	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1		
H-Düşük gerilme yüzeye yakın	>200	>13	2.5	2-Fazlaca heterojen ortamlarda $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 1.0$
J-Orta derecede gerilme	200-10	13-066	1.0	ise $0.8\sigma_c, 0.8\sigma_t$
K-Yüksek gerilme, çok sıkı yapı(genellikle duraylılık yönünden uygun,fakat duvar duraylılığıyönünden uygun olmayabilir)	10-5	066-033	05-20	$\sigma_1/\sigma_3 > 10$ ise $0.6\sigma_c, 0.6\sigma_t$ alınız
L-Az kaya patlaması (masif kaya)	5-25	033-016	5-10	3-Tünel üzerindeki örtü kalınlığı tünel genişliğinden az ise SRF'yi 2.5 yerine 5 alınız (bak. H)
M-Fazla kaya patlaması (masif kaya)	<25	<016	10-20	
c)Yüksek basınç altında dayanımsız kayanın plastik akması				
N-Az sıkışan kaya basıncı			5-10	
O-Fazla sıkışan kaya basıncı			10-20	
d)Suyun varlığına bağlı kimyasal şişme				
P-Az şişen kaya basıncı			5-10	
R-Fazla şişen kaya basıncı			10-15	

gözönüne alınmaz ancak zayıflık zonları minimum ve kil tamamen yoksa SRF hesabında kayanın mukavemeti (basınç ve çekme)'ne bakılır.

5- Genel olarak yerli kayanın basınç ve çekme mukavemetleri (σ_c ve σ_t) duraylılık yönünden uygun olamayan doğrultuda hesaplanmalıdır. Bu durum özellikle çok fazla anizotropik ortamlar için önemlidir.

Kaya kütlesi kalitesi (Q) hesabında yeralan altı parametre çift olarak değerlendirilirse;

1- (RQD/Jn) kayanın genel yapısını belirler, ve blok boyutunun kabaca ölçüsünü gösterirler. Örneğin RQD ve Jn parametrelerinin uç değerlerini (100-10 ve 0.5-20) ve birimi cm. alırsak, 200cm. ve 0.5 cm. değerlerini elde ederiz. Bu da bize yaklaşık en iri blok boyutu 200 cm. ve en küçük parçada 0.5 cm. olabileceğini gösterir.

2- (Jr/Ja) terimi eklem pürüzlülüğü ve eklem dolgunun derecesini belirler. Bu iki parametrenin çeşitli kombinasyonlarının $\tan^{-1}(Jr-Ja)$ değerleri, beklenen hakiki makaslama kuvvetine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Bir şans eseri bulunan bu değerler Tablo-42'de verilmiştir.

3- (Jw/SRF) terimi iki gerilme parametresinden oluşur. Jw eklemlerin mukavemetini ters yönde etkileyen su basıncının ölçüsüdür. SRF toplam gerilmenin bir parametresi olarak nitelendirilebilir. bu terim aktif gerilimi belirleyen bir faktördür.

Bu nedenlerden dolayı Q'nun üç maddenin bir fonksiyonu olduğu görülmektedir.

1- $\frac{RQD}{J_n} = \text{Blok boyutu}$

2- $\frac{J_r}{J_a} = \text{Bloklar arası kayma direnci}$

Tablo-4 2-Jr ve Ja parametrelerinden "Zahiri Makaslama Kuvveti" tahmini
(Barton vd.,1974)
Estimate of apparent "Shear Strenght" from the parameters
Jr and Ja.

(a) Kaya duvar kontağı	Jr	$\tan^{-1}(Jr/Ja)^{\circ}$				
		Ja=0.75	1.0	2	3	4
A-Süreksiz eklemler	4	79 ⁰	76 ⁰	63 ⁰	53 ⁰	45 ⁰
B-Pürüzlü, dalgali	3	76 ⁰	72 ⁰	56 ⁰	45 ⁰	37 ⁰
C-Düz, dalgali	2	69 ⁰	63 ⁰	45 ⁰	34 ⁰	27 ⁰
D-Sürtünme izli, dalgali	1.5	63 ⁰	56 ⁰	37 ⁰	27 ⁰	21 ⁰
E-Pürüzlü, düzlemsel	1.5	63 ⁰	56 ⁰	37 ⁰	27 ⁰	21 ⁰
F-Düz, düzlemsel	1.0	53 ⁰	45 ⁰	27 ⁰	18 ⁰	14 ⁰
G-Sürtünme izli, düzlemsel	0.5	34 ⁰	27 ⁰	14 ⁰	9.5 ⁰	7.1 ⁰
(b) Kesme kuvvetleriyle 10 cm.den Jr küçük parçalara ayrıldığında kaya duvar kontağı	Jr	$\tan^{-1}(Jr/Ja)^{\circ}$				
		Ja=4	6	8	12	
A-Süreksiz eklemler	4	45 ⁰	34 ⁰	27 ⁰	18 ⁰	
B-Pürüzlü, dalgali	3	37 ⁰	27 ⁰	21 ⁰	14 ⁰	
C-Düz, dalgali	2	27 ⁰	18 ⁰	14 ⁰	9.5 ⁰	
D-Sürtünme izli, dalgali	1.5	21 ⁰	14 ⁰	11 ⁰	7.1 ⁰	
E-Pürüzlü, düzlemsel	1.5	21 ⁰	14 ⁰	11 ⁰	7.1 ⁰	
F-Düz, düzlemsel	1.0	14 ⁰	9.5 ⁰	7.1 ⁰	4.7 ⁰	
G-Sürtünme izli, düzlemsel	0.5	7 ⁰	4.7 ⁰	3.6 ⁰	2.4 ⁰	
(c) Kaya duvar kontağı yok	Jr	$\tan^{-1}(Jr/Ja)^{\circ}$				
		Ja=6	8	12		
Ayrışmış yada parçalanmış kaya ve kil	1.0	9.5 ⁰	7.1 ⁰	4.7 ⁰		
Siltli yada kumlu kil bandları	1.0	Ja=5				
		11 ⁰				
Sürekli kil bandları	1.0	Ja=10	13	20		
		5.7 ⁰	4.4 ⁰	2.9 ⁰		

$$3- \frac{J_w}{SRF} = \text{Aktif gerilme}$$

Bütün bu açıklamalardan sonra, diğer sınıflama sistemlerinde yeralan destekleme önlemlerinin, Q sisteminde nasıl bulunduğu bakalım.

Öncelikle Tablo - 41'in yardımı ile hesapladığımız Q değerinin dokuz sınıftan hangisine dahil olduğuna bakılır. Bunlar;

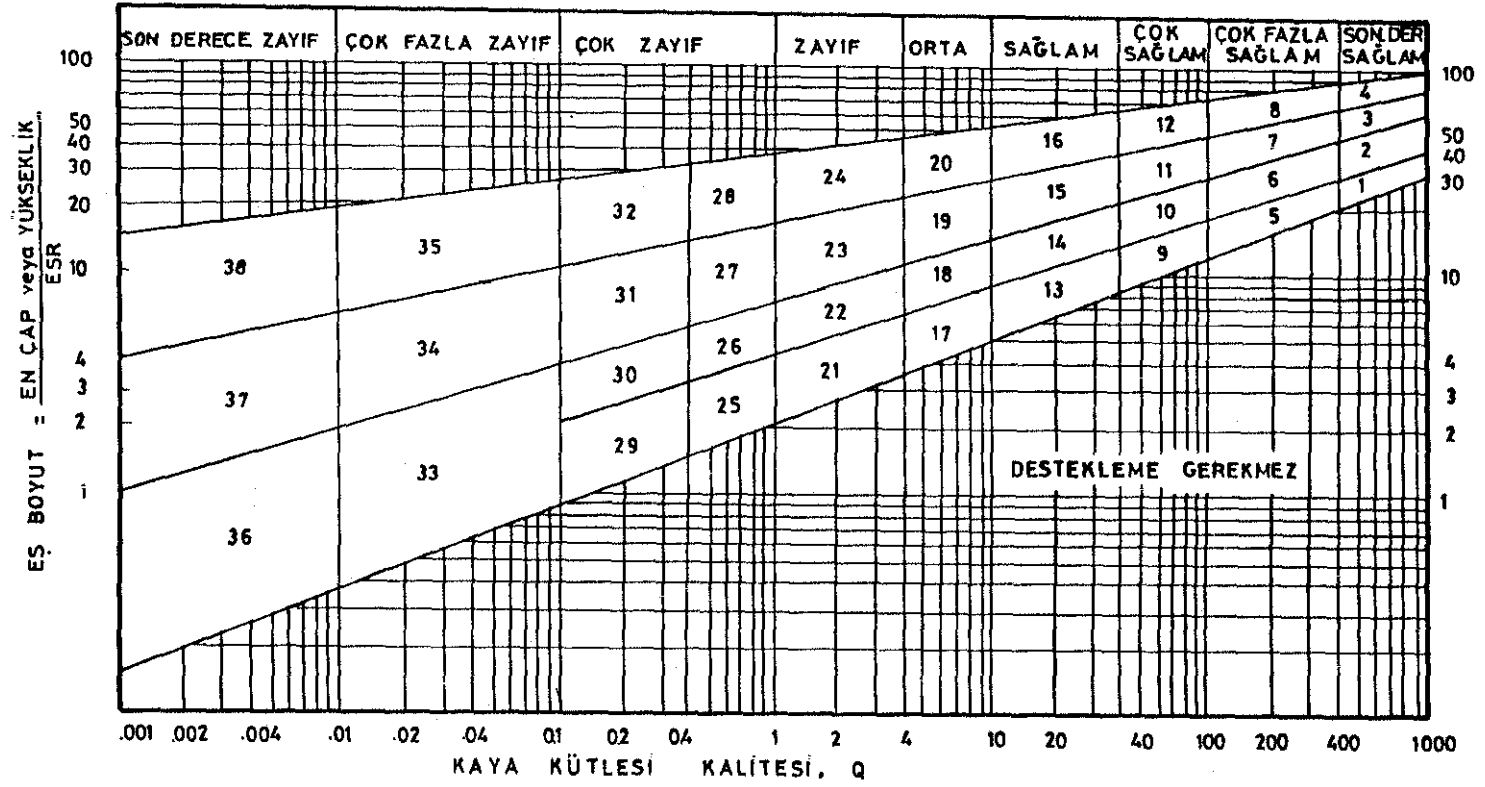
Kaya kütlesi Kalitesi(Q)	1000 400	400 100	100 40	40 10	10 4	4 1	1 0.1	0.1 0.01	0.01 0.001
Kaya kütlesi sınıfı	Son derece sağlam	Çok Fazla sağlam	Çok Sağlam	Sağlam	Orta	Zayıf	Çok zayıf	Çok Fazla zayıf	Son derece zayıf

Q sisteminin destek hesabı için temel özelliklerinden biri, destek hesabında kaya kütlesi kalitesi (Q)'nin kazı boyutları ve kazı amacına bağlı olduğudur. Kazı boyutları (en, çap veya yükseklik)'nin, kazı amacı (ESR)'na oranı Eş Boyut olarak tanımlanmış ve kaya kütlesi kalitesi (Q) ile eş boyuta bağlı 38 destek sınıfı Şekil-33'de verilmiştir.

Destek sınıfı belirlenirken tavan desteği için kazı eni veya çapı, duvar desteği için kazı yüksekliği veya çapı kullanılır. Kazı Destek Oranı (Excavation Support Ratio=ESR) kazı amacını belirleyen bir faktördür. ESR değerleri deneme yanılma ile belirlenmiş ve destek seçimine yardımcı önemli faktörlerdendir. Tablo-43'de, ESR değerleri ve belirlenmesine yardımcı olan uygulama örneklerinin sayısı verilmiştir.

Tavan ve duvar için ayrı ayrı belirlenen destek sınıfları için destek önlemleri Tablo-44yardımı ile belirlenir. Duvar destek önlemleri belirlenirken, $Q > 10$ için $5 \cdot Q$, $0.1 < Q < 10$ için $2.5 \cdot Q$, $Q < 0.1$ için aynı Q değeri kullanılır.

Barton, Lien ve Lunde sadece kaya kütlesi kalitesi (Q) ve destek önlemlerini belirtmekle kalmayıp, destek başıncı, Bulonlama ve Ankraj, Beton kaplama hesapları ile



Şekil-33-Q sistemi, eş boyut ve kaya kalitesine bağlı destek sınıfları (Barton,1974)
Q-System-equivalent dimension versus rock mass quality .

Tablo-43- Yeraltı kazılarına uygun ESR oranları ve uygulama örneklerinin sayısı (Barton vd.,1974)

The ESR appropriate to a variety of underground excavation.

Kazı Cinsi	ESR	Örnek Sayısı
A. Geçici maden kazıları	3-5	2
B.Dikey bacalar 1.Dairesel kesit	2-5	0
2.Dikdörtgen/kare kesit	2-0	0
C.Kalıcı maden kazıları, HES için su tünelleri (yüksek basınçlı cebri borular hariç) pilot tünelleri ve maden galerileri	1-6	83
D.Depolar, su tasfiye odaları, ufak yol ve demiryolu tünelleri, denge bacaları yaklaşım tünelleri vb.	1-3	25
E.Santral binaları, ana karayolu ve demiryolu tünelleri, sivil savunma sığınakları, giriş-çıkış ağzları ve kesişme noktaları	1-0	79
F.Yeraltı nükleer santralleri, metro istasyonları, fabrikalar ve sosyal tesisler.	0-8	2

Tablo-44- Q sistemine göre önerilen destek önlemleri (Barton vd.1974)
Recommended support based upon Q system.

Destek Kategorisi	Q	Açıklık/ESR (m.)	RQD/Jn	Jr/Ja	P (yaklaşık) kg/cm ²	Lokal gerdirmesiz bulon	Gerdirmesiz bulon (m.)	Gerdirmeli bulon (m.)	Zincir takviye	Püskürtme beton (cm.)	Çelik hasır takviyeli püskürtme beton (cm.)	Beton tahkimat (cm.)	Çelik takviyeli beton tahkimat	Not
1-4	1000 -400	20- 100			<001	✓								
5-8	400 -100	12- 88			005	✓								
9	100 -40	8.5 -19	≥20		0.25	✓								
	100 -40	8.5 -19	<20		0.25		2.5 -3							
10	100 -40	14 -30	≥30		0.25		2 -3							
	100 -40	14 -30	<30		0.25		1.5 -2		✓					
11-12	100 -40	23 -72	≥30		0.25		2- 3							
	100 -40	23 -72	<30		0.25		1.5 -2		✓					
13	40 -10	5- 14	≥10	≥15	0.5	✓								I
	40 -10	5- 14	≥10	<15	0.5		1.5 -2							I
	40 -10	5- 14	<10	≥15	0.5		1.5 -2							I
	40 -10	5- 14	<10	<15	0.5		1.5 -2			2- 3				I
14	40 -10	15- 23	≥10		0.5		1.5 -2		✓					I, II
	40 -10	15- 23	<10		0.5		1.5 -2				5- 10			I, II
	40 -10	9- 15			0.5		1.5 -2		✓					I, III

Tablo-44'ün devamı

Destek Kategorisi	Q	Açıklık/ESR (m.)	RQD/Jn	Jr/Ja	P (yaklaşık) kg/cm ²	Lokal gerdirmesiz bulon	Gerdirmesiz bulon (m.)	Gedirmeli bulon (m.)	Zincir takviye	Püskürtme beton (cm.)	Çelik hasır takviyeli püskürtme beton (cm.)	Beton tahkimat (cm.)	Çelik takviyeli beton tahkimat	Not
15	40-10	15-40	>10		0.5			1.5-2	✓					I, II, IV
	40-10	15-40	≤10		0.5			1.5-2			5-10			I, II, IV
16	40-10	30-65	>15					1.5-2	✓					I, V, VI
	40-10	30-65	≤15					1.5-2			10-15			I, V, VI
17	10-4	3.5-9	>30		1.0	✓								I
	10-4	3.5-9	≥10 ≤30		1.0		1-1.5							I
	10-4	6-9	<10		1.0		1-1.5			2-3				I
	10-4	<6	<10		1.0					2-3				I
18	10-4	10-15	>5		1.0			1-1.5	✓					I, III
	10-4	7-10	>5		1.0		1-1.5		✓					I
	10-4	10-15	≤5		1.0			1-1.5		2-3				I, III
	10-4	7-10	≤5		1.0		1-1.5			2-3				I
19	10-4	20-29			1.0			1-2			10-15			I, II, IV
	10-4	12-20			1.0			1-1.5			5-10			I, II
20	10-4	35-52			1.0			1-2			20-25			I, V, VI

Tablo-44'ün devamı

Destek Kategorisi	Q	Açıklık/ESR (m.)	RQD/Jn	Jr/Ja	P (yaklaşık) kg/cm ²	Lokal gerdirmesiz bulon	Gerdirmesiz bulon (m.)	Gerdirmeli bulon (m.)	Zincir takviye	Püskürtme beton (cm.)	Çelik hasır takviyeli püskürtme beton (cm.)	Beton tahkimat (cm.)	Çelik takviyeli beton tahkimat	Not
20	10-4	24-35			1.0			1-2			10-20			I, II IV
21	4-1	2.1-6.5	≥125	≤0.75	1.5		1			2-3				I
	4-1	2.1-6.5	<125	≤0.75	1.5					2-3				I
	4-1	2.1-6.5		>0.75	1.5		1							I
22	4-1	4.5-11.5	>10	<30 >1	1.5		1		✓					I
	4-1	4.5-11.5	≤10	>1	1.5					2.5-7.5				I
	4-1	4.5-11.5	<30	≤1	1.5		1				25-50			I
	4-1	4.5-11.5	≥30		1.5		1							I
23	4-1	15-24			1.5			1-1.5			10-15			I, II IV, VII
	4-1	8-15			1.5			1-1.5			5-10			I
24	4-1	30-46			1.5			1-1.5			15-30			I, V IV
	4-1	18-30			1.5			1-1.5			10-15			I, II IV
25	1-0.4	1.5-4.2	>10	>0.5	2.25		1		✓					I
	1-0.4	1.5-4.2	≤10	>0.5	2.25		1				5			I
	1-0.4	1.5-4.2		≤0.5	2.25		1				5			I

Tablo-44'ün devamı

Destek Kategorisi	Q	Açıklık/ESR (m.)	RQD/Jn	Jr/Ja	P (yaklaşık) kg/cm ²	Lokal gerdirmesiz bulon	Gerdirmesiz bulon (m.)	Gerdirmeli bulon (m.)	Zincir takviye	Püskürtme beton (cm.)	Çelik hasır takviyeli püskürtme beton (cm.)	Beton tahkimat (cm.)	Çelik takviyeli beton tahkimat	Not
26	1-0.4	3.2-7.5			2.25			1			5			VIII X,XI
	1-0.4	3.2-7.5			2.25		1			2.5-5				I,IX
27	1-0.4	12-18			2.25			1			7.5-10			I,IX
	1-0.4	6-12			2.25		1				5-7.5			I,IX
	1-0.4	12-18			2.25			1				20-40		VIII X,XI
	1-0.4	6-12			2.25			1			10-20			VIII X,XI
28	1-0.4	30-38			2.25			1			30-40			I,IV V,IX
	1-0.4	20-30			2.25			1			20-30			I,II IV,IX
	1-0.4	15-20			2.25			1			15-20			I,II IX
	1-0.4	15-38			2.25			1					0.3-1m	IV,VIII X,XI
29	0.4-0.1	1-3.1	> 5	>Q25	3.0		1			2-3				-
	0.4-0.1	1-3.1	≤ 5	>Q25	3.0		1				5			-
	0.4-0.1	1-3.1		≤Q25	3.0			1			5			-
30	0.4-0.1	2.2-6	≥ 5		3.0			1			2.5-5			IX
	0.4-0.1	2.2-6	< 5		3.0						5-7.5			IX

Tablo-44'ün devamı

Destek Kategorisi	Q	Açıklık/ESR (m.)	RQD/Jn	Jr/Ja	P (yaklaşık) kg/cm ²	Lokal gerdirmesiz bulon	Gerdirmesiz bulon (m.)	Gerdirmeli bulon (m.)	Zincir takviye	Püskürtme beton (cm.)	Çelik hasır takviyeli püskürtme beton (cm.)	Beton tahkimat (cm.)	Çelik takviyeli beton tahkimat	Not
30	0.4-0.1	2.2-6			0.3			1			5-7.5			VIII X, XI
31	0.4-0.1	4-14.5	>4		0.3			1			5-12.5			IX
	0.4-0.1	4-14.5	≤4 ≥15		0.3						7.5-25			IX
	0.4-0.1	4-14.5	<1.5		0.3			1				20-40		IX, XI
	0.4-0.1	4-14.5			0.3			1					0.3-0.5m	VIII X, XI
32	0.4-0.1	20-34			0.3			1			40-60			II, IV IX, XI
	0.4-0.1	11-20			0.3			1			20-40			III, IV IX, XI
	0.4-0.1	11-34			0.3			1					0.4-1.2m	IV, VII X, XI
33	0.1-0.01	1-3.9	≥2		0.6			1			2.5-5			IX
	0.1-0.01	1-3.9	<2		0.6						5-10			IX
	0.1-0.01	1-3.9			0.6						7.5-15			VIII X
34	0.1-0.01	2-11	≥ 2	≥ 0.25	0.6			1			5-7.5			IX
	0.1-0.01	2-11		< 0.25	0.6						15-25			IX
	0.1-0.01	2-11			0.6			1					0.2-0.6m	VIII X, XI
35	0.1-0.01	15-28			0.6			1			30-100			II, IX XI

Tablo-44'ün devamı

Destek Kategorisi		Q	Açıklık/ESR (m.)	RQD/J _n	Jr/Ja	P (yaklaşık) kg/cm ²	Lokal gerdirmesiz bulon	Gerdirmesiz bulon (m.)	Gerdirmeli bulon (m.)	Zincir takviye	Püskürtme beton (cm.)	Çelik hasır takviyeli püskürtme beton (cm.)	Beton tahkimat (cm.)	Çelik takviyeli beton tahkimat	Not
35	0.1-0.01	15-28			0.6			1						0.6-2m	VIII, X XI, XII
	0.1-0.01	6.5-15			0.6			1				20-75			IX, XI III
	0.1-0.01	6.5-15			0.6			1						0.4-1.5m	VIII, X XI, XII
	0.1-0.01	6.5-15			0.6			1							VIII, X XI, XII
36	0.01-0.001	1-2			12							10-20			IX
	0.01-0.001	1-2			12			0.5-1				10-20			VIII X, XI
37	0.01-0.001	1-6.5			12							20-60			IX
	0.01-0.001	1-6.5			12			0.5-1				20-60			VIII X, XI
38	0.01-0.001	10-20			12									1-3m	IX
	0.01-0.001	10-20			12									1-3m	VIII, X IX, XI
	0.01-0.001	4-10			12							70-200			VIII X
	0.01-0.001	4-10			12							70-200			III, XI

DESTEKLEME TABLOLARI İÇİN EK NOTLAR

I- Kaya patlamaları veya kavlaklanma halinde genellikle genişletilmiş taşıma plakalı gerilmeli bulonlar yaklaşık 1m. aralıkla (bazen 0.8 m.) kullanılmaktadır. Nihai destekleme kavlaklanma sona erdiğinde yapılmalıdır.

II- Aynı kazıda çeşitli uzunlukta bulonlar kullanılır (3.5 ve 7 m.).

III- Aynı kazıda çeşitli uzunlukta bulonlar kullanılır (2.3 ve 4 m.).

IV- Bulon destek basıncını takviye için genellikle gerilmeli tel ankrajlar kullanılır. Tipik aralık 2-4 m.

V- Bazı kazılarda çeşitli uzunlukta bulonlar kullanılır (6.8 ve 10 m.).

VI- Bulon destek basıncını takviye için genellikle gerilmeli tel ankrajlar kullanılır. Tipik aralık 4-6 m.

VII- Bu kategorideki eski tip santrallerin kazılarında tel kafesli ve serbest açıklıklı beton kemer tavanlı (25-40 cm) sistematik veya noktasal bulonlama kalıcı destek olarak kullanılmıştır.

VIII- Şişen killerin, örneğin montmorillonitik killerin varlığı halinde (fazla su bulunan ortamda) fazla şişme halinde destek arkasına genişleme için yer bırakılır. Mümkün olduğu takdirde drenaj önlemleri alınır.

IX- Şişen veya sıkışan kayaçların olmaması halinde

X- Sıkışan kayaçların varlığı halinde kalıcı destek

olarak çok sağlam ve rijit destek kullanılır.

XI- Yazarın tecrübelerine göre, şişen veya sıkışan kayaçların varlığı halinde, beton (veya şatkrit) kemerlenmeden önce gerekli olan geçici destekleme eğer RQD/J_n yeterli derecede yüksekse (1.5) genleşen tip bulon ve şatkrit kullanarak sağlanabilir. Eğer kayaç fazla eklemlili ise ($RQD/J_n < 1.5$) örneğin kuvarsit içinde küp biçiminde bir maskalama zonunda geçici destek birkaç kat şatkritle sağlanabilir. Beton veya şatkritin tatbikinden sonra beton üzerinde düzensiz dağılabilecek yükü azaltmak için gerilmeli sistematik bulon bunada kullanılabilir. Ancak fazla miktarda kil mevcutsa veya $RQD/J_n < 1.5$ ise, gerilmeden önce bulonlar enjekte edilmedikçe bu yöntem etkili olmayabilir. Bu tip çok zayıf zeminlerde, bulonun yeterli bir kısmının ankrajı, çabuk katılaştıran reçineli ankrajlar kullanarak sağlanabilir. Fazla miktarda şişen veya sıkışan kayaçların varlığı halinde beton kemerlerin aynaya kadar uzatılması gerekebilir. Bu gibi hallerde, ayrıca çalışılan aynasında geçici desteklenmesi gerekir.

XII- Güvenlik nedeniyle, kazı ve tavan kemeri desteklemesi sırasında çoğunlukla ışınsal bulonlama yöntemi kullanılır. 16,20,24,28,32,35'inci kategoriler (sadece kazı eni/ESR >15 m.)

XIII- Fazla sıkışan kayaçlarda, kazı ve tavan duvar ve taban desteklemesi sırasında ışınsal bulonlama yöntemi gereklidir. Kategori 38 (Sadece kazı eni/ESR>10m.).

sürekli iksasız maksimum proje açıklığı ve kendi kendini tutma süresi, kavramlarına ayrıntılı olarak değinmiştir.

Destek basıncı bulunan Q değeri ile doğrudan ilişkilidir. Tavan ve duvar desteği basıncı olarak iki şekilde sunulmuştur.

$P_{\text{tavan}} = \text{Tavan desteği basıncı (kg/cm}^2\text{) olmak üzere}$

$$P_{\text{tavan}} = \frac{2.0}{J_r} \cdot Q^{-1/3}$$

şeklinde hesaplanır, ancak eklem takımı sayısı 3'ten azsa

$$P_{\text{tavan}} = \frac{2}{3} J_n^{1/2} J_r^{-1} Q^{-1/3}$$

olarak ilk formül geliştirilmiştir. Destek basıncı ile Q arasındaki ilişki Şekil-34'de daha iyi görülmektedir. Duvar desteği basıncı duvar destek önlemlerinde de olduğu gibi $Q > 10$ için $5 \cdot Q$, $0.1 < Q < 10$ için $2.5 \cdot Q$ ve $Q < 0.1$ için aynı Q değeri kullanılarak Şekil-34'dan değeri okunabilir.

Bulonlama için destek basıncı kapasitesinin, bulonun gerilme kapasitesinin bulon açıklığının karesine bölünmesine eşit olduğu belirtilmiş ve 20 mm. çaplı bir bulon için 10 tonluk aktif yük kabul edildiğinde bulonun destek basıncı kapasitesi (P);

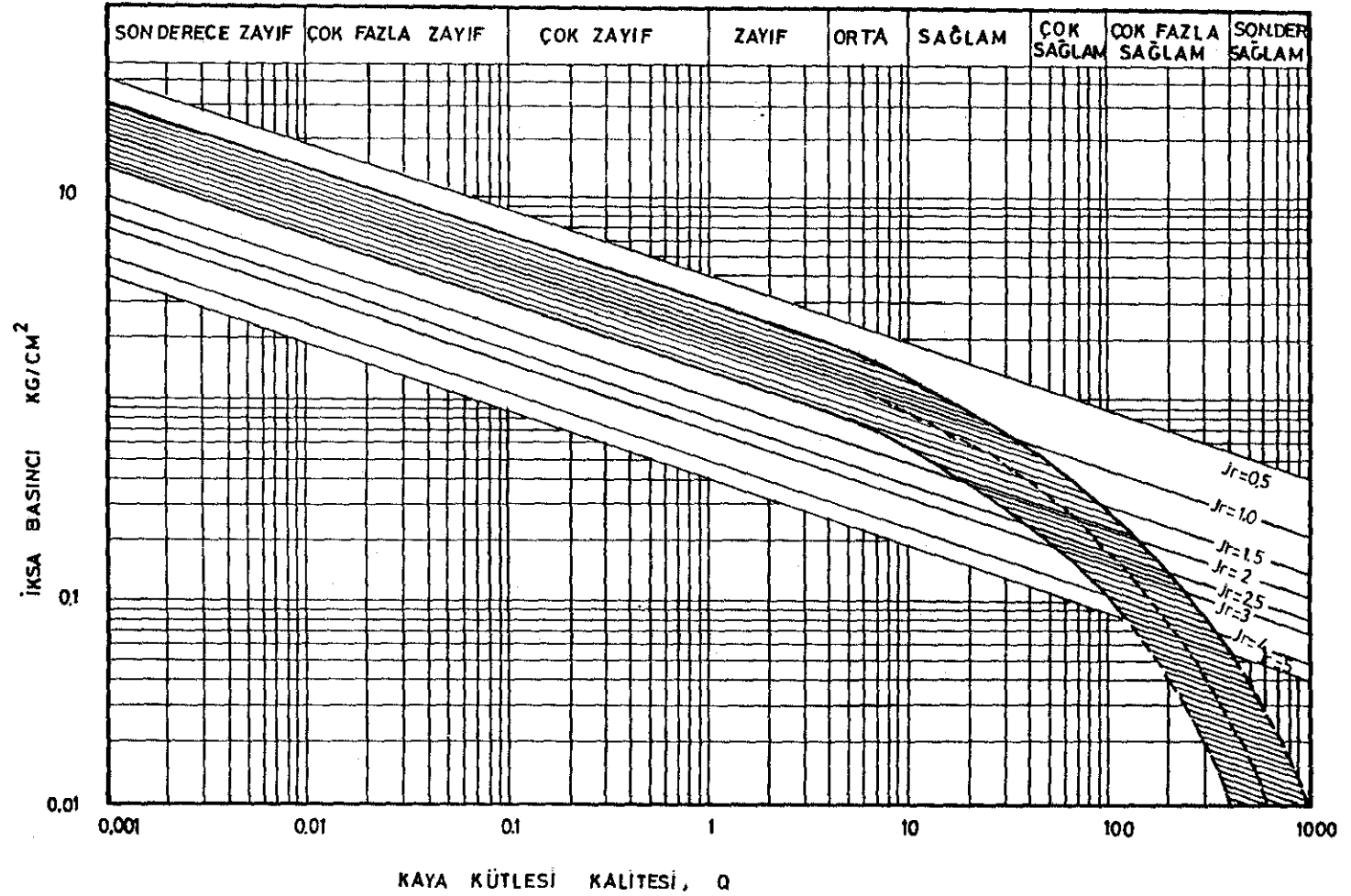
$$P = \frac{1}{a^2} \text{ dir.}$$

a= Bulon açıklığı

P= Destek basıncı kapasitesi (kg/cm²)

Bulon ve ankraj uzunlukları kazı boyutları ile ilgilidir. Tavanda kullanılanlar kazı enine, duvarda kullanılanlar ise kazı yüksekliğine bağlıdır.

$$\begin{aligned} \text{Tavan için } L &= 2 + 0.15 \text{ B/ESR} \\ L' &= 0.40 \text{ B/ESR} \end{aligned}$$



Şekil-34-Qsistemi, destek basıncı ile kaya kalitesi arasındaki ilişki.

Q-system-support pressure versus rock mass quality.

Duvarlar için $L = 2 + 0.15 H/ESR$

$L' = 0.35 H/ESR$

L = Bulon uzunluğu (m)

L' = Ankraj uzunluğu (m)

B = Kazı eni (m)

H = Kazı yüksekliği (m)

Beton kaplama sistematik bulonlama ile beraber uygulandığında, eşit dağılmayan yükler veya kesiti dairesel olmayan kaplama nedeniyle oluşan gerilmeler en aza indirilebilir. Fakat düzensiz dağılmış gerilmelerin etkisini azaltmak için beton içine çelik takviyede gereklidir. Beton kaplamanın kalınlığı aşağıdaki formülle verilmiştir;

$$t = \frac{P \cdot R}{b}$$

P = Dış basınç kg/cm^2)

b = Kaplama içindeki basınç gerilimi (kg/cm^2)

R = Kaplamanın iç yarıçapı (cm)

t = Denge hali için duvar kalınlığı

Bunlara ilaveten püskürtme beton tek veya çift kat olarak sistematik bulonlama ile beraber uygulandığında bulonlar arası zemin gevşemesini önler.

Lauffer (1958) tarafından ortaya atılan, sürekli iksasız maksimum açıklık ile, iksasız kendi kendini tutma süresi kavramları Barton, Lien ve Lunde tarafından 200'e yakın gözlem sonucunda yeniden düzenlenmiştir. Şekil-35'de iksasız açıklık ile Q arasındaki ilişki ESR değerine bağlı olarak verilmiştir. İksasız açıklık aynı zamanda,

$$\text{Açıklık} = 2 \cdot \text{ESR} \cdot Q^{0.4}$$

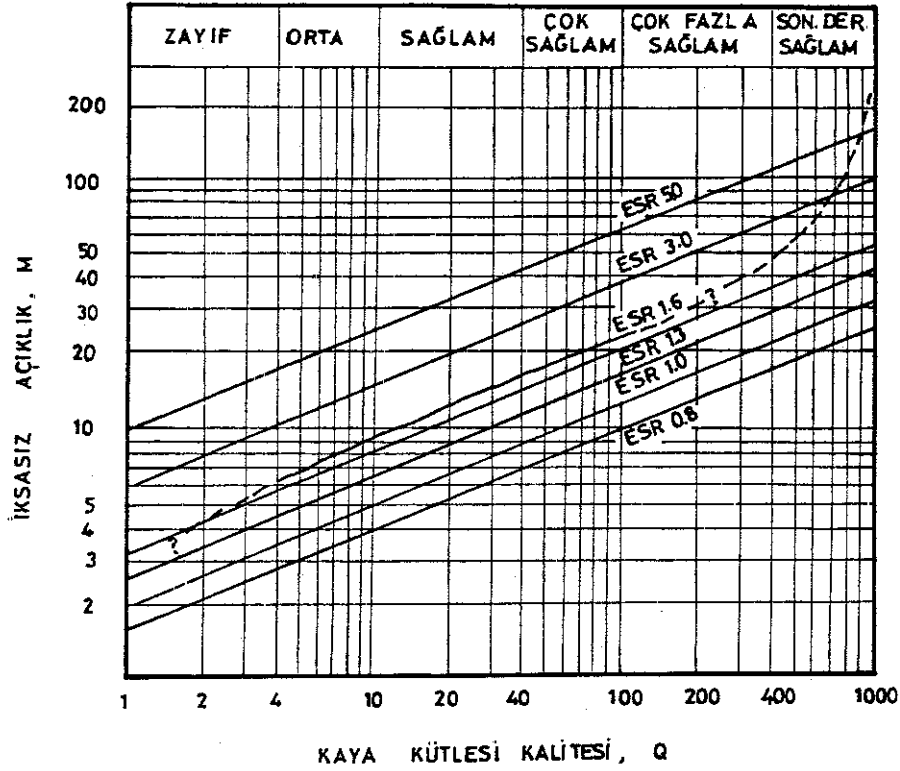
bağıntısıyla bulunabilir. Aynı bağıntıdan yararlanarak,

$$Q = \left(\frac{\text{Açıklık}}{2 \cdot \text{ESR}} \right)^{2.5}$$

bağıntısında geliştirilebilir.

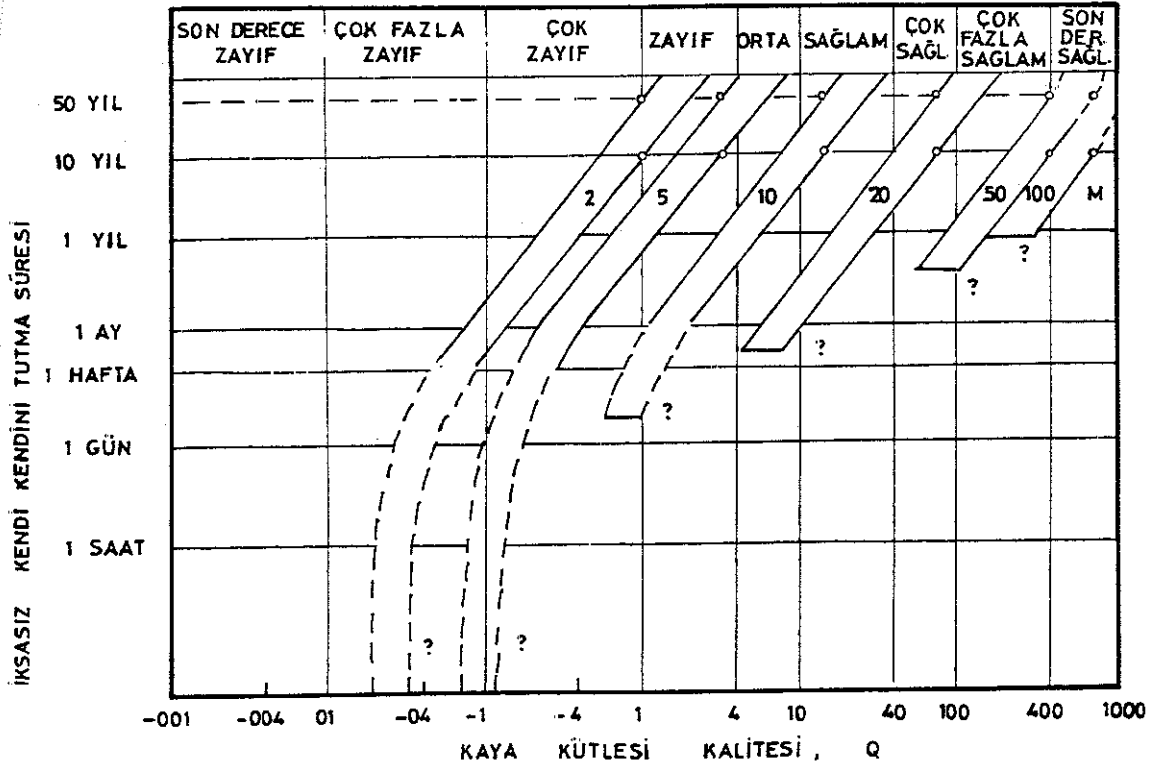
İksasız kendi kendini tutma

süresi ile Q arasındaki ilişkide Şekil-36'de verilmiştir.



Şekil-35-Q sistemi, iksasız açıklık ile kaya kalitesi arasındaki ilişki. (Barton vd. 1974).

Q-system-unsupported span versus rock mass quality.



Şekil-36-Q sistemi, iksasız kendi kendini tutma süresi ile kaya kalitesi arasındaki ilişki (Barton vd. 1974)

Q-System-stand-up time versus rock mass quality.

IV.3.2.4. RSR,RMR ve Q Sistemlerinin Karşılaştırılması

RSR, RMR ve Q sınıflama sistemlerini karşılaştırabilmek için öncelikle benzer parametrelerin incelenmesi gereklidir. Üç sistemin temelde ortak parametresi olan RQD, RMR ve Q sistemlerinde direkt olarak, RSR sisteminde kaya tipi içerisinde değerlendirilir. Eklemler RSR sisteminde sıklık ve ayrışma durumuna, RMR sisteminde sıklık ve genel özelliklerine göre, Q sisteminde ise pürüzlülüğü, alterasyon durumuna göre ayrıntılı olarak değerlendirilir. Q sisteminde eklemlerin ayrıntılı değerlendirilmesine karşın eklem sıklığı yer almaz. Eklemlerin yönelimlerinin tünel açma yönüne göre etkileri RSR ve RMR sistemlerinde ele alınır. RSR sisteminde ayrıca fay ve kıvrım durumları da incelenir. Süreksizlikleri ayrıntılı olarak inceleyen Q sisteminde eklemlerin yönelimine göre düzeltme bulunmaz. Yeraltısuyu durumu üç sistemde de yer alır. RSR sisteminde tek eksenli basınç direnci veya nokta yük direnci, Q sisteminde serbest basınç, çekme direnci ile büyük ve küçük asal gerilmeler kullanılır.

Üç sistemi iksa seçimi yönünden incelediğimizde en ayrıntılı yaklaşım Q sisteminde gözlenir. Q sisteminde B/ESR ve H/ESR faktörleri yardımıyla tavan ve duvar için ayrı iksa tipleri önerilir ve 38 iksa sınıfı vardır. RSR sisteminde, dairesel kesit için iksa önerilir ve çelik iksaya daha çok önem verilmiştir. RMR sisteminde 5-12 m. genişliğindeki tüneller için iksa önerilir ve bu sistemde 5 kaya kütlesi sınıfı için 4 iksa sınıfı bulunur.

Karşılaştırma yapılan üç sınıflama sisteminin birbirlerine göre üstün olan ve olmayan yönleri vardır. Q sisteminin, RSR ve RMR sistemine göre eklemleri ayrıntılı incelemesi olumlu, eklem yönelimini gözönünde bulundurmaması olumsuzdur. RSR sisteminin kaya tipi ve jeolojik yapı gibi parametreleri kullanması olumlu bir yaklaşımdır. İksa seçiminde Q sisteminin ayrıntılı yaklaşımı tavan ve duvar

için farklı iksa tipi önermesi çok önemlidir. RMR sisteminin önerdiği iksa tipi 5m. genişlikteki bir tünel için fazla olabilir. RSR sistemi ise çelik iksalı tüneller için daha kullanışlıdır.

Birbirlerinden benzer ve farklı yönleri olan bu üç sistemin hangisinin kullanılması gerektiğine kesin karar vermek zordur. Bunun yanı sıra bir tünelde tek sınıflama sistemi kullanma zorunluğu da yoktur. Bu incelemede RSR, RMR ve Q sınıflama sistemleri kullanılmış ve bulunan iksa önlemleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu yazar iksa önlemlerini tek tabloda toplamıştır.

Bieniawski (1976) Q ve RMR sınıflama sistemlerinin kullanıldığı 111 çalışmayı bir grafikte toplamış (Şekil-37) ve RMR ile Q arasında aşağıdaki eşitliğin bulunduğunu söylemiştir.

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

Ayrıca Rutledge (1978) üç sınıflama sistemi arasında aşağıdaki ilişkiden bahsetmiştir.

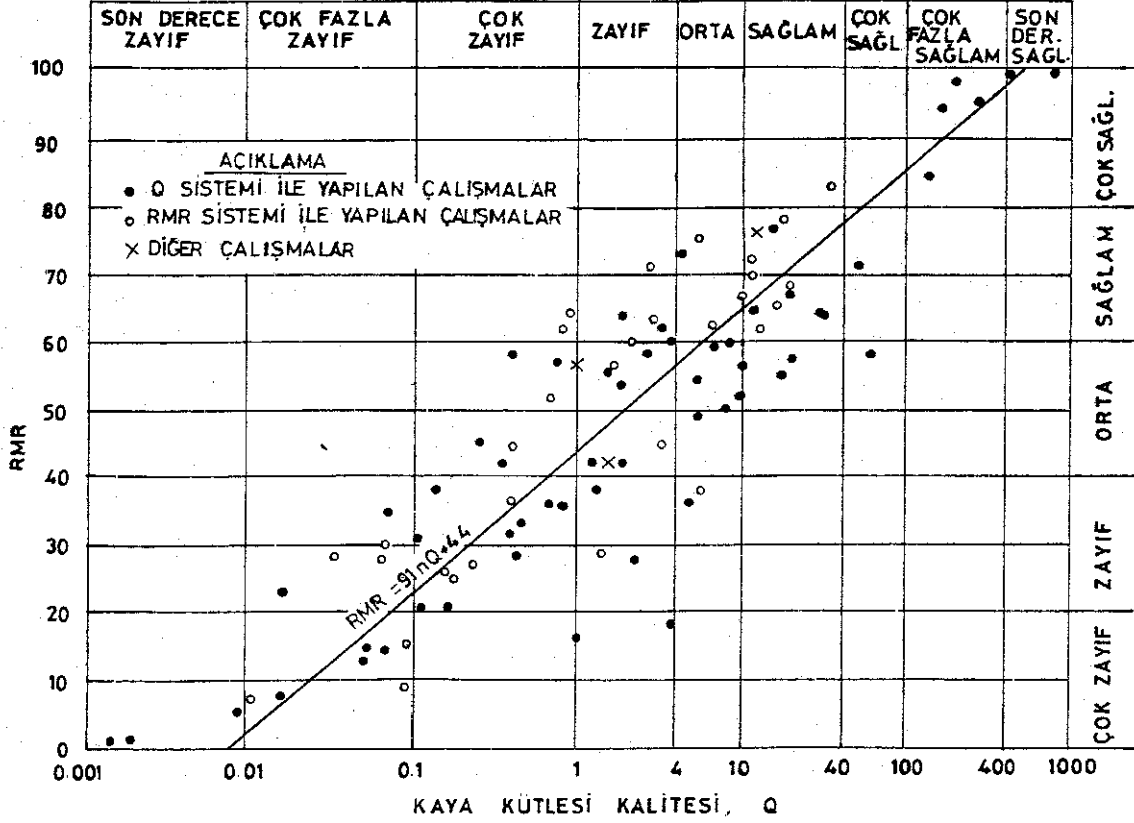
$$RMR = 13.5 \log Q + 43 \quad (\text{Standart sapma} = 9.4)$$

$$RSR = 0.77 RMR + 12.4 \quad (\text{Standart sapma} = 8.9)$$

$$RSR = 13.3 \log Q + 46.5 \quad (\text{Standart sapma} = 7.0)$$

IV.3.3. KOPDAĞI 1 KOPDAĞI 2 TUNEL GÜZERGAHLARINDA YAPILAN KAYA KÜTLESİ SINIFLAMALARI İÇİN VERİ TOPLAMA YÖNTEMİ

Tünel güzergahında yapılan jeoteknik çalışmalarla amaç kaya kütlelerini sınıflayarak iksa tipini belirlemektir. Çeşitli formasyonlardan geçen bir tünel güzergahının tamamı için aynı tip iksa önerilmez. İksa tipi; benzer litolojik ve yapısal özellik gösteren bölgeler için aynı seçilir. Bunun amaca, bir bölgedeki iksanın diğerine fazla veya az gelmesinin önlenmesidir. Ayrıca bölgelerin çok fazla ve iksanın



Şekil-37-RMR ve Q sistemleri ile yapılan çalışmaların karşılaştırılması (Bieniawski, 1976).

Correlation between Geomechanics Classification and Q-System.

çok sık değişmesinden de kaçınmak gerekir.

Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarında da jeolojik profilden yararlanarak benzer litolojik ve yapısal özellik gösteren "Yapısal Bölge"ler belirlenmiştir. Bunlar;

Litoloji	Yapısal Bölge	Km
Çamurtaşı-seyl	II1B	0.060-0.150
Çakıлтаşı	II1A	0.150-0.364
Fay zonu	III	0.364-0.380
Kireçtaşı-seyl	II2	0.380-1.480
Fay zonu	III	1.480-1.510
Ultramafit	II3	1.510-3.060

Kopdağı 1 Tünel Güzergahı

Litoloji	Yapısal Bölge	Km
Çamurtaşı-seyl	III1B	2.030-2.250
Çakıлтаşı	III1A	2.250-2.420
Kireçtaşı-seyl	II2	2.420-2.810
Fay zonu	III	2.810-2.814
Çamurtaşı-seyl	III1B	2.814-3.032
Çakıлтаşı	III1A	3.032-3.272
Kireçtaşı-seyl	II2	3.272-3.610
Fay zonu	III	3.610-3.630
Kireçtaşı-seyl	II2	3.630-4.540
Fay zonu	III	4.540-4.555
Ultramafit	II3	4.555-6.018

Kopdağı 2 Tünel Güzergahı

Bu yapısal bölgelerin herbirinde RSR, RMR ve Q sistemleri ile sınıflama yapabilmek için Şekil- 38, 39, 40'de verilen veri toplama formlarından yararlanılmıştır.

Tünel Güzergahı:
Formasyon :
Litoloji :
Yapısal Bölge :
Kilometre :

Hazırlayan:
Tarih :

Kayanın kökeni: Magmatik ☐ Metamorfik ☐ Sedimanter ☐

Sertlik: Sert ☐ Orta ☐ Yumuşak ☐ Ayrışmış ☐

Jeolojik yapı: Masif ☐ Az faylı veya kıvrımlı ☐
Orta faylı yada kıvrımlı ☐ Çok faylı yada kıvrımlı ☐

Eklem Durumu:

Sıkı yada çimentolu
Az ayrışmış
Çok ayrışmış yada açık

Eklem Takımı

1	2	3
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐

Eklem Sıklığı:

Çok sık eklemli <5 cm
Sık eklemli 5-13 cm
Orta eklemli 13-30 cm
Orta-Bloklu 30-60 cm
Bloklu-masif 60-120 cm
Masif >120 cm

Eklem Takımı

1	2	3
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐

Tünelin 1000 feet'inden gelen su akımı:..... gal/dak

Eklem Düzeltmesi:

E.tak1 E.tak2 E.tak3

Doğultu

Doğrultu tünel eksenine dik ☐

Doğrultu tünel eksenine paralel ☐

.....
E.tak.....
E.tak.....

Eğim Düzeltmesi

Eklem Takımı

Eğim 0-20°
20°-50°
50°-90°

1	2	3
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐

Eğim yönü

... ..

Tünel açma yönü: Eğim yönünde ☐ Eğim tersi yönünde ☐

Genel açıklamalar:

Şekil-38-RSR sistemi veri toplama formu

Classification input data worksheet RSR-system

Tünel Güzergahı :
Formasyon :
Litoloji :
Yapısal bölge :
Kilometre :

Hazırlayan :
Tarih :

Sağlam Kayanın Mukavemeti σ_c kg/cm ²		Sondaj Karotu Kalitesi RQD%
Çok yüksek	>2000	Pekiyi 90-100
Yüksek	1000-2000	İyi 75-90
Orta	500-1000	Orta 50-75
Düşük	250-500	Fena 25-50
Çok düşük	10-250	Çok fena <25
		Değişim aralığı

Eklem Sıklığı		Eklem takımı			Süreksizlik Duvarı
		1	2	3	
Çok geniş	>3m.	☐	☐	☐	Ayrışmamış ☐
Geniş	1-3m.	☐	☐	☐	Az ayrışmış ☐
Orta	30cm-1m.	☐	☐	☐	Orta ayrışmış ☐
Kapalı	5-30cm.	☐	☐	☐	Fazla ayrışmış ☐
Çok kapalı	<5cm.	☐	☐	☐	Tamamen ayrışmış ☐

Doğrultu Eğim Düzeltmesi

E.tak	Doğrultu	Eğim	Eğim yönü
1	 (.....-.....)		
2	 (.....-.....)		
3	 (.....-.....)		

Yeraltı suyu: Tünelin 10m.lik kısmından gelen su lt/dak;

Yok ☐ <25 ☐ 25-125 ☐ >125 ☐
Genel durum; Tamamen kuru Nemli Islak
Basıncılı su akışı; Az ☐ Orta ☐ Yüksek ☐

Eklemlerin Durumu		Eklem takımı			Eklem takımı				
		1	2	3			1	2	3
Devamlılık(m.)					Ayrılma(mm.)				
Çok düşük	<1	☐	☐	☐	Kapalı	<0.1	☐	☐	☐
Düşük	1-3	☐	☐	☐	Orta açık	0.1-2.5	☐	☐	☐
Orta	3-10	☐	☐	☐	Açık	2.5-10	☐	☐	☐
Yüksek	>10	☐	☐	☐					

Pürüzlülük		Eklem takımı			Dolgu		Eklem takımı		
		1	2	3			1	2	3
Çok pürüzlü		☐	☐	☐	Tipi		...	...	...
Pürüzlü		☐	☐	☐	Kalınlığı		...	...	...
Az pürüzlü		☐	☐	☐	Kıvamı		...	...	...
Düz		☐	☐	☐					
Sürtünme izli		☐	☐	☐					

Genel açıklamalar:

Şekil-39-RMR sistemi veri toplama formu

Classification input data worksheet RMR-system

Tünel Güzergahı:
Formasyon :
Litoloji :
Yapısal Bölge :
Kilometre :

Hazırlayan:
Tarih :

Sondaj Karot Kalitesi RQD %

Pekiyi 90-100 ☐
İyi 75-90 ☐
Orta 50-75 ☐
Fena 25-50 ☐
Çok fena 0-25 ☐
Değişim aralığı

Eklem Takımı

Masif eklem çok az yada hiç yok ☐
Eklem takımı sayısı
Gelişigüzel eklemler ☐
Çok sayıda eklemler ☐
Parçalanmış kaya ☐

Pürüzlülük

Pürüzlü yada düzensiz ☐
Düz ☐
Sürtünme izli ☐
Dalgalı ☐
Düzlemsel ☐
Süreksiz ☐
kaya duvar dokanağı ☐
Kaya duvar dokanağı yok ☐

Dolgu ve Alterasyon

Sıkıca bağlı eklem ☐
Altere olmamış, yüzeysel boyanma ☐
Hafifçe altere ☐
Silt veya kumlu kaplama ☐
Kil kaplama ☐
Kum veya parçalanmış kaya ☐
Sert kil <5mm. ☐ >5mm. ☐
Yumuşak kil <5mm. ☐ >5mm. ☐
Şişen kil <5mm. ☐ >5mm. ☐

Su Durumu

Kuru veya az akış ☐
Orta akış ☐
Dolgunsuz eklemden fazla akış ☐
Dolgunsuz yıkanması fazla akış ☐
Aşırı su gelişi zamanla azalma ☐
Aşırı su gelişi zamanla artma ☐
Yaklaşık su basıncı.....kg/cm²

Gerilme Durumu

Düşük gerilme yüzeye yakın
Orta gerilme $\sigma_c / \sigma_1 = 10-200$
Yüksek gerilme $\sigma_c / \sigma_1 = 5-10$
Kil dolgulu zayıflık zonu
Kesme zonu
Sıkışan kaya
Şişen kaya
Gerilme değerinin tanımlaması

$\sigma_{düşey} = \dots\dots\dots$ $\sigma_{yatay} = \dots\dots\dots$

Genel Özellikler:

$\sigma_c = \dots\dots$ $\sigma_t = \dots\dots$

Şekil-40- Q sistemi veri toplama formu.

Classification input data worksheet Q-system.

IV.4. KAYA KÜTLESİ SINIFLAMALARININ KOPDAĞI 1 ve KOPDAĞI 2 TÜNEL GÜZERGAHLARINA UYGULANMALARI

Kaya kütlesi sınıflamalarında önce sınıflama yapılan yer belirtilmiş, daha sonra sınıflama parametreleri tanımlanarak sınıflama değeri bulunmuştur. Sınıflama değerleri en iyi ve en kötü koşullar için tanımlanarak, her iki koşuldaki iksa önlemleri belirlenmiştir. Sınıflama yapılırken en genel koşullar gözönüne alınmıştır. Örneğin; eklem sıklığı 60-120 cm arasında olan bir yapısal bölgede çok azda olsa 60 cm altında veya 120 cm üstünde eklem sıklığı olan yerler bulunabilmektedir. Ancak bunlar yapısal bölgenin genel değerlendirilmesinde yanıltıcı sonuçlar doğurabileceğinden yazar tarafından kullanılmamıştır. Tünel açma yönü iki ağızdan başlayarak ortada kesişecek şekilde hesaplamalara katılmıştır.

RSR sisteminde, tünel çapı 30 ft'den büyük olduğu için düzeltme faktörü kullanılmamıştır, kaya bulonu hesaplamaları 1 inç çaplı bulon için yapılmıştır, kaya bulonu ve püskürtme beton kombinasyonlarının modern bir şekilde kullanıldığı günümüz teknolojisinde çelik iksa çok az kullanıldığından yazar tarafından önerilmemiştir.

Q sisteminde; ESR=1 seçilmiştir, bulon boyu tavan için 3.77 m. duvar için 3.57 m., ankraj boyu tavan için 4.72 m. duvar için 3.67 bulunmuştur.

Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları için RSR, RMR ve Q sistemlerine göre ayrı ayrı sınıflamalar yapılmış ve iksa önlemleri belirlenmiştir. Üç sistemle bulunan iksa önlemleri her iki tünel güzergahı için ayrı tablolarla karşılaştırılmıştır.

IV.4.1. KOPDAĞI 1 TÜNEL GÜZERGAHI

IV.4.1.1. RSR Sistemiyle Sınıflama

Yapısal Bölge: II B, Litoloji: Çamurtaşı-şeyl km:0.060-0.150

Sedimanter, yumuşak, az kıvrımlı A=15

Doğrultu eksene dik, açma eğimin tersi yönünde, eğim 40° ,
orta derece eklemli B=19

A+B=34, Su akımı az, eklem durumu orta C=15

$$RSR=15+19+15=49$$

$$\text{Kaya yükü: } W_r=2.05 \text{ kg/cm}^2$$

İksa: 47.2 cm aralıklı sistematik bulon, 10.9 cm kalınlığının-
da püskürtme beton

Yapısal Bölge: II A, Litoloji: Çakıltası, km:0.150-0.364

Sedimanter, orta sert, az kıvrımlı A=18

Doğrultu eksene dik, açma eğim ve eğim tersi yönünde, eğim
 70° - 85° , orta-bloklu B=36 en iyi koşullarda

B=28 en kötü koşullarda

A+B=54 su akımı az, eklem durumu iyi C=23

A+B=46 su akımı az, eklem durumu iyi C=23

$$RSR=18+36+23=77, \text{ En iyi koşullarda}$$

$$\text{Kaya yükü: } W_r=0.03 \text{ kg/cm}^2$$

$$RSR=18+46+23=69, \text{ En kötü koşullarda}$$

$$\text{Kaya yükü: } W_r=0.46 \text{ kg/cm}^2$$

İksa: En iyi koşullarda, 131.2 cm. aralıklı sistematik bulon,
2.7cm kalınlığında püskürtme beton

En kötü koşullarda, 69.3 cm. aralıklı sistematik bulon,

4.4cm. kalınlığında püskürtme beton

Yapısal Bölge: I 2, Litoloji: Kireçtaşı-şeyl, km:0.380-1.480

Sedimanter, orta sert, çok kıvrımlı A=7

Doğrultu eksene dik ve paralel, açma eğim ve tersi yönünde,
eğim 38° - 84°

Sık eklemli B=19 en iyi koşullarda

B=11 en kötü koşullarda

A+B=26 Su akımı az, eklem durumu iyi C=19

A+B=18 Su akımı az, eklem durumu iyi C=19

RSR= 7+19+19=45, En iyi koşullarda

Kaya yükü: $W_r=2.51 \text{ kg/cm}^2$

RSR= 7+11+19=37, En kötü koşullarda

Kaya yükü: $W_r= 3.68 \text{ kg/cm}^2$

İksa: En iyi koşullarda, 44.7 cm. aralıklı sistematik bulon
17.8cm. kalınlığında püskürtme
beton

En kötü koşullarda, 40.8 cm. aralıklı sistematik bulon
17.8 cm. kalınlığında püskürtme
beton

Yapısal Bölge: I3, Litoloji: Ultramafit, serpantin, km:1.510-3.060

Magmasal, yumuşak-orta sert, orta faylı A=13 en iyi koşullarda

A=12 en kötü koşullarda

Doğrultu eksene dik ve paralel, açma eğim ve tersi yönünde,
eğim 52° - 85°

Orta-sık eklemli B=28, en iyi koşullarda

B=11, en kötü koşullarda

A+B=41 su akımı az, eklem durumu orta C=15

A+B=23 su akımı az, eklem durumu orta C=15

RSR=13+28+15=56 En iyi koşullarda

Kaya yükü: $W_r=1.38 \text{ kg/cm}^2$

RSR=12+11+15=38 En kötü koşullarda

Kaya yükü: $W_r= 3.52 \text{ kg/cm}^2$

İksa: En iyi koşullarda, 52.2 cm. aralıklı sistematik bulon,

8.2 cm. kalınlığında püskürtme beton

En kötü koşullarda, 41.2 cm. aralıklı sistematik bulon,

17.2 cm. kalınlığında püskürtme beton

Yapısal Bölge: III, fay zonu, km:0.364-0.380, 1.480-1.510

Fay zonu için sınıflamadaki en kötü koşullar gözönüne
alınmıştır. A=6, B=10, C=6

RSR=6+10+6=22

Kaya yükü: $W_r=7.56 \text{ kg/cm}^2$

İksa: Kaya bulonu ve püskürtme beton bulunan RSR değerine göre bu sis-
temde uygulanamaz. Çok ağır çelik iksa gereklidir.

IV.4.1.2. RMR Sistemiyle Sınıflama

Yapısal Bölge: II B Litoloji: Çamurtaşı-şeyl km:0.060-0.150
Tek eksenli direnci 148 kg/cm² 2

RQD 85% 17

Eklem sıklığı 70 cm. 20

Eklem durumu Eklemli yumuşak duvar kayası
ayrım <1mm. 12

Yeraltı suyu <25 lt/dak 7

Eğim yönüne göre düzeltme -10

RMR=2+17+20+12+7-10= 48 Orta kaya (III)

İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçme olabilir.

Maksimum iksasız açıklık: 1.8 m.

İksa: -3-4 m. uzunluğunda, 1.5-2.0m. aralıklı sistematiik
bulon.

-Tavanda çelik hasır

-Tavanda 50-100 mm. yan duvarlarda 30 mm. püskürtme
beton

Yapısal Bölge: II A, Litoloji: Çakıltası, km:0.150-0.364

Tek eksenli basınç direnci 460 kg/cm² en iyi en kötü
4 4

RQD 85% 17 17

Eklem sıklığı 76 cm. 20 20

Eklem durumu Az kaba yüzler, eklemli sert duvar
kayası ayrım 1 mm. 20 20

Yeraltı suyu <25 lt/dak. 7 7

Eğim yönüne göre düzeltme 0 -5

RMR=4+17+20+20+7-0=68 iyi kaya (II), En iyi koşullarda

İksasız kendi kendini tutma süresi 2 ay

Maksimum iksasız açıklık: 2.5 m.

RMR=4+17+20+20+7-5=63 iyi kaya (II) En kötü koşullarda

İksasız kendi kendini tutma süresi 1 ay

Maksimum iksasız açıklık 2.4m.

İksa: -Tavanın 2-3m.sinde 2-2.5m. aralıklı yeryer bulon

-Tavanda çelik hasır

-Tavanda geçirmezlik için 50 mm. püskürtme beton

Yapısal Bölge: I2, Litoloji: Kireçtaşı-şeyl, km: 0.380-1.480

	en iyi	en kötü
Tek eksenli basınç direnci 554-282 kg/cm ²	7	4
RQD 60%	13	13
Eklem sıklığı 20 cm	10	10
Eklem durumu Az kaba yüzler, eklemli sert-yumuşak duvar kayası ayırım <1 mm.-2 mm	18	10
Yeraltı suyu <25 lt/dak	7	7
Eğim yönüne göre düzeltme	0	-12

RMR=7+13+10+18+7+0=55 orta kaya (III) En iyi koşullarda

İksasız kendi kendini tutma süresi: 6 gün

Maksimum iksasız açıklık: 2m.

RMR=4+13+10+10+7-12=32 Zayıf kaya (IV) En kötü koşullarda

İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani geçme olabilir.

Maksimum iksasız açıklık : 1.2m.

İksa: En iyi koşullarda ,

- 3-4m. uzunluğunda, 1.5-2.0m. aralıklı sistematiik bulon
 - Tavanda çelik hasır
 - Tavanda 50-100mm., yan duvarlarda 30 mm. püskürtme beton
- En kötü koşullarda,
- 4-5m. uzunluğunda 1-1.5m. aralıklı sistematiik bulon
 - Tavan ve duvarlarda çelik hasır
 - Tavanda 100-150 mm. yan duvarlarda 100 mm. püskürtme beton
 - Yer yer 1.5m. aralıklı hafif çelik traversler

Yapısal Bölge: I3, Litoloji: Ultramafit, serpantin, km: 1.510-3.060

	en iyi	en kötü
Tek eksenli basınç direnci 542-180 kg/cm ²	7	2
RQD 45%	8	8
Eklem sıklığı 50-20 cm.	20	10
Eklem durumu Düz yüzeyler, eklemli sert duvar kayası ayırım <1mm.-2.5mm.	18	10
Yeraltı suyu <25 lt/dak	7	7
Eğim yönüne göre düzeltme	0	-12

RMR=7+8+20+18+7-0=60 Orta kaya (III) En iyi koşullarda

İksasız kendi kendini tutma süresi 15 gün

Maksimum iksasız açıklık: 2.2m.

$RMR=2+8+10+10+7-12=25$ Zayıf kaya (IV) En kötü koşullarda
İksasız kendi kendini tutma süresi Ani göçme olabilir.
Maksimum iksasız açıklık: 1m.

İksa: En iyi koşullarda,

- 3-4m. uzunluğunda 1.5-2.0 m. aralıklı sistematiik bulon
- Tavanda çelik hasır
- Tavanda 50-100mm., yan duvarlarda 30 mm püskürtme beton

En kötü koşullarda,

- 4-5m. uzunluğunda, 1-1.5m. aralıklı sistematiik bulon
- Tavan ve duvarlarda çelik hasır
- Tavanda 100-150 mm. yan duvarlarda 100 mm. püskürtme beton
- Yeryer 1.5m. aralıklı hafif çelik traversler.

Yapısal Bölge: III, fay zonu, km: 0.364-0.380, 1.480-1.510	
Tek eksenli basınç direnci 30-100 kg/cm ²	1
RQD < 25 %	3
Eklem sıklığı < 50 mm.	5
Eklem durumu yumuşak fay kili sürekli açık eklemler	6
Yeraltısuyu < 25-125 lt/dak.	4
Eğim yönüne göre düzeltme	-10

$RMR=1+3+5+6+4-10=9$ Çok zayıf kaya (IV)

İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçmeler olabilir.
Maksimum iksasız açıklık: 0.60m.

- İksa: -5m. uzunluğunda, 1-1.5m. aralıklı sistematiik bulon.
- Tavan ve duvarlarda çelik hasır
 - Tavanda 150-200 mm., yan duvarlarda 150mm., aynada 50 mm. püskürtme beton
 - Çelik iksalı 0.75 m. aralıklı ağır traversler

IV.4.1.3. Q Sistemi ile Sınıflama

Yapısal Bölge: IIb, Litoloji: Çamurtaşı-şeyl, km: 0.060-0.150	
RQD 85 %	85
Jn 1 eklem takımı geliş güzel eklemler 3, giriş ağzı için JnX2 6.0	
Jr Pürüzlü, düzensiz	3.0

Ja siltli ve kumlu kil kaplamaları	3.0
Jw <5lt/dak.	1.0
SRF	10.0

$$Q = \frac{85}{6.0} \cdot \frac{3.0}{3.0} \cdot \frac{1.0}{10.0} = 1.4 \quad \text{Zayıf}$$

Tavan iksa sınıfı: 23

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.49 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $0.1 < Q < 10$ olduğundan $2.5Q = 3.5$

Duvar iksa sınıfı: 19

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.36 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 2.29 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 1-2 hafta

İksa: Tavan için, 3.77m. uzunluğunda, 1-1.5m. aralıklı gerdirmesiz sistematik bulon, 15-30 cm. kalınlığında çelik hasır takviyeli püskürtme beton.

Duvarlar için, 3.57m. uzunluğunda 1-1.5 m. aralıklı gerdirmeli sistematik bulon, 5-10cm. kalınlığında çelik hasır takviyeli püskürtme beton.

Yapısal Bölge:IIA, Litoloji:Çakıлтаşı, km:0.150-0.364

RQD	85%	85
Jn 2 eklem takımı, gelişi güzel eklemler		6
Jr pürüzlü, dalgalı		3
Ja sıkıca bağlı eklemler		0.75
Jw <5 lt/dak.		1.0
SRF		1.0

$$Q = \frac{85}{6} \cdot \frac{3}{0.75} \cdot \frac{1.0}{1.0} = 56.6 \quad \text{Çok sağlam}$$

Tavan iksa sınıfı: 9

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.14 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $Q > 10$ olduğundan $5Q = 283.0$

Duvar iksası: Gerekmez.

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.08 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 10.04 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 10 yıldan fazla

İksa: Tavan için, 3.77m. uzunluğunda 2.5-3m. aralıklı,
gerdirmesiz, sistematik bulon.
Duvar için, iksa gerekmez.

Yapısal Bölge: I2, Litoloji: Kireçtaşı-şeyl, km:0.380-1.480

RQD 60 %	60
Jn 3 eklem takımı, gelişigüzel eklemler	12
Jr Pürüzlü, düzensiz düzlemsel	1.5
Ja Sıkıca bağlı eklemler	0.75
Jw <5 lt/dak	1.0
SRF En iyi 0.5	En kötü 1.0

$$Q = \frac{6.0}{12} \cdot \frac{1.5}{0.75} \cdot \frac{1.0}{0.5} = 20 \text{ Sağlam En iyi koşullarda}$$

Tavan iksa sınıfı: 14

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.49 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $Q > 10$ olduğundan $5Q = 100$

Duvar iksası gerekmez.

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.29 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 6.6 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 15 yıl

$$Q = \frac{6.0}{12} \cdot \frac{1.5}{0.75} \cdot \frac{1.0}{1.0} = 10 \text{ orta En kötü koşullarda}$$

Tavan iksa sınıfı: 18

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.62 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $Q = 10$ olduğundan $Q3.75 = 37.5$

Duvar iksa sınıfı: 13

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.40 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 5.02 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 2 yıl

İksa: En iyi koşullarda,

Tavan için, 3.77m. uzunluğunda 1.5-2 m. aralıklı
gerdirmesiz sistematik bulon, zincir takviyeli.

Duvar iksası gerekmez.

En kötü koşullarda,

Tavan için, 3.77m. uzunluğunda 1-1.5 m. aralıklı
gerdirmesiz sistematik bulon, 2-3cm.püskürtme beton.

Duvar için, 3.57m. uzunluğunda 1.5-2m. aralıklı
gerdirmeli bulon, 2-3cm. püskürtme beton.

Yapısal Böge: I3, Litoloji: Ultramafit-serpantin, km1.510-3.60

RQD	45%	45
Jn En iyi: 2 eklem takımı gelişigüzel eklemler		6
En kötü: 3 eklem takımı gelişigüzel eklemler		12
Çıkış ağzı için 2.0XJn		24
Jr En iyi: Pürüzlü düzlemsel		1.5
En kötü: Düz, düzlemsel		1.0
Ja En iyi: Altere olmamış, sadece yüzeysel paslanma		1.0
En kötü: Az altere olmuş, düşük killi kaplamalar		3.0
Jw <5 lt/dak		1.0
SRF En iyi:		1.0
En kötü:		2.0

$$Q = \frac{45}{6} \cdot \frac{1.5}{1.0} \cdot \frac{1.0}{1.0} = 11.25 \text{ Sağlam En iyi koşullarda}$$

Tavan iksa sınıfı: 14

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.49 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $Q > 10$ olduğundan $5Q = 56.25$

Duvar iksa sınıfı: 9

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.29 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 5.27 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 6 yıl

$$Q = \frac{45}{12} \cdot \frac{1.0}{3.0} \cdot \frac{1.0}{2.0} = 0.63 \text{ Çok zayıf En kötü koşullarda}$$

Tavan iksa sınıfı: 27

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 2.33 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $0.1 < Q < 10$ olduğundan $2.5Q=1.58$

Duvar iksa sınıfı: 23

Duvar iksa basıncı: $P_{\text{duvar}} = 1.72 \text{ kg/cm}^2$

Maksimum iksasız açıklık: 1.66 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçme olabilir.

$$Q = \frac{45}{24} \cdot \frac{1.5}{1.0} \cdot \frac{1.0}{1.0} = 2.81 \text{ Zayıf çıkış ağız}$$

Tavan iksa sınıfı: 23

Tavan iksa basıncı: $P_{\text{tavan}} = 1.42 \text{ kg/cm}^2$

Duvar iksası: $0.1 < Q < 10$ olduğundan $2.5Q=7.02$ Orta

Duvar iksa sınıfı: 18

Duvar iksa basıncı: $P_{\text{duvar}} = 1.05 \text{ kg/cm}^2$

Maksimum iksasız açıklık: 3.02

İksasız kendi kendini tutma süresi: 2 yıl

İksa: En iyi koşullarda,

Tavan için, 3.77m. uzunluğunda, 1.5-2 m. aralıklı gerdirmesiz sistematiik bulon, zincir takviyeli.

Duvar için, 3.57m. uzunluğunda 2.5-3m. aralıklı gerdirmesiz bulon.

En kötü koşullarda,

Tavan için, 3.77m. uzunluğunda 1m. aralıklı genleşen tip gerdirmeli bulon ve 4.72m. uzunluğunda ankraj, 10-20cm kalınlığında çelik hasır takviyeli püskürtme beton

Duvar için, 3.57m. uzunluğunda 1-1.5m. aralıklı gerdirmesiz bulon, 5-10cm. kalınlığında çelik hasır takviyeli püskürtme beton.

Çıkış ağızında, Tavan için, 3.77m. uzunluğunda, 1-1.5 m. aralıklı gerdirmesiz bulon, 5-10cm. kalınlığında çelik hasır takviyeli püskürtme beton.

Duvar için, 3.57m. uzunluğunda 1-1.5m. aralıklı gerdirmesiz bulon 2-3cm. püskürtme beton.

Yapısal Bölge: III, Fay zonu, km:0.364-0.380, 1.480-1.510

Jn gelişigüzel çok sayıda eklemler	15
Jr Ezik, killi-çakıllı zon	1.0
Ja Kumlu killi zon	5.0
Jw Orta derecede su geliş	0.66
SRF	10

$$Q = \frac{25}{15} \cdot \frac{1.0}{5.0} \cdot \frac{0.66}{10} = 0.022 \text{ Çok fazla zayıf}$$

$Q < 0.1$ olduğundan tavan ve duvarlarda aynı Q değeri kullanılmıştır.

Tavan iksa sınıfı: 35

Duvar iksa sınıfı: 35

İksa basıncı: $P = 7.05 \text{ kg/cm}^2$

maksimum iksasız açıklık: 0.44 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçme olabilir.

İksa: Tavanda, 3.77m. duvarlarda 3.57 m. uzunluğunda 1m.

aralıklı gerdirmeli bulon ve tavanda 4.72m. duvarlarda 3.67m. uzunluğunda ankraj, 40-150 cm. kalınlığında çelik takviyeli beton kemer.

IV.4.2. KOPDAĞI 2 TÜNEL GÜZERGAHI

IV.4.2.1. RSR Sistemiyle Sınıflama

Yapısal Bölge: III B, Litoloji: Çamurtaşı-şeyl km:2.030-2.250, 2.814-3.032

Sedimanter, yumuşak, az kıvrımlı $A=15$

Doğrultu eksene dik ve paralel, açma eğim tersi yönünde, eğim 47° , orta derece eklemlerli $B=23$ en iyi koşullarda

$B=19$ en kötü koşullarda

$A+B=38$ su akımı az, eklem durumu orta $C=15$

$A+B=34$ su akımı az eklem durumu orta $C=15$

$RSR = 15+23+w5=53$, En iyi koşullarda

kaya yükü: $W_r = 1.65 \text{ kg/cm}^2$

$RSR = 15+19+15=49$, En kötü koşullarda

Kaya yükü: $W_r = 2.05 \text{ kg/cm}^2$

İksa: En iyi koşullarda, 81.2cm aralıklı sistematik bulon, 9.5cm.kalınlığında püskürtme beton.

En kötü koşullarda, 47.1cm aralıklı sistematiik bulon,
11.1cm. kalınlığında püskürtme
beton.

Yapısal Bölge: II1A, Litoloji:Çakıлтаşı, km:2.250-2.420,
3.032-3.272

Sedimanter, ortasert, az kıvrımlı A=18

Doğrultu eksene dik ve paralel, açma eğim ve eğim tersi yö-
nünde, eğim 23°-85°, orta-bloklı, orta derece eklemli

B=36 En iyi koşullarda

B=19 En kötü koşullarda

A+B=51 su akımı az eklem durumu iyi C=23 en iyi koşullarda

A+B=34 su akımı az eklem durumu iyi C=19 en kötü koşullarda

RSR=18+36+23=77 En iyi koşullarda

Kaya yükü: $W_r=0.03 \text{ kg/cm}^2$

RSR=18+19+19=56 En kötü koşullarda

Kaya yükü: $W_r=1.38 \text{ kg/cm}^2$

İksa: En iyi koşullarda, 131.2cm. aralıklı sistematiik bulon,
2.7cm. kalınlığında püskürtme beton.

En kötü koşullarda, 52.0cm. aralıklı sistematiik bulon,
8.3cm. kalınlığında püskürtme beton.

Yapısal Bölge:II2, litoloji:Kireçtaşı - şeyl, km:2.420-2.810
3.272-3.610, 3.630-4.540

Sedimanter, orta sert, çok kıvrımlı A=7

Doğrultu eksene dik ve paralel, açma eğim ve eğim tersi yö-
nünde, eğim 53°-87° sık eklemli B=19 En iyi koşullarda

B=11 En kötü koşullarda

A+B=26 su akımı az, eklem durumu orta C=15

A+B=18 su akımı az, eklem durumu orta C=15

RSR=7+19+15=41 En iyi koşullarda

Kaya yükü: $W_r=3.05 \text{ kg/cm}^2$

RSR=7+11+15=33 En kötü koşullarda

Kaya yükü: $W_r=4.14 \text{ kg/cm}^2$

İksa: En iyi koşullarda, 42.6 cm. aralıklı sistematiik bulon,
15.3 cm. kalınlığında püskürtme
beton.

En kötü koşullarda, 38.8cm. aralıklı sistematik bulon,
21.0cm.kalınlığında püskürtme
beton.

Yapısal Bölge:II3, Litoloji: Ultramafit-serpantin, km:4.555-6.018

Magmasal, yumuşak-orta sert, orta faylı

A=13 En iyi koşullarda

A=12 En kötü koşullarda

Doğrultu eksene dik ve paralel, açma eğim ve tersi yönünde
eğim 52° - 85° orta-sık eklemli B=28 en iyi koşullarda

B=11 en kötü koşullarda

A+B=41 su akımı az, eklem durumu orta C=15

A+B=23 su akımı az, eklem durumu orta C=15

RSR=13+28+15=56 En iyi koşullarda

Kaya yükü: $W_r=1.38 \text{ kg/cm}^2$

RSR=12+11+15=38 En kötü koşullarda

Kaya yükü: $W_r=3.52 \text{ kg/cm}^2$

İksa: En iyi koşullarda, 52.2 cm. aralıklı sistematik bulon,
8.2 cm. kalınlığında püskürtme
beton.

En kötü koşullarda,41.2 cm. aralıklı sistematik bulon,
17.2 cm. kalınlığında püskürtme
beton.

Yapısal Bölge: III, fay zonu, km:2.810-2.814, 3.610-3.630,
4.540-4.555

Fay zonu için sınıflamadaki en kötü koşullar gözönüne alın-
mıştır. A=6 B=10 C=6

RSR=6+10+6=22

Kaya yükü: $W_r=7.56 \text{ kg/cm}^2$

İksa: Kaya bulonu ve püskürtme beton, bulunan RSR değerine
göre, bu sistemde uygulanamaz. Çok ağır çelik iksa
gereklidir.

IV.4.2.2. RMR Sistemiyle Sınıflama

Yapısal Bölge: IIIB, Litoloji:Çamurtaşı-şeyl, km:2.030-2.250,
2.814-3.032

	en iyi	en kötü
Tek eksenli basınç direnci 148 kg/cm^2	2	2
RQD 85 %	17	17
Eklem sıklığı 70 cm	20	20
Eklem durumu Eklem yumuşak duvar kayası, ayrım $< 1 \text{ mm}$.	12	12
Yeraltısuyu $< 25 \text{ lt/dak}$.	7	7
Eğim yönüne göre düzeltme	-5	-12

$\text{RMR} = 2 + 17 + 20 + 12 + 7 - 5 = 53$ Orta kaya (III) En iyi koşullarda
İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçme olabilir.

Maksimum iksasız açıklık: 2.3 m.

$\text{RMR} = 2 + 17 + 20 + 12 + 7 - 12 = 46$ Orta kaya (III) En kötü koşullarda
İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçme olabilir.

Maksimum iksasız açıklık: 1.9 m.

İksa: -3-4m. uzunluğunda, 1.5-2.0m. aralıklı sistematiik
bulon.

-Tavanda çelik hasır

-Tavanda 50-100mm. yan duvarlarda 30 mm. püskürtme
beton

Yapısal Bölge: IIIA, litoloji: Çakıltaşı, km: 2.250-2.420,
3.032-3.272

	en iyi	en kötü
Tek eksenli basınç direnci 460 kg/cm^2	4	4
RQD 85 %	17	17
Eklem sıklığı 76-25 cm.	20	10
Eklem durumu Az kaba yüzler, eklemli sert duvar kayası ayrım $< 1 \text{ mm}$	20	20
Yeraltısuyu $< 25 \text{ lt/dak}$.	7	7
Eğim yönüne göre düzeltme	0	-5

$\text{RMR} = 4 + 17 + 20 + 20 + 7 - 0 = 68$ İyi kaya (II) En iyi koşullarda
İksasız kendi kendini tutma süresi: 2 ay

Maksimum iksasız açıklık: 2.6m.

$\text{RMR} = 4 + 17 + 10 + 20 + 7 - 5 = 53$ Orta kaya (III) En kötü koşullarda
İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçmeler olabilir.

Maksimum iksasız açıklık: 2.3m.

İksa: En iyi koşullarda,

-Tavanın 2-3m. sinde, 2-2.5m. aralıklı yeryer bulon

-Tavanda çelik hasır

-Tavanda geçirmezlik için 50mm. püskürtme beton.

En kötü koşullarda,

-3-4m. uzunluğunda, 1.5-2.0m. aralıklı sistematik bulon.

-Tavanda çelik hasır

-Tavanda 50-100mm., yan duvarlarda 30mm.püskürtme beton

Yapısal Bölge: II2, Litoloji:Kireçtaşı-şeyl, km:2.420-2.810, 3.272-3.610, 3.630-4.540

Tek eksenli basınç direnci 282 kg/cm^2	en iyi 4	en kötü 4
RQD 60 %	13	13
Eklem sıklığı 35-20cm.	20	10
Eklemelerin durumu Az kaba yüzler,eklemli sert yumuşak duvar kayası, ayırım 1mm-2mm.	18	10
Yeraltısuyu <25 lt/dak.	7	7
Eğim yönüne göre düzeltme	0	-12

$RMR=4+13+20+18+7-0=62$ İyi kaya (II) En iyi koşullarda

İksasız kendi kendini tutma süresi: 25 gün

Maksimum iksasız açıklık:2.4m.

$RMR=4+13+10+10+7-12=32$ Zayıf kaya (IV) En kötü koşullarda

İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçme olabilir.

Maksimum iksasız açıklık: 1.2 m.

İksa: En iyi koşullarda,

-Tavanın 2-3m.sinde, 2-2.5m. aralıklı yeryer bulon

-Tavanda çelik hasır

-Tavanda geçirmezlik için 50mm. püskürtme beton

En kötü koşullarda,

-4-5m. uzunluğunda, 1-1.5m. aralıklı sistematik bulon

-Tavan ve duvarlarda çelik hasır

-Tavanda 100-150mm., yan duvarlarda 100mm. püskürtme beton

-Yeryer 1.5m. aralıklı hafif çelik traversler

Yapısal Bölge:II3, Litoloji:Ultramafit-serpantin, km:4.555-6.018

	en iyi	en kötü
Tek eksenli basınç direnci 542-180 kg/cm ²	7	2
RQD 45 %	8	8
Eklem sıklığı 50-20 cm.	20	10
Eklem durumu Düz yüzeyler, eklemli sert duvar kayası ayırım <1mm.-2.5mm.	18	10
Yeraltısuyu <25 lt/dak.	7	7
Eğim yönüne göre düzeltme	0	-12

RMR=7+8+20+18+7-0=60 Orta kaya (III) En iyi koşullarda
İksasız kendi kendini tutma süresi: 15 gün
Maksimum iksasız açıklık: 2.2m.

RMR=7+8+10+10+7-12=25 Zayıf kaya (IV) En kötü koşullarda
İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçme olabilir.
Maksimum iksasız açıklık: 1m.

İksa: En iyi koşullarda,

-3-4m. uzunluğunda 1.5-2.0m. aralıklı sistematiik bulon.

-Tavanda çelik hasır

-Tavanda 50-100 mm., yan duvarlarda 30mm. püskürtme beton

En kötü koşullarda,

-4-5m. uzunluğunda, 1-1.5m. aralıklı sistematiik bulon

-Tavan ve duvarlarda çelik hasır

-Tavanda 100-150mm., yan duvarlarda 100 mm. püskürtme beton

-Yer yer 1.5m. aralıklı hafif çelik traversler

Yapısal Bölge: III, fay zonu, km: 2.810-2.814, 3.610-3.630, 4.540-4.555

Tek eksenli basınç direnci 30-100 kg/cm ²	1
RQD <25 %	3
Eklem sıklığı <50mm.	5
Eklem durumu Yumuşak fay kili, sürekli açığa çıkma	6
Yeraltısuyu 25-125 lt/dak.	4
Eğim yönüne göre düzeltme	-10

RMR=1+3+5+6+4-10=9 Çok zayıf kaya (V)

İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçmeler olabilir.

Maksimum iksasız açıklık: 0.60 m.

- İksa: -5m. uzunluğunda, 1-1.5m. aralıklı sistematik bulon.
-Tavan ve duvarlarda çelik hasır.
-Tavanda 150-200 mm., yan duvarlarda 150 mm., aynada 50mm. püskürtme beton.
-Çelik iksalı, 0.75m. aralıklı ağır traversler.

IV.4.2.3. Q Sistemiyle Sınıflama

Yapısal Bölge:IIIb, Litoloji:Çamurtaşı-şeyl,km:2.030-2.250,
2.814-3.032

RQD	85 %	85
Jn 1 eklem takımı gelişigüzel eklemler		3.0
Jr Pürüzlü, düzensiz		3.0
Ja Siltli ve kumlu, kil kaplamaları		3.0
Jw <5 lt/dak.		1.0
SRF		10.0

$$Q = \frac{85}{3.0} \cdot \frac{3.0}{3.0} \cdot \frac{1.0}{10.0} = 2.8 \text{ Zayıf}$$

Tavan iksa sınıfı:23

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.27 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $0.1 < Q < 10$ olduğundan $2.5Q = 7$ Orta

Duvar iksa sınıfı: 18

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.20 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 3.02 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 1-2 hafta

İksa: Tavan için, 3.77m. uzunluğunda, 1-1.5m. aralıklı gerdirmesiz sistematik bulon, 5-10cm. kalınlığında çelik hasır takviyeli püskürtme beton.

Duvar için, 3.57 m. uzunluğunda 1-1.5m. aralıklı, gerdirmesiz sistematik bulon, zincir takviyeli.

Yapısal Bölge:IIIa, Litoloji:Çakıлтаşı, km:2.250-2.420,
3.032-3.272

RQD 85 %

85

Jn en iyi: 2 eklem takımı gelişigüzel eklemler	6
en kötü: 3 eklem takımı gelişigüzel eklemler	12
Jr Pürüzlü, dalgalı	3.0
Ja Sıkıca bağlı eklemler	0.75
Jw < 5 lt/dak	1.0
SRF	1.0

$$Q = \frac{85}{6} \cdot \frac{3}{0.75} \cdot \frac{1.0}{1.0} = 56.6 \text{ Çok sağlam En iyi koşullarda}$$

Tavan iksa sınıfı: 9

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.14 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $Q > 10$ olduğundan $5Q = 283.0$

Duvar iksası: Gerekmez.

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.08 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 10.04 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 10 yıldan fazla

$$Q = \frac{85}{12} \cdot \frac{3}{0.75} \cdot \frac{1.0}{1.0} = 28.3 \text{ Sağlam En kötü}$$

Tavan iksa sınıfı: 14

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.22 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $Q > 10$ olduğundan $5Q = 141.5$

Duvar iksası: Gerekmez.

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.13 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 7.62 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 10 yıldan fazla

İksa: En iyi koşullarda,

Tavan için, 3.77m. uzunluğunda, 2.5-3m. aralıklı,
gerdirmesiz sistematik bulon.

Duvar için, iksa gerekmez.

En kötü koşullarda,

Tavan için, 3.77m. uzunluğunda, 1.5-2m. aralıklı,
gerdirmesiz sistematik bulon, zincir takviyeli

Duvar için iksa gerekmez.

Yapısal Bölge: II2, Litoloji: Kireçtaşı-şeyl, km: 2.420-2.810,
3.272-3.610, 3.630-4.540

RQD 60 %	60
Jn en iyi 3 eklem takımı gelişigüzel eklemler	12
en kötü 4 eklem takımı gelişigüzel eklemler	15
Jr Pürüzlü, düzensiz, düzlemsel	1.5
Ja Sıkıca bağlı eklemler	0.75
Jw <5 lt/dak	1.0
SRF En iyi	0.5
En kötü	1.0

$$Q = \frac{60}{12} \cdot \frac{1.5}{0.75} \cdot \frac{1.0}{0.5} = 20 \text{ Sağlam En iyi koşullarda}$$

Tavan iksa sınıfı: 14

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.49 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $Q > 10$ olduğundan $5Q = 100$

Duvar iksası gerekmez.

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.29 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 6.6 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 15 yıl

$$Q = \frac{60}{15} \cdot \frac{1.5}{0.75} \cdot \frac{1.0}{1.0} = 8.0 \text{ Orta En kötü koşullarda}$$

Tavan iksa sınıfı: 18

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.67 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $0.1 < Q < 10$ olduğundan $2.5Q = 20$

Duvar iksa sınıfı: 13

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.49 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 4.60 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 1-2 yıl

İksa: En iyi koşullarda,

Tavan için, 3.77m. uzunluğunda 1.5-2.0m. aralıklı,
gerdirmesiz sistematik bulon, zincir takviyeli
duvar için, iksa gerekmez.

En kötü koşullarda,

Tavan için, 3.77m. uzunluğunda 1-1.5m. aralıklı

gerdirmesiz sistematik bulon, 2-3m. kalınlığında
püskürtme beton

Duvar için, 3.57m. uzunluğunda, gerdirmesiz lokal
bulonlama, 2-3cm. kalınlığında püskürtme beton.

Yapısal Bölge: II3, Litoloji: Ultramafit-serpantin, km 4.555-6.018

RQD 45 %	45
Jn en iyi 2 eklem takımı gelişigüzel eklemler	6
en kötü 3 eklem takımı gelişigüzel eklemler	12
Çıkış ağzı için 2.0 x Jn	24
Jr en iyi: pürüzlü, düzlemsel	1.5
en kötü: düz, düzlemsel	1.0
Ja en iyi: altere olmamış, sadece yüzeysel paslanma	1.0
en kötü: az altere olmuş, düşük kil kaplamalar	3.0
Jw <5 lt/dak	1.0
SRF en iyi	1.0
en kötü	2.0

$$Q = \frac{45}{6} \cdot \frac{1.5}{1.0} \cdot \frac{1.0}{1.0} = 11.25 \text{ Sağlam En iyi koşullarda}$$

Tavan iksa sınıfı: 14

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 0.49 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $Q > 10$ olduğundan $5Q = 56.25$

Duvar iksa sınıfı: 9

$$\text{Duvar iksa basıncı: } P_{\text{duvar}} = 0.29 \text{ kg/cm}^2$$

Maksimum iksasız açıklık: 5.27 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 6 yıl

$$Q = \frac{45}{12} \cdot \frac{1.0}{3.0} \cdot \frac{1.0}{2.0} = 0.63 \text{ Çok zayıf en kötü koşullarda}$$

Tavan iksa sınıfı: 27

$$\text{Tavan iksa basıncı: } P_{\text{tavan}} = 2.33 \text{ kg/cm}^2$$

Duvar iksası: $0.1 < Q < 10$ olduğundan $2.5Q = 1.58$

Duvar iksa sınıfı: 23

Duvar iksa basıncı: $P_{\text{duvar}} = 1.72 \text{ kg/cm}^2$

Maksimum iksasız açıklık: 1.66m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçme olabilir.

$$Q = \frac{45}{24} \cdot \frac{1.5}{1.0} \cdot \frac{1.0}{1.0} = 2.81 \text{ Zayıf Çıkış ağzı}$$

Tavan iksa sınıfı: 23

Tavan iksa basıncı: $P_{\text{tavan}} = 1.42 \text{ kg/cm}^2$

Duvar iksası: $0.1 < Q < 10$ olduğundan $2.5Q = 7.02$

Duvar iksa sınıfı: 18

Duvar iksa basıncı: $P_{\text{duvar}} = 1.05 \text{ kg/cm}^2$

Maksimum iksasız açıklık: 4.36 m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: 2 yıl

İksa: En iyi koşullarda,

Tavan için, 3.77m. uzunluğunda, 1.5-2m. aralıklı, gerdirmesiz sistematiik bulon, zincir takviyeli

Duvar için, 3.57m. uzunluğunda, 2.5-3m. aralıklı, gerdirmesiz bulon.

En kötü koşullarda,

Tavan için, 3.77m. uzunluğunda 1m. aralıklı genleşen tip gerdirmeli bulon ve 4.72m. uzunluğunda ankraj 10-20 cm kalınlığında çelik hasır takviyeli püskürtme beton.

Çıkış ağzında, Tavan için, 3.77m. uzunluğundan, 1-1.5m. aralıklı gerdirmesiz bulon, 5-10 cm. kalınlığında çelik hasır takviyeli püskürtme beton

Duvar için, 3.57 cm. uzunluğunda, 1-1.5m. aralıklı gerdirmesiz bulon 2-3 cm. püskürtme beton.

Yapısal Bölge: III, Fay zonu, km:2.810-2.814, 3.610-3.630, 4.540-4.555

RQD 25%	25
Jn gelişigüzel çok sayıda eklemler	15
Jr ezikli, killi-çakıllı zon	1.0
Ja kumlu, killi zon	5.0
Jw orta derecede su geliş	0.66

SRF

10

$$Q = \frac{25}{15} \cdot \frac{1.0}{5.0} \cdot \frac{0.66}{10} = 0.022 \text{ Çok fazla zayıf}$$

$Q < 0.1$ olduğundan tavan ve duvarlarda aynı Q değeri kullanılmıştır.

Tavan iksa sınıfı: 35

Duvar iksa sınıfı: 35

İksa basıncı: $P = 9.09 \text{ kg/cm}^2$

Maksimum iksasız açıklık: 0.44m.

İksasız kendi kendini tutma süresi: Ani göçme olabilir.

İksa: Tavanda, 3.77m. duvarlarda 3.57m. uzunluğunda 1m. aralıklı gerdirmeli bulon ve tavanda 4.72m. duvarlarda 3.67m. uzunluğunda ankraj, 40-150cm. kalınlığında çelik takviyeli beton kemer.

IV.4.3. RSR, RMR ve Q SINIFLAMA SİSTEMLERİ İLE BULUNAN İKSA ÖNLEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde RSR, RMR ve Q sistemleri ile bulunan iksa önlemleri Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları için iki ayrı tablo halinde karşılaştırılmıştır (Tablo-45-46).

Tablolar incelendiğinde Q sisteminin, iksa seçimine ne kadar ayrıntılı bir yaklaşımda bulunduğu görülür. RMR ve Q sistemleri ile bulunan iksa yaklaşık benzerlik sunar. Ancak RMR sisteminin iksa seçimine çok genel bir yaklaşımda bulunduğu gözlenmiştir. Örneğin; I1B, I2, I3 yapısal bölge-leri sırasıyla 48, 55 ve 60 gibi farklı RMR değerlerine sahip olmalarına rağmen Orta Kaya sınıfına girdikleri için aynı tip iksa seçilmektedir. RSR sisteminin ise iksa seçiminde yetersiz kaldığı gözlenmiştir.

Yazar bu üç sınıflama sistemi yardımı ile bulunan iksa önlemlerinin jeolojik ve jeoteknik koşullarda gözönünde bulundurulurken birleştirilmesi sonucuna varmıştır. Üç sınıflama sistemiyle bulunan iksa önlemleri her yapısal bölge için birleştirilerek Tablo-47,48'de sunulmuştur.

Tablo-45--RSR,RMR ve Q sistemleri ile bulunan iksa önlemlerinin karşılaştırılması (Kopdağıl tüneltüz.)
Comparison of Rock Mass Classification system with RSR, RMR and Q system (Kopdağıl tunnel line)

Yapısal Bölge	RSR	RMR	Q
IIB	Kaya yükü 2.05 kg/cm ² 0.47 m.aralıklı sist.bul. 10.9cm püskürtme beton	3-4m.uzunluğunda,1.5-2m. aralıklı sist. bul.,tavanda çelik hasır takviyeli 5-10cm.,duvarlarda 3cm.püskürtme beton	Kaya yükü 0.49 kg/cm ² tavanda 3.77m.,gerdirmesiz, duvarlarda 3.57m.uzunluğunda gerdirmeli 1-1.5m. aralıklı sist.bul., tavanda 15-30cm.duvarlarda 5-30cm.çelik hasır takviyeli püskürtme beton
IIA	*Kaya yükü 0.03kg/cm ² 1.31m. aralıklı sist.bul. 2.7cm. püskürtme beton **Kaya yükü 0.46 kg/cm ² 0.69m. aralıklı sist.bul. 4.4cm.püskürtme beton	Tavanın 2-3m.sinde 2-2.5m. aralıklı bul.,tavanda 5cm.püskürtme beton ve çelik hasır	Kaya yükü 0.14kg/cm ² tavanda 3.77m.,uzunluğunda 2.5-3m. aralıklı gerdirmesiz, sist. bul.
I2	*Kaya yükü 2.51 kg/cm ² 0.41 m.aralıklı sist.bul. 13.1 cm.püskürtme beton	*3-4m.uzunluğunda,1.5-2m.aralıklı sist. bul.,tavanda çelik hasır takviyeli 5-10cm.,duvarlarda 3cm.püskürtme beton	*Kaya yükü 0.49 kg/cm ² tavanda 3.77 m. uzunluğunda 1.5-2m. aralıklı zincir takviyeli gerdirmesiz sist. bul.
	**Kaya yükü 3.68 kg/cm ² 0.41m. aralıklı sist.bul. 17.8cm. püskürtme beton	**4-5m.uzunluğunda,1-1.5m.aralıklı sist.bul.tavanda 10-15cm.duvarlarda 10cm.çelik hasır takviyeli püskürtme beton,yeryer 1.5m.aralıklı hafif çelik traversler	**Kaya yükü 0.62 kg/cm ² tavanda 3.77m. uzunluğunda1-1.5m.aralıklı sist.gerdirmesiz, duvarlarda 3.57m.uzunluğunda 1.5 2m.aralıklı gerdirmeli bul.,tavan ve duvarlarda 2-3cm.püskürtme beton
I3	*Kaya yükü 1.38 kg/cm ² 0.52cm.aralıklı sist.bul. 8.2cm.püskürtme beton	*3-4m.uzunluğunda,1.5-2m.aralıklı sist.bul.,tavanda çelik hasır takviyeli 5-10cm.duvarlarda 3cm.püskürtme beton	*Kaya yükü 0.49 kg/cm ² tavanda 3.77m. uzunluğunda zincir takviyeli 1.5-2m.aralıklı sist.,duvarlarda 3.57m.uzunluğunda 2.5-3m. aralıklı gerdirmesiz bul.
	**Kaya yükü 3.52 kg/cm ² 0.41m.aralıklı sist.bul. 17.2cm. püskürtme beton	**4-5m.uzunluğunda,1-1.5m.aralıklı sist.bul.tavanda 10-15cm.duvarlarda 10cm.çelik hasır takviyeli püskürtme beton,yeryer 1.5m.aralıklı hafif çelik traversler	**Kaya yükü 2.33 kg/cm ² tavanda 3.77m. uzunluğunda 1m.aralıklı genleşen tip gerdirmeli bul.ve 4.72m.ankraj,duvarlarda 3.57m.uzunluğunda 1-1.5m.aralıklı gerdirmesiz bul.,tavanda 10-20cm.duvarlarda 5-10cm.çelik hasır takviyeli pbet.
III	Kaya yükü 7.56 kg/cm ² Uygulanamaz	5m.uzunluğunda 1-1.5m.aralıklı sist. bul.,tavanda 15-20cm.,duvarlarda 15cm.çelik hasır takviyeli,aynada 5cm. püskürtme beton,0.75m.aralıklı çelik iksalı ağır traversler	Kaya yükü 7.05 kg/cm ² tavanda 3.77m.,duvarlarda 3.57m.uzunluğunda 1m.aralıklı gerdirmeli bul.ve tavanda 4.72m.,duvarlarda 3.67m.uzunluğunda ankraj,40-150cm çelik takviyeli beton kemer

*En iyi koşullarda,**En kötü koşullarda

Tablo-46- RSR, RMR ve Q sistemleri ile bulunan iksa önlemlerinin karşılaştırılması (Kopdağı 2 tünel güz.)
Comparsion of Rock Mass Classification system with RSR, RMR and Q system (Kopdağı 2 tunnel line)

Yapısal Bölge	RSR	RMR	Q
III B	*Kaya yükü 1.65 kg/cm ² 0.81 m. aralıklı sist. bul. 9.5 cm. püskürtme beton	3-4m.uzunluğunda 1.5-2m. aralıklı sist. bul.,tavanda çelik hasır takviyeli 5-10cm.,duvarlarda 3cm. püskürtme beton	Kaya yükü 0.27 kg/cm ² tavanda 3.77m., duvarlarda zincir takviyeli 3.57m. uzunluğunda 1-1.5m. aralıklı gerdirmesiz sist.bul,tavanda 5-10cm. çelik hasır takviyeli püskürtme beton
	**Kaya yükü 2.05 kg/cm ² 0.47 m. aralıklı sist. bul. 11.1 cm.püskürtme beton		
III A	*Kaya yükü 0.03 kg/cm ² 1.31 m.aralıklı sist. bul. 2.7 cm. püskürtme beton	*Tavanın 2-3m.sinde 2-2.5m. aralıklı bul,tavanda 5cm. püskürtme beton ve çelik hasır	*Kayayükü 0.14 kg/cm ² tavanda 3.77m. uzunluğunda 2.5-3m aralıklı gerdirmesiz sist. bul.
	**Kaya yükü 1.38 kg/cm ² 0.52 m.aralıklı sist. bul. 8.3 cm. püskürtme beton	**3-4m. uzunluğunda 1.5-2m. aralıklı sist. bul,tavanda çelik hasır takviyeli 5-10cm,duvarlarda 3cm. püskürtme beton	**Kaya yükü 0.22 kg/cm ² tavanda 3.77m. uzunluğunda 1.5-2m. aralıklı zincir takviyeli gerdirmesiz sist. bul.
II 2	*Kaya yükü 3.05 kg/cm ² 0.43 m.aralıklı sist.bul. 15.3 cm püskürtme beton	*Tavanın 2-3m. sinde 2-2.5m.aralıklı bul,tavanda 5cm. püskürtme beton ve çelik hasır	*Kaya yükü 0.49 kg/cm ² tavanda 3.77m. uzunluğunda 1.5-2m. aralıklı zincir takviyeli gerdirmesiz sist. bul.
	**Kaya yükü 4.14 kg/cm ² 0.39 m. aralıklı sist. bul. 21.0 cm püskürtme beton	**4-5m.uzunluğunda,1-1.5m.aralıklı sist. bul,tavanda 10-15cm duvarlarda 10cmçelik hasır takviyeli püskürtme beton,yeryer 1.5m. aralıklı hafif çelik traversler	**Kaya yükü 0.67 kg/cm ² tavanda 3.77m. uzunluğunda 1-1.5m. aralıklı sist.,duvarlarda 3.57m.uzunluğunda lokal,gerdirmesiz bul,2-3cm. kalınlığında püskürtme beton
II 3	*Kaya yükü 1.38 kg/cm ² 0.52 cm.aralıklı sist. bul. 8.2 cm.püskürtme beton	*3-4m.uzunluğunda 1-1.5m.aralıklı sist. bul,tavanda çelik hasır takviyeli 5-10cm,duvarlarda 3cm. püskürtme beton	*Kaya yükü 0.49 kg/cm ² tavanda 3.77m uzunluğunda zincir takviyeli 1.5-2m aralıklı sist.,duvarlarda 3.57m.uzunluğunda 25-3m.aralıklı gerdirmesiz bul.
	**Kaya yükü 3.52 kg/cm ² 0.41 m. aralıklı sist.bul. 17.2 cm. püskürtme beton	**4-5m.uzunluğunda 1-1.5m.aralıklı sist.bul,tavanda 10-15cm.,duvarlarda 10cm.çelik hasır takviyeli püskürtme beton,veryer 1.5m. aralıklıhafif çelik traversler	**Kaya yükü 2.33 kg/cm ² tavanda 3.77m. uzunluğunda 1m.aralıklı genleşen tip gerdirmeli bul ve 4.72m.ankraj,duvarlarda 3.57m.uzunluğunda 1-1.5m.aralıklı gerdirmesiz bul,tavanda 10-20cm.duvarlarda 5-10cmçelik hasır takviyeli p.bet.
III	Kaya yükü 7.56 kg/cm ² Uygulanamaz	5m.uzunluğunda 1-1.5m.aralıklı sist.bul,tavanda 15-20cm.,duvarlarda 15cm çelikhasır takviyeli,aynada 5cm püskürtme beton,0.75m.aralıklı çelik iksalı ağır traversler	Kayayükü 7.05 kg/cm ² tavanda 3.77m.,duvarlarda 3.57m.uzunluğunda 1m.aralıklı gerdirmeli bul. ve tavanda 4.72m.,duvarlarda 3.67m. uzunluğunda ankraj,40-150 cm. çelik takviyeli beton kemer

Tablo-47- RSR, RMR ve Q sistemlerinin birleştirilmesi ile elde edilen iksa önlemleri, KOPDAĞI 1 tünel güzergahı
Recommended support based upon RSR, RMR and Q systems which are composed. (Kopdağı 1 tunnel line)

Yapısal Bölge	İ K S A			
	En iyi koşullarda		En kötü koşullarda	
	T a v a n	D u v a r	T a v a n	D u v a r
I 1B	3.77m. uzunluğunda 1.5m.aralıklı gerdirmesiz sistematik bulon,15cm püskürtme beton, çelik hasır takviyeli	3.57 m.uzunluğunda 1.5 m. aralıklı gerdirmesiz sistematik bulon 5cm püskürtme beton,çelik hasır takviyeli	Aynı	Aynı
I 1A	3.77m.uzunluğunda 2.5m.aralıklı gerdirmesiz, sistematik bulon 3cm.püskürtme beton	Gerekmez	3.77m.uzunluğunda 2m.aralıklı, gerdirmesiz sistematik bulon, 5cm püskürtme beton çelik hasır takviyeli	Gerekmez
I 2	3.77m.uzunluğunda 2m.aralıklı,gerdirmesiz sistematik bulon, 5cm püskürtme beton, çelik hasır takviyeli	3 cm. püskürtme beton	3.77m.uzunluğunda 1.5m.aralıklı gerdirmesiz sistematik bulon,10cm. püskürtme beton, çelik hasır takviyeli	3.57m.uzunluğunda 2m.aralıklı gerdirmeli bulon,5cm püskürtme beton.
I 3	3.77m.uzunluğunda 2m.aralıklı gerdirmesiz sistematik bulon, 5cm püskürtme beton çelik hasır takviyeli	3.57m. uzunluğunda 3 m. aralıklı lokal bulon	3.77m.uzunluğunda 1 m.aralıklı genleşen tip gerdirmeli bulon ve 4.72 m.uzunluğunda ankraj.15cm püskürtme beton çelik hasır takviyeli,yeryer 1.5m.aralıklı hafif çelik travers.	3.57m.uzunluğunda 1.5m.aralıklı gerdirmesiz bulon 10cm püskürtme beton çelik hasır takviyeli
III	5 m uzunluğunda 1 m.aralıklı gerdirmeli bulon tavanda 4.72m.duvarlarda 3.67 m. uzunluğunda ankraj tavan, duvar ve y-nada 5 cm. püskürtme beton,10cm.çelik takviyeli beton kemer.			

Tablo-48 -RSR, RMR ve Q sistemlerinin birleştirilmesi ile elde edilen iksa ön-
lemleri, KOPDAĞI 2 tünel güzergahı
Recommended support based upon RSR,RMR and Q systems which are
composed. (Kopdağı 2 tunnel line)

Yapısal Bölge	İ K S A			
	En iyi koşullarda		En kötü koşullarda	
	T a v a n	D u v a r	T a v a n	D u v a r
II 1B	3.77 m. uzunluğunda 1.5m aralıklı ger- dirmesiz sistematik bulon, 10cm püskürt- me beton çelik hasır takviyeli	3.57 m. uzunluğunda 1.5m.aralıklı, ger- dirmesiz sistematik bulon,3cm püskürtme beton	Aynı	Aynı
II 1A	3.77m.uzunluğunda 2.5m. aralıklı ger- dirmesiz sistema- tik bulon 3cm püs- kürtme beton	Gerekmez	3.77m.uzunluğunda 2 m.aralıklı,ger- dirmesiz sistema- tik bulon, 5 cm püskürtme beton çelik hasır tak- viyeli	3cm püskürtme beton
I 2	3.77m.uzunluğunda 2m.aralıklı ger- dirmesiz sistema- tik bulon, 5 cm. kürtme beton çe- lik hasır takvi- yeli	Gerekmez	3.77m.uzunluğunda 1.5m.aralıklı ger- dirmesiz sistema- tik bulon 10 cm. püskürtme beton, çelik hasır tak- viyeli	3.57m.uzunlu- ğunda lokal gerdirmesiz bu- lon,5cm.püs- kürtme beton
I 3	3.77 m.uzunluğunda 2m.aralıklı gerdirmesiz sistematik bulon,5cm.püskürtme beton, çelik hasır takviyeli	3.57m.uzunluğunda 3m.aralıklı lokal bulon	3.77m.uzunluğunda 1m.aralıklı,genleşen tip gerdirmeli bulon ve 4.72 m.uzunluğunda ankraj.15cm.püskürtme beton,çe- lik hasır takviyeli,yeryer1.5m. aralıklı hafif travers.	3.57m.uzunlu- ğunda 1.5 ara- lıklılı gerdirmesiz bulon, 10cm püskürtme beton,çelik hasır takviyeli
III	5 m uzunluğunda 1m. aralıklı gerdirmeli bulon tavanda 4.72m. duvarlarda 3.67 m. uzunluğunda ankraj tavan, duvar ve ayna- da 5 cm püskürtme beton, 100cm çelik takviyeli beton kemer.			

IV.5. HİDROJEOLOJİ

Yaklaşık Erzurum ve Gümüşhane il sınırında yeralan Kop Dağları'nda kış mevsimi sert geçer ve bölge uzun süre karlar altında kalır. Bölge bu özelliğinden dolayı yeraltısuları bakımından zengindir. İnceleme sahasında yeralan birimler hidrojeolojik yönden incelendiğinde:

Kop ultramafiti; Ofiyolitler genel anlamda geçirimsizdir, ancak kırık ve çatlak düzlemleri boyunca yeraltısuyunun hareketine izin verirler. Arazi gözlemlerinde birimde 0.1 lt/sn ve sızıntılardan başka büyük kaynak gözlenmez.

Gurri formasyonu; Bu formasyondaki kireçtaşı ve kumtaşı seviyelir geçirimli, marn, kiltası seviyeleri geçirimsizdir. Geçirimli ve geçirimsiz seviyelerin ardalanması çeşitli yerlerde tabaka kaynaklarının oluşmasına neden olur. Bunların debileri 0.1-3 lt/sn arasında değişir. Formasyonun kıvrımlı ve kırıklı olması yeraltısuyunun hareket serbestliğini oluşturur ve yeraltısuyu bakımından zengin hale getirir. Formasyon içinde Gurri Tepe batısında yeralan derede Haziran ayında ölçülen debi yaklaşık 15 lt/sn'dir.

Göller Deresi formasyonu; Bu formasyonun çakıltası seviyeleri sıkı karbonat çimentoludur, ancak bazı yerlerde 2-7 cm. çapında çatlak düzlemleri boyunca gelişmiş çözünme boşlukları gözlenmiştir. Az geçirimli kabul edilebilir. Çakıltalarının üstünde yeralan kumtaşı kiltası ardalanmasından oluşan kesim, kumtaşı seviyeleri hariç tamamen geçirimsizdir. Bu formasyonda herhangi bir kaynak gözlenmemiştir.

Heyelan bölgelerinde debileri 0.1-5 lt/sn arasında değişen 20 kadar kaynak gözlenmiştir.*

* Kaynaklarda yapılan gözlemler 1987 Eylül ayına aittir.

IV.6. HEYELANLAR

Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları ve çevrelerinde yapılan arazi gözlemleri ile heyelanlı olan 7 bölge belirlenmiştir. Bu heyelanlı bölgelerden Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarına etkisi olabilecek 3 bölgede gözlemler yoğunlaştırılmış ve bu 3 bölgedeki heyelanların: özellikleri, oluş mekanizması aktifliği ile tünel güzergahına etkisi incelenmiştir.

Birinci heyelan bölgesi; Kopdağı 2 tünel güzergahının giriş ağzı (Gümüşhane tarafı)'ndan başlayarak Kandiltaş Tepe'nin NW'sına kadar uzanan, SW sınırı Kıskaçlı Dere'de sonuçlanan kesimdir. Kopdağı 2 tünel güzergahının 2.030 kmlik kesimi bu heyelan bölgesi içinde kalır.

Heyelanın kopma bölgesi Kopdağı (Bakdülü T.) W-SW yamacı boyunca uzanır ve kopma bölgesinde yaklaşık 150m. yüksekliğinde ayna oluşmuştur. Heyelan kütlesi üzerinde tansiyon çatlakları ve küçük heyelan gölleri ile debileri 0.1 - 5 lt/sn arasında değişen 10 adet kaynak gözlenmiştir. Yeryer çamur akması şeklinde olan bazı kesimlerde yer almaktadır. Heyelanın topuk bölgesi ise Kıskaçlı Dere ile sınırlanır.

Bu heyelan bölgesinde, Gurri formasyonu kireçtaşları ile Göller Deresi formasyonu çamurtaşları yer alır ve aralarındaki dokanak faylıdır. Fay düzlemi kireçtaşları önünde bir set oluşturur ve yeraltısularının yüzeye çıkmasını kolaylaştırır. Suyu karşı hassas olan çamurtaşları topoğrafyanında yardımı ile SW'ya doğru hareket ederek bu heyelan bölgesini oluşturur.

Bu bölgedeki ana heyelan kütlesinin aktifliğini kanıtlayacak bir veri yoktur. Ancak heyelan üzerinden geçen karayolunda 1987 Temmuz ayında 20 cm'ye ulaşan çökmeler ile bazı tansiyon çatlakları görülmesi heyelanın kısmende olsa aktif



Foto 21- Kopdağı 2 tünel güzergahı giriş ağzı (Gümüşhane tarafı) üzerindeki birinci heyelan bölgesinin genel görünüşü.
J-Kg :Gurri formasyonu.

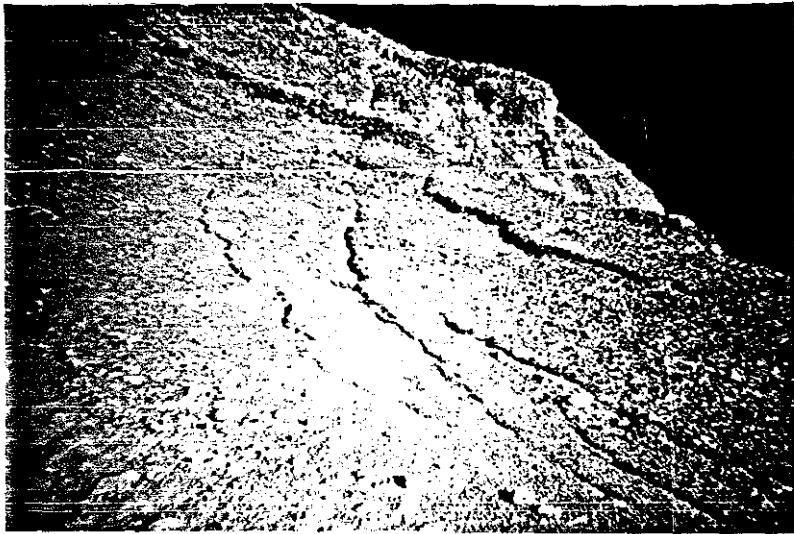


Foto 22- Birinci heyelan bölgesinde Temmuz 1987'de karayolunda gözlenen tansiyon çatlakları ve oturmalar.



Foto 23- Birinci heyelan bölgesinde tansiyon çatlakları, oturma ve akmlar.



Foto 24- Birinci heyelan bölgesinde gelişmiş heyelan gölü.

olabileceğini göstermektedir. Ayrıca bu heyelan kütlesi üzerinde özel bir şirket tarafından yapılan jeofizik ve sondaj çalışmaları kayma yüzeyinin tünel kotundan daha derinde olduğunu göstermiştir. Heyelanın topuk kısmını sınırlayan Kiskançlı Dere, bu kısımda sürekli aşındırma ile heyelan hareketine yardımcı olmaktadır. Eski bir heyelan olmasına rağmen hala aktifliğini korumaktadır.

İkinci heyelan bölgesi; Kopdağı 1 tünel güzergahının giriş ağzının (Gümüşhane tarafı) 500m. güneyinden başlar. Her iki tarafıda dere ile sınırlı olan bu heyelanın topuk bölgesi tünelin giriş ağzının 60 m.lik bir kısmında içine alır.

Heyelanın kopma bölgesi gözlenmez, tipik heyelan topoğrafyası ile (deve hörgücü topoğrafyası) hemen tanınır. Topuk bölgesi ise Göller Deresi alüvyonları ile karışmış durumdadır.

Heyelan Göller Deresi formasyonu üzerinde gelişmiştir, Kop ultramafiti içindeki uyruşmuş serpantinlerde kaymaya eşlik etmişlerdir. Kaymada esas etken yamaç eğiminin fazla olması ve Göller Deresi formasyonuna ait çamurtaşlarının eğimlerinin uygunluğudur. N'e eğimli olan bu formasyondaki çamurtaşı tabakaları yeraltısuyunda yardımı ile heyelana sebep olmuşlardır.

Bu heyelan her iki tarafının ve topuk kısmının sulu derelerle sınırlı olması heyelanın yavaş ve sürekli hareketine yardımcı olmaktadır. Genç ve aktif bir heyelandır.

Üçüncü heyelan bölgesi; Gurri Tepe S'inden başlayarak Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarının çıkış ağzlarına (Erzurum tarafı) kadar uzanarak devam eder. Kopdağı 1 tünel güzergahını kesmez. Kopdağı 2 tünel güzergahının 112 m. lik bir kesimi bu heyelan bölgesi içinde kalır.

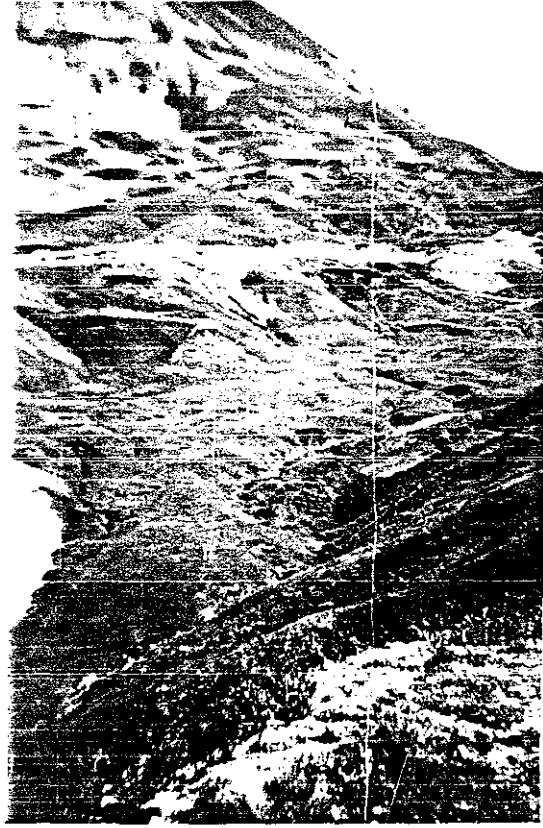


Foto 25- Birinci heyelan bölgesi, ana heyelan kütlesi ve üzerinde gelişen çamur akması.
J-Kg :Gurri formasyonu, Tg :Göllerderesi formasyonu
Hy :Heyelan.



Foto 26- Kopdağı 1 tünel güzergahı giriş ağzı üzerinde (Gümüşhane tarafı) ikinci heyelan bölgesinin genel görünüşü.
Mk :Kop ultramafiti, J-Kg :Gurri formasyonu,
Tg :Göllerderesi formasyonu, Hy :Heyelan.

Heyelanın kopma bölgesi belirgin değildir, ancak tabaka eğimlerindeki anormal değişmeler yardımı ile kopma bölgesinin sınırı belirlenmiştir. Heyelan kütlesindeki kaymalar büyük basamaklar şeklinde gelişmiştir ve her basamaktaki sınırlar haritalanmıştır. Heyelan üzerinde debileri 0.1-5 lt/sn arasında değişen 10 'a yakın kaynak bulunur. 1987 yılında, yaklaşık 80 cm. genişliğinde ve 8 m. uzunluğunda tek bir tansiyon çatlağı ölçülmüştür, başka çatlak gözlenmemiştir. Heyelan kütlesinin her iki tarafını sınırlayan iki sulu dere, heyelanın topuk bölgesinde kesişerek heyelanı sınırlarlar.

Heyelan kütlesinin tamamı Gurri formasyonuna ait birimlerden oluşmuştur. Bu bölgede Kop Ultramafiti üzerinde diskordan olarak Gurri formasyonu yer alır. Suyu karşı hassas olan serpantinitler, dokanak zonunda killeşerek geçirimsiz bir seviye oluşturmuş ve bu seviye üzerinde heyelan gelişmiştir. Heyelan kütlesi üzerinde yapılan sondajlardan elde edilen bu dokanak zonuna ait serpantinit örneklerinin petrografik incelemelerinde ofikalsit* oluşumları gözlenmiştir. Bu da dokanak zonunda serpantinitte ayrışmanın geliştiğini ve dolayısıyla kaymanın bu zon üzerinde gelişebileceğini göstermektedir.

Bu heyelan bölgesinin, topuk kısmında büyük ölmesada bazı hareketleri gözlenir, kısmen duraylılığını kazanmıştır. Ancak 1987 yılında, gözlenen tek bir tansiyon çatlağı heyelan kütlesinin aktif olabileceğini gösterir. Heyelan kütlesi üzerinde özel bir şirket tarafından yapılan jeofizik ve sondaj çalışmaları kayma yüzeyinin tünel kotunun üzerinde olduğunu 2.000 - 3.000 m.ler arasında tünel kotuna çok yaklaştığını göstermiştir. Kopdağı 2 tünel güzergahının çıkış ağzının (Erzurum tarafı) 112 m.lik kesimi heyelan içinde kalmaktadır.

*Ofikalsit, serpantin, kireçtaşı dokanaklarında görülür. Serpantinit yeraltısuyunun yardımı ile kireçtaşındaki CaCO_3 'ü bünyesine alır ve kaya kalsit kristallerinin egemen olduğu bir hal alır. Kayacın bu andaki adı ofikalsittir.



Foto 27- Kopdağı 1 ve 2 tünel güzergahları çıkış ağzı (Erzurum tarafı) üzerindeki üçüncü heyelan bölgesinin genel görünüşü.
Mk :Kop ultramafiti, J-Kg :Gurri formasyonu,
Hy :Heyelan.



Foto 28- Üçüncü heyelan bölgesinde Temmuz 1987'de gözlenen tansiyon çatlağı.

Yazar, bu 3 heyelan bölgesinde, yeterli sondaj, jeofizik ve topoğrafik veri bulunmadığı için sadece arazi gözlemleri ve bazı sondaj, jeofizik verilerini kullanarak yorumlar getirmiştir. Bu heyelan bölgelerinde, heyelan araştırmak için sondaj, jeofizik ve topoğrafik çalışmalar yapılması ile kesin bir sonuca varılabilir.

IV.7. KOPDAĞI 1 TÜNEL GÜZERGAHININ JEOLJİK VE JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMESİ

0.000-0.060 km.

Heyelan; bu kesimde tünel heyelanının topuk kısmından geçmektedir. Heyelan moloz akması şeklinde ve sıgıdır. Aktif olan bu heyelanın tünel güzergahı çevresindeki malzemesi tamamen temizlenmeli ve önüne istinat duvarı çekilmelidir. Tünel bu kesimde açık kazı ile geçilmeli ve aynı zamanda yan derelerde ıslah edilmelidir.

0.060-0.150 km.

Göllerderesi formasyonu, çamurtaşı; az sayıda, devamlı olmayan, kum ve kil dolgulu, sıkışık eklemler. Jeoteknik özellikleri:

$$\gamma_n = 2.46 \text{ gr/cm}^3$$

$$G_s = 2.81 \text{ gr/cm}^3$$

$$w = 3.71 \%$$

$$S_w = 5.92 \%$$

$$S_v = 13.49 \%$$

$$n_a = 13.49 \%$$

$$n = 13.57 \%$$

$$e = 15.33 \%$$

$$\sigma_c = 148 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = 18 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_s = 4.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_s = 23.4 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

$$C = 45 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 44^\circ - 18^\circ$$

Su emme deneyleri sırasında bazı numunelerin dağıldığı gözlenmiştir. Birim suya karşı hassas olduğu için kazı sırasında uzun süre su ile temasta kalması

önlenmelidir. Kazılabilirliği, orta, maksimum iksasız açıklık yaklaşık 2m. ani göçmeler olabilir.

0.150-0.364 km.

Göllerderesi formasyonu, çakıltası; az sayıda, devamlı, kalsit dolgulu, sıkıca bağlı eklemlidir. Serpantin, bazalt, şist, kireçtaşı, kumtaşı çakıllı, karbonat yeryer kil çimentolu, kalın katmanlı iyi boylanmalıdır. Jeoteknik özellikleri:

$\gamma_n = 2.51 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_c = 460 \text{ kg/cm}^2$
$G_s = 2.68 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_t = 40 \text{ kg/cm}^2$
$w = 3.46 \%$	$I_s = 22.7 \text{ kg/cm}^2$
$S_w = 1.04 \%$	$E_s = 157.7 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^3$
$S_v = 2.58 \%$	$C = 89 \text{ kg/cm}$
$n_a = 2.58 \%$	$\phi = 61^\circ - 33^\circ$
$n = 7.51 \%$	
$e = 8.14 \%$	

Kazılabilirliği, kolaylıkla büyük parçalar çıkarılamaz, maksimum iksasız açıklık, yaklaşık 10 m., iksasız kendi kendini tutma süresi yaklaşık 10 yılı eklemler boyunca birkaç sızıntı haricinde önemli su problemi beklenmemelidir.

0.364-0.380 km.

Fay zonu; Gurri formasyonu kireçtaşları, bindirme fayı ile Göller Deresi çakıltalarının üzerine gelmiştir. Fayın eğimi yaklaşık 40° dir. Sondaj bulunmadığı için jeoteknik özellikleri belirlenmemiştir. Fay zonu boyunca önemli sayılabilecek kaynak gözlenmemiştir. Fay zonunu NE ve SW'da kesen iki dere önemli su boşalmalarına neden olabilir, kireçtaşlarına girildiğinde de su boşalmaları olabilir. Kolay kazılabilir,

maksimum iksasız açıklık yaklaşık 0.50m.
ve ani göçmeler olabilir.

0.380-1.480 km.

Gurri formasyonu, kireçtaşı; üç yönde gelişmiş eklem takımı, çok düşük devamlı, eklem yüzeyleri kaba, kalsit yeryer kil dolgulu, sıkışık eklemler. Jeoteknik özellikleri:

$\gamma_n = 2.65 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_c = 282 \text{ kg/cm}^2$
$G_s = 2.71 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_t = 20 \text{ kg/cm}^2$
$w = 4.65 \%$	$I_s = 12.5 \text{ kg/cm}^2$
$S_w = 0.44 \%$	$E_s = 618.2 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$
$S_v = 1.48 \%$	$C = 47 \text{ kg/cm}^2$
$n_a = 1.48 \%$	$\phi = 60^\circ - 17^\circ$
$n = 6.87 \%$	
$e = 7.38 \%$	

Kireçtaşlarının bol kırıklı olması serbest basınç mukavemetinde olumsuz yönde etkilemektedir. Kireçtaşları içinde yeryer marn ve şeyl seviyeleri de gözlenir. Kazılabilirliği orta, maksimum iksasız açıklık yaklaşık 5 m., iksasız kendi kendini tutma süresi birkaç yıldır, ancak kaya düşmeleri ile ani göçmeler, açık ve fazla sayıda eklem bulunan bölgelerde beklenmelidir. Tünel güzergahının sağ ve solunda bulunan iki kaynak ve bu kaynakların beslediği dere yatakları yaz, kış suludur. Bu kesimde tünel, yeraltı su seviyesinin altında açılacaktır, kireçtaşlarının bol kırıklı ve porozitesinin fazla olması nedeni ile su problem olacaktır. Su gelişi basınçlı ani su patlamaları şeklinde değil, eklemlerden devamlı su gelişi şeklinde beklenmelidir. Kireçtaşlarında karstlaşma gelişmemiştir.

1.480-1510 km. Fay zonu; Kop ultramafiti, bindirme fayı ile Gurri formasyonu üzerine gelmiştir. Fayın eğimi yaklaşık 45° dir. Sondaj bulunmadığı için jeoteknik özellikler belirlenmemiştir. Fay zonu üzerinde, 0.1 lt/sn debili üç kaynak ve moloz akması şeklinde iki heyelan gözlenir. Heyelanlar fay zonunu oluşturan bloklu ve çakıllı ayrıışmış malzemenin yamaç eğiminin fazla olduğu yerlerde gelişmiştir. Heyelanların tünele herhangi bir etkisi yoktur, ancak fay zonunun bloklu, çakıllı, ayrıışmış malzemenin oluştuğunu ve su problemi olabileceğini gösterir. Fay zonu daha kalın olabilir. Kolay kazılabilir, maksimum iksasız açıklık yaklaşık 0.50m. ve ani göçmeler olabilir.

1.510-3.060 km. Kop ultramafiti, ultramafit; tünel güzergahının bu kesiminde ultramafitler, faylanma, kırık ve yeraltısuyu etkisi ile ayrıışmış seviyeler içerir. Bu ayrıışmış seviyeler serpantinit olarak tanımlanmıştır (Ultramafit serpantinit arasında kesin bir sınır belirlemek zordur. Değerlendirmede, ilki serpantinit ikincisi ultramafit olarak tanımlamalarda birlikte kullanılmıştır.). İki-üç yönde gelişmiş eklem takımı ve gelişigüzel eklemler, düşük devamlı, kaygan yüzeyli, aşırı dar yeryer kil dolgulu eklemler. Jeoteknik özellikler:

$$\begin{aligned} \gamma_n &= 2.41, 2.51 \text{ gr/cm}^3 & \sigma_c &= 180, 542 \text{ kg/cm}^2 \\ G_s &= 2.76, 2.73 \text{ gr/cm}^3 & \sigma_t &= 28,45 \text{ kg/cm}^2 \\ w &= 4.33, 1.21 \% & I_s &= 28.45 \text{ kg/cm}^2 \\ S_w &= 10.74, 0.55 \% & E_s &= 37.1, 371.4-51.4 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2 \\ S_v &= 22.29, 1.30 \% & C &= 50,95 \text{ kg/cm}^2 \\ n_a &= 22.29, 1.30 \% & \phi &= 40^{\circ}-10^{\circ}, 57^{\circ}-16^{\circ} \end{aligned}$$

n= 22.29, 7.23 %

e= 29.02, 7.92 %

Kazılabilirlik; kolay, orta, maksimum
iksasız açıklık yaklaşık 1m., 5m. iksa-
sız kendi kendini tutma süresi birkaç yıl
ayrışmış zonlarda ani göçmeler olabilir.
2.000-3.000 km.ler arası heyelanın kay-
ma düzlemi tünel kotuna oldukça yaklaşmak-
tadır, bu kesimde ani su patlamaları bek-
lenmelidir. Diğer kesimlerde de , özel-
likle fay zonuna yakın yerler, bol miktar-
da su gelişi beklenmelidir. Serpantinit-
lerin yeraltısuyu etkisi ile bozuşup kile
dönüşen seviyelerinde, taban kabarması gi-
bi, şişme ve kabarma olayları beklenmelidir.

IV.8. KOPDAĞI 2 TÜNEL GÜZERGAHININ JEOLJİK VE JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMESİ

0.000-2.030 km. Heyelan; bu kesimde yapılan, yüzey jeolo-
jisi, jeofizik ve bir kısım sondajlar tü-
nelin tamamının heyelan içinden geçeceği-
ni göstermektedir. Tünelin bu kesiminde
göçmeler, basınçlı su gelişi gibi önemli
tehlikeler beklenmektedir. Heyelan böl-
gesinde yeterli sondaj bulunmadığı için
jeoteknik özellikler belirlenememiştir.
Yapılan sondajlarda sürekli takım sıkış-
ması ve kayalarda sapmalar gözlenmesi,
yolda 15 cm. ye varan oturmalar gelişmesi
heyelanın aktifliğini destekleyen veriler-
dir. Heyelan altında kalan Kıskaçlı ve
Kandiltaş fayları da gözardı edilmemelidir.
Özetle bu kesimde tünelin açılması çok zor
ve çok tehlikeli olacaktır.

2.030-2.250 km. Göllerderesi formasyonu, çamurtaşı; az sayıda, devamlı olmayan, kum ve kil dolgu sıklık eklemeler. Jeoteknik özellikler;

$\gamma_n = 2.46 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_c = 148 \text{ kg/cm}^2$
$G_s = 2.81 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_t = 18 \text{ kg/cm}^2$
$w = 3.71 \%$	$I_s = 4.7 \text{ kg/cm}^2$
$S_w = 5.92 \%$	$E_s = 23.4 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$
$S_v = 13.49 \%$	$C = 45 \text{ kg/cm}^2$
$n_a = 13.49 \%$	$\phi = 44^\circ - 18^\circ$
$n = 13.57 \%$	
$e = 15.33 \%$	

Birim suya karşı hassas olduğu için, kazı sırasında uzun süre su ile temasta kalması önlenmelidir. Ancak önemli su problemi bu kesimde beklenmemelidir. Kazılabilirliği orta, maksimum iksasız açıklık yaklaşık 2m., ani göçmeler olabilir.

2.250-2.420 km. Göllerderesi formasyonu, çakıltası; az sayıda, düşük devamlı, kalsit dolgu, aşırı dar-sıklık eklemeli, serpantin, bazalt, şist, kireçtaşı, kumtaşı çakıllı, karbonat yeryer kil çimentolu kalın katmanlı, iyi boylanmalıdır. Bu kesimde tabandan yaklaşık 7m.den sonra, çakıltalarında tedrici bir değişiklik görülür, elemanlarının tamamına yakın bir kısmını kireçtaşı çakılları oluşturur. Jeoteknik özellikleri:

$\gamma_n = 2.51 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_c = 460 \text{ kg/cm}^2$
$G_s = 2.68 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_t = 40 \text{ kg/cm}^2$
$w = 3.46 \%$	$I_s = 22.7 \text{ kg/cm}^2$
$S_w = 1.04 \%$	$E_s = 157.7 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$
$S_v = 2.58 \%$	$C = 89 \text{ kg/cm}^2$
$n_a = 2.58 \%$	$\phi = 61^\circ - 33^\circ$
$n = 7.51 \%$	
$e = 8.14 \%$	

Kazılabilirliği, kolaylıkla büyük parçalar çıkarılamaz, maksimum iksasız açıklık, yaklaşık 10m., iksasız kendi kendini tutma süresi yaklaşık 10 yıl. Bu birimde önemli su problemleri beklenmemelidir. Ancak bazı çatlaklar boyunca gelişmiş çapları yaklaşık 30 cm.ye varan erime boşlukları önemlidir. Bunlar suyun kolaylıkla hareket etmesine yardımcı olurlar. Kazı esnasında rastlanıldığında bu boşluklar dikkatli bir şekilde kapatılmalıdır.

2.420-2.810 km.

Gurri formasyonu, kireçtaşı; Dört yönde gelişmiş eklem takımı, çok düşük devamlı eklem yüzeyleri kaba, kalsit yer yer kil dolgulu, aşırı dar eklemler. Jeoteknik özellikleri:

$\gamma_n = 2.65 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_c = 282 \text{ kg/cm}^2$
$G_s = 2.71 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_t = 20 \text{ kg/cm}^2$
$w = 4.65 \%$	$I_s = 12.5 \text{ kg/cm}^2$
$S_w = 0.44 \%$	$E_s = 618.2 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$
$S_v = 1.48 \%$	$C = 47 \text{ kg/cm}^2$
$n_a = 1.48 \%$	$\phi = 60^\circ - 17^\circ$
$n = 6.87 \%$	
$e = 7.38 \%$	

Kireçtaşlarının bol kırıklı ve kıvrımlı olması serbest basınç mukavemetini olumsuz yönde etkilemektedir. Kireçtaşları içinde yer yer marn ve şeyl seviyeleride gözlenir. Kazılabilirliği orta, maksimum iksasız açıklık yaklaşık 5m., iksasız kendi kendini tutma süresi birkaç yıldır, ancak kaya düşmeleri ile ani göçmeler, açık ve fazla sayıda eklem bulunan bölgelerde beklenmelidir. Bu bölgede kireçtaşları tamamen kurudur, güneyde

bulunan Göller Deresi kire ta larını besleyebilir, ayrıca kireçtaşları faylı olan güney sınırından da dereler yolu ile beslenebilir. Buna göre kireçtaşlarında önemli su problemleri ile kar ıla ılabilir. Fay zonuna yakın yerlerde ani su bo almaları, diğer yerlerde eklemler boyunca devamlı su gelişi beklenmelidir. Kire ta larında karstlaşma geli memi tir.

2.810-2.814 km.

Fay zonu: Faylanma, Gurri formasyonunun kireçtaşları ile Göller deresi formasyonunun  akılt  ve  amurta ları arasında geli mi tir. Doğrultu atımlı sa  yönlü bir faydır. Sondaj bulunmadığı için jeoteknik özellikleri belirlenemi tir. Göller Deresi fayı dik bir a ı ile keser, bu da fay zonunun önemli derecede su bulundurabilece ini gösterir. Fay zonuna yakla ıldı ında su patlamaları beklenmelidir. Fay zonu, kolay kazılabilir, maksimum iksasız açıklık, yaklaşık 0.50m. ve ani göçmeler olabilir.

2.814-3.032 km.

Göllerderesi formasyonu, çamurtaşı; az sayıda, devamlı olmayan, kum ve kil dolgulu, sıkı ık eklemler. Jeoteknik  zellikleri:

$$\gamma_n = 2.46 \text{ gr/cm}^3$$

$$G_s = 2.81 \text{ gr/cm}^3$$

$$w = 3.71 \%$$

$$S_w = 5.92 \%$$

$$S_v = 13.49 \%$$

$$n_a = 13.49 \%$$

$$n = 13.57 \%$$

$$e = 15.33 \%$$

$$\sigma_c = 148 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = 18 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_s = 4.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_s = 23.4 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

$$C = 45 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 44^\circ - 18^\circ$$

Birim suya karşı hassas olduğu için kazı sırasında uzun süre su ile temasta kalması önlenmelidir. Kazılabilirliği orta, maksimum iksasız açıklık yaklaşık 2m., ani göçmeler olabilir. Bu bölgede Göller Deresi çamurtaşlarının doğrultusuna paralel akar ancak birim geçirimsiz olduğundan suların tünel kotuna kadar ulaşması beklenmez. Esas tehlikeyi fay zonundan gelecek sular oluşturacaktır.

3.032-3.272 km.

Göllerderesi formasyonu, çakıлтаşı; az sayıda, kalsit dolgulu, sıkıca bağlı eklemli. Serpantin, bazalt, şist, kireçtaşı, kumtaşı çakıllı, karbonat yer yer kil çimentolu, kalın katmanlı iyi boylanmalıdır. Jeoteknik özellikleri:

$\gamma_n = 2.51 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_c = 460 \text{ kg/cm}^2$
$G_s = 2.68 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_t = 40 \text{ kg/cm}^2$
$w = 3.46 \%$	$I_s = 22.7 \text{ kg/cm}^2$
$S_w = 1.04 \%$	$E_s = 157.7 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$
$S_v = 2.58 \%$	$C = 89 \text{ kg/cm}^2$
$n_a = 2.58 \%$	$\phi = 61^\circ - 33^\circ$
$n = 7.51 \%$	
$e = 8.14 \%$	

Kazılabilirliği, kolaylıkla büyük parçalar çıkarılamaz, maksimum iksasız açıklık, yaklaşık 10 m., iksasız kendi kendini tutma süresi yaklaşık 10 yılı. Eklem-ler boyunca birkaç sızıntı haricinde önemli su problemi beklenmemelidir.

3.272-3.610 km.

Gurri formasyonu, kireçtaşı; Bu birim yüzeyde mostra vermez, ancak çakıлтаşları altında yer alması gerekmektedir. Bu birimi kesen sondaj bulunmaması nedeni ile jeoteknik özellikleri belirlenememiştir.

diğer kireçtaşları ile özelliklerinin aynı olması gerekmektedir. Kireçtaşları bol kıvrımlı ve kırıklı olmalıdır, önemli su problemleri ile karşılaşılabilir.

3.610-3.630 km.

Fay zonu; Gurri formasyonu kireçtaşları bindirme fayı ile Göller Deresi çakıltaşlarının üzerine gelmiştir. Fayın eğimi yaklaşık 40° 'dir. Sondaj bulunmadığı için jeoteknik özellikleri belirlenmemiştir. Fay zonu boyunca önemli sayılabilecek kaynak gözlenmemiştir. Fay zonunu NE ve SW'da kesen iki dere önemli su boşalmalarına neden olabilir, kireçtaşlarına girildiğinde de su boşalmaları olabilir. Kolay kazılabilir, maksimum iksasız açıklık yaklaşık 0.50m. ve ani göçmeler olabilir.

3.630-4.540 km.

Gurri formasyonu, kireçtaşı; üç yönde gelişmiş eklem takımı, çok düşük devamlı, eklem yüzeyleri kaba, kalsit yeryer kil dolgulu, sıkışık eklemler. Jeoteknik özellikleri:

$\gamma_n = 2.65 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_c = 282 \text{ kg/cm}^2$
$G_s = 2.71 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_t = 20 \text{ kg/cm}^2$
$w = 4.65 \%$	$I_s = 12.5 \text{ kg/cm}^2$
$S_w = 0.44 \%$	$E_s = 618.2 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$
$S_v = 1.48 \%$	$C = 47 \text{ kg/cm}^2$
$n_a = 1.48 \%$	$\phi = 60^{\circ} - 17^{\circ}$
$n = 6.87 \%$	
$e = 7.38 \%$	

Kireçtaşlarının bol kırıklı olması serbest basınç mukavemetinde olumsuz yönde etkilemektedir. Kireçtaşları içinde yeryer marn ve şeyl seviyeleride gözlenir.

Kazılabilirliği orta, maksimum iksasız açıklık yaklaşık 5 m., iksasız kendi kendini tutma süresi birkaç yıldır, ancak kaya düşmeleri ile ani göçmeler, açık ve fazla sayıda eklem bulunan bölgelerde beklenmelidir. tünel güzergahının sağ ve solunda bulunan iki kaynak ve bu kaynakların beslediği dere yatakları yaz, kış suludur. Bu kesimde tünel, yeraltısu seviyesinin altında açılacaktır, kireçtaşlarının bol kırıklı ve porozitesinde fazla olması nedeniyle su problem olacaktır. Su gelişini basınçlı ani su patlamaları şeklinde değil, eklem-lerden devamlı su gelişini şeklinde beklenmelidir. Kireçtaşlarında karstlaşmada gelişmemiştir.

4.540-4.555 km.

Fay zonu; Kop ultramafiti, bindirme fayı ile Gurri formasyonu üzerine gelmiştir. Fayın eğimi yaklaşık 45°'dir. Sondaj bulunmadığı için jeoteknik özellikler belirlenmemiştir. Fay zonu üzerinde, 0.1 lt/sn debili üç kaynak ve moloz akması şeklinde iki heyelan gözlenir. Heyelanlar fay zonunu oluşturan bloklu ve çakıllı ayrışmış malzemenin yamaç eğiminin fazla olduğu yerlerde gelişmiştir. Heyelanların tünele herhangi bir etkisi yoktur, ancak fay zonunun bloklu, çakıllı, ayrışmış malzemeden oluştuğunu ve su problemi olabileceğini gösterir. Fay zonu daha kalın olabilir. Kolay kazılabilir, maksimum iksasız açıklık yaklaşık 0.50m. ve ani göçmeler olabilir.

4.555-6.018 km.

Kop ultramafiti, ultramafit; tünel güzergahının bu kesiminde ultramafitler, faylanma, kırık ve yeraltısuyu etkisi ile ayrılmış seviyeler içerir. Bu ayrılmış seviyeler serpantinit olarak tanımlanmıştır (Ultramafit serpantinit arasında kesin bir sınır belirlemek zordur. Değerlendirmede, ilki serpantinit ikincisi ultramafit olarak tanımlamalarda birlikte kullanılmıştır.). İki-üç yönde gelişmiş eklem takımı ve gelişigüzel eklemler, düşük devamlı, kaygan yüzeyli, aşırı dar yeryer kil dolgulu eklemler, Jeoteknik özellikler:

$\gamma_n = 2.41, 2.51 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_c = 180.542 \text{ kg/cm}^2$
$G_s = 2.76, 2.73 \text{ gr/cm}^3$	$\sigma_t = 28.45 \text{ kg/cm}^2$
$w = 4.33, 1.21 \%$	$I_s = 28.45 \text{ kg/cm}^2$
$S_w = 4.33, 1.21 \%$	$E_s = 37.1, 371.4 - 51.4 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$
$S_v = 22.29, 1.30 \%$	$C = 50.95 \text{ kg/cm}^2$
$n_a = 22.29, 1.30 \%$	$\phi = 40^\circ - 10^\circ, 57^\circ - 16^\circ$
$n = 22.29, 7.23 \%$	
$e = 29.02, 7.92 \%$	

Kazılabilirlik; kolay, orta, maksimum iksasız açıklık yaklaşık 1m, 5m, iksasız kendi kendini tutma süresi birkaç yıl ayrılmış zonlarda ani göçmeler olabilir. Fay zonnuna yakın yerler ve ayrılmış zonlardan bol miktarda su gelişi beklenmelidir. Serpantinitlerin yeraltısuyu etkisi ile bozuşup kile dönüşen seviyelerinde, taban kabarması gibi şişme ve kabarma olayları beklenmelidir.

6.018-6.130 km.

Heyelan; Gurri Tepe S'inden başlayan heyelanın topuk bölgesi tünel güzergahının bu kesimini içine alır. Heyelanın topuk bölgesi aktif olduğundan tünelin bu kesimi çok problemlidir. Bu bölgedeki heyelanmalzemesi tamamen temizlenip önüne istinat duvarı çekilmeden ilerleme yapılamaz. Aynı zamanda bu kesimde tünel açık kazı ile geçilmelidir.

V. BETON AGREGA ARAŞTIRMALARI

Bu bölümde Kopdağı 1 veya Kopdağı 2 tünelinin açılması halinde betonda kullanılabilecek kum-çakıl ocağı yer ve nitelik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla Karasu çayı (Erzurum-Aşkale) üzerinde agrega gereç alanı olabilecek nitelikte iki bölge tesbit edilmiştir (Bölge A, Bölge B). A bölgesinde: 14 numune, 13 gözlem, B bölgesinde: 10 numune 8 gözlem kuyusu açılmıştır. Ayrıca Aşkale-Trabzon karayolu üzerinde Aşkale'nin 4 km. batısında mostra veren eski dere alüvyonlarının uygunluğunu araştırmak amacıyla 3 yarma ve açılan 3 gözlem kuyusunda (Bölge C) gerekli gözlemler yapılmıştır (Ek-5 Gözlem ve numune kuyuları ile gereç alanı sınırlarını gösterir harita). Açılan numune ve gözlem kuyularının derinlikleri ortalama 2m. seçilmiştir. Numune ve gözlem kuyularının kesitleri hazırlanmış gereçlerin devamlılıkları ile yeraltı su seviyesi gözlenmiştir. Numune kuyularından alınan gereçler fiziksel deneylere tabii tutulmuş ve tüm sonuçlar bilgisayarda değerlendirilmiş ve her bölgenin genel ortalamaları hazırlanmıştır. Tüm deney sonuçları ile ortalamalar bölüm sonunda üç bölge için ayrı ayrı tablolar halinde sunulmuştur.

Bulunan sonuçların genel bir değerlendirmesi yapılarak agrega için fiziksel özellikler yönünden en uygun bölge belirlenmiştir. Belirlenen en uygun bölge ile ilgili beton karışım hesabı yapılmış ve bir fikir vermesi açısından 16 adet silindirik beton imal edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

V.1. KARASU ÇAYI A BÖLGESİ AGREGA OCAĞININ ÖZELLİKLERİ

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Dane Özellikleri:

Dane şekli; Kusurlu danelerin miktarı, toplam agrega ağırlığının %7'sini oluşturmaktadır.

Dane yüzeyi; düz %80, pürüzlü %20

Bünye Özellikleri:

Su emme; kum 1.18 ± 0.45 %, çakıl 1.79 ± 0.28 %

Birim ağırlık; kum 1.70 gr/cm^3 , çakıl 1.67 gr/cm^3

Özgül ağırlık; kum 2.53 gr/cm^3 , çakıl 2.57 gr/cm^3

Na_2SO_4 don kaybı; kum 20.66 ± 2.33 %, çakıl 23.08 ± 1.09 %

Elek analizi; çakıl ve kumun ideal granulometriye göre derecelenmiş ortalama katsayıları (C_u uniformluk, C_c eğrilik)

$$\begin{aligned} \text{Çakıl: } C_u &= D_{60}/D_{10} = 3.72 < 4 \\ C_c &= (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60} = 0.81 < 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kum : } C_u &= D_{60}/D_{10} = 5.81 < 6 \\ C_c &= (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60} = 0.88 < 1 \end{aligned}$$

Bu verilere göre çakıl ve kumun C_u ve C_c 'nin limitte olması agreganın dane dağılımının iyi derecelenmiş ve GW-SW grup simgesinde olduğunu göstermektedir.

Agreganın ağırlıkça % dağılımı:

$D > 50.8 \text{ mm.}$	Blok	%5
$50.8 > D > 19.1 \text{ mm.}$	İri çakıl	%28
$19.1 > D > 4.76 \text{ mm.}$	İnce çakıl	%28
$4.76 > D > 2.00 \text{ mm.}$	İri kum	%14
$2.00 > D > 0.42 \text{ mm.}$	Orta kum	%14

0.42>D>0.076 mm.

İnce kum %7

0.076>D mm.

İnce malzeme %4

Burada çakıl iyi derecelenmiş olup ince çakılın toplam çakıla oranının %50 olması dane çapı dağılımının ideal eğrinin içerisinde olduğunu göstermektedir. Kumun granülo-metrisi ise eğrinin alt sınırlarında ve incelik modülü 4.25 ± 0.15 değerleri arasında değişmesi kumun iri daneli olduğunu gösterir. Agreganın dane dağılımına göre çakıl %60 ve kum %40 tır.

MEKANİK ÖZELLİKLER

Aşınma dayanımı (Los Angeles); 100 dv 3.53 ± 0.31 %,
500 dv 18.71 ± 0.43 %

ZARARLI MADDELER

Organik madde; hiç yok veya çok az var.

İnce gereç miktarı (200 no.lu elekten geçen); 3.86 ± 0.56 %

Sağlam olmayan elemanlar; ayrıışmış serpantin ve volkanik kayaç parçaları

Agreganın jeolojik kökeni; %95 kireçtaşı, %5 ultramafit+Volkanik (dasit)+Kumtaşı

V.2.KARASU ÇAYI B BÖLGESİ AGREGA OCAĞININ ÖZELLİKLERİ

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Dane Özellikleri:

Dane şekli; Kusurlu danelerin miktarı toplam agrega ağırlığının %7'sini oluşturmaktadır.

Dane yüzeyi; düz %80, pürüzlü %20

Bünye Özellikleri:

Suemme; kum 1.28 ± 0.07 %, çakıl 1.81 ± 0.29

Birim ağırlık; kum 1.65 gr/cm^3 , çakıl 1.61 gr/cm^3

Özgül ağırlık; kum 2.54 gr/cm^3 , çakıl 2.64 gr/cm^3

Na_2SO_4 don kaybı; kum $12.02 \pm 0.56 \%$, çakıl $22.95 \pm 2.14 \%$

Elek Analizi; Çakıl ve kumun ideal granülometriye derecelenmiş katsayıları (C_u uniformluk, C_c eğrilik)

$$\text{Çakıl: } C_u = D_{60} / D_{10} = 3.93 < 4$$

$$C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60} = 0.80 < 1$$

$$\text{Kum : } C_u = D_{60} / D_{10} = 5.33 < 6$$

$$C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60} = 0.92 < 1$$

Bu verilere göre çakıl ve kumun C_u ve C_c 'nin limitte olması agreganın dane dağılımının iyi derecelenmiş ve GW-SW grup simgesinde olduğunu göstermektedir.

Agreganın ağırlıkça % dağılımı

$D > 50.8 \text{ mm.}$	Blok	%6.9
$50.8 > D > 19.1 \text{ mm.}$	İri çakıl	%27.1
$19.1 > D > 4.76 \text{ mm.}$	İnce çakıl	%28
$4.76 > D > 2.00 \text{ mm.}$	İri kum	%9
$2.00 > D > 0.42 \text{ mm.}$	Orta kum	%15
$0.42 > D > 0.076 \text{ mm.}$	İnce kum	%10
$0.076 > D \text{ mm.}$	İnce malzeme	%4

Burada çakıl iyi derecelenmiş olup ince çakılın toplam çakıla oranının %50 olması dane çapı dağılımının ideal eğrinin içerisinde olduğunu göstermektedir. Kumun granülometrisi ise eğrinin alt sınırlarında ve incelik modülü 3.9 ± 0.13 değerleri arasında değişmesi kumun iri daneli olduğunu gösterir. Agreganın dane dağılımına göre çakıl %60 ve kum %60 tır.

MEKANİK ÖZELLİKLER

Aşınma dayanımı (Los Angeles); 100dv. $3.02 \pm 0.30 \%$
500 dv $17.10 \pm 0.40 \%$

ZARARLI MADDELER

Organik madde; hiç yok yada çok az var.

İnce gereç miktarı (200 nolu elekten geçen);

3.86±0.56 %

Sağlam olmayan elemanlar; ayrıışmış serpantinit ve volkanik kayaç parçaları

Agreganın jeolojik kökeni; %95 kireçtaşı, %5 ultra-mafit+volkanik(Dasit)+kumtaşı

V.3.KARASU ÇAYI C BÖLGESİ AGREGA OCAĞININ ÖZELLİKLERİ

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Dane Özellikleri:

Dane şekli; kusurlu danelerin miktarı toplam agreganın ağırlığının %20'sini oluşturmaktadır.

Dane yüzeyi; düz %90, pürüzlü %10.

Bünye Özellikleri:

Su emme; kum 1.12±0.66 %, çakıl 1.89±0.16 %

Birim ağırlık; kum 1.59 gr/cm³, çakıl 1.53 gr/cm³

Özgül ağırlık; kum 2.52 gr/cm³, çakıl 2.53 gr/cm³

Na₂SO₄ don kaybı; kum 37.2±1.01 %, çakıl 32.09±0.58 %

Elek analizi; çakıl ve kumun ideal granülometriye göre derecelenmiş ortalama katsayıları (C_u uniformluk, C_c eğrilik)

$$\text{Çakıl: } C_u = D_{60}/D_{10} = 2.84 < 4$$

$$C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60} = 0.76 < 1$$

$$\text{Kum : } C_u = D_{60}/D_{10} = 8.3 > 6$$

$$C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60} = 0.83 < 1$$

Bu verilere göre çakılın ve kumun C_u ve C_c'nin limit değerlerin altında olması 200 nolu elekten geçen malzemenin

oranının %12'den fazla olması nedeniyle, agreganın dane dağılımının kötü derecelenmiş GM-SM yada GC-SC grup simgesinde olduğunu göstermektedir.

Agreganın ağırlıkça % dağılımı:

D>50.8 mm.	Blok	%6
50.8>D>19.1 mm.	İri çakıl	%30
19.1>D>4.76 mm.	İnce çakıl	%33
4.76>D>2.00 mm.	İri kum	%12
2.00>D>0.42 mm.	Orta kum	%8
0.42>D>0.076mm.	İnce kum	%7
0.076>D mm.	İnce malzeme	%15

Burada çakıl kötü derecelenmiş olup ince çakılın toplam çakıla oranının %66 olması dane çapı dağılımının ideal eğirin üzerinde olduğunu göstermektedir. Kumun granülometrisi ise eğrinin alt sınırlarında ve incelik modülünün 4.13 ± 0.15 değerleri arasında değişmesi kumun iri daneli olduğunu gösterir. Agreganın dane dağılımına göre çakıl %60 kum %40 tır.

MEKANİK ÖZELLİKLER

Aşınma dayanımı (Los Angeles); 100 dv 4.86 ± 0.67 %,
500 dv 12.86 ± 1.94 %

ZARARLI MADDELER

Organik madde; Çok az var.

İnce gereç miktarı (200 nolu elekten geçen); 14.58 ± 0.43 %

Sağlam olmayan elemanlar; ayrılmış serpantinit, volkanik kayaç ve kumtaşı parçaları

Agreganın jeolojik kökeni; %85 kireçtaşı, %15 ultra-mafit+volkanik(dasit)+kumtaşı

V.4.KARASU ÇAYI A,B ve C BÖLGESİ AGREGA OCAKLARININ ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

A ve B bölgesi agrega ocakları fiziksel özellik yönünden agrega elverişlilik durumuna göre; kum ve çakılda su emme

ve don kayıplarının yüzdesi limit değerlerin üzerinde, özgül ağırlıkları ise limit değerlerin altındadır. C bölgesi ise; kum ve çakılla su emme, don kayıpları ve 200 nolu elekten geçen ince gereç miktarı limit değerler üzerinde, özgül ağırlıkları ise limit değerlerin altındadır.

A ve B gereç olanları iyi derecelenmiş çakıl kum karışımları (GW-SW) karakterinde, C gereç alanı ise kötü derecelenmiş çakıl-kum-silt-kil karışımları (GM-SM,GC-SC) karakterindedir. A ve B bölgelerindeki agreganın don kayıplarının fazla olması nedeniyle soğuk bölgelerde beton agregası olarak kullanılması uygun değildir. Ancak, don kayıplarının limit değerlere çok yakın olması nedeniyle, iklim şartlarına uygun koruma önlemleri alınarak betonda agrega olarak kullanılabilir. C bölgesinde de don kayıpları fazla ve limit değerlerin çok üstündedir. Don kayıpları giderilecek önlemler alınması durumunda bile, kirliliğin de (200 nolu elekten geçen ince gereç miktarı) limitlerin çok üzerinde olmasından ilave yıkama tesisi gerektirmektedir. Bu durumda C bölgesinin beton agregası olarak kullanılması uygun değildir.

Bu değerlendirmelere göre, tünel açılması durumunda, inşaatı yakınlığından dolayı B bölgesi agrega ocağını en uygun bölge olarak saptanmış ve yapılan beton karışım hesaplamalarında B bölgesine ait deney sonuçları kullanılmıştır.

V.5. BETON KARIŞIM HESABI*

Beton karışım hesabında kullanılan veriler:

Çimento K.P.Ç. 325

Çimento özgül ağırlığı, $\gamma_{\text{ç}} = 3.15 \text{ kg/dm}^3$

Çakılın özgül ağırlığı, $\gamma_{\text{çak}} = 2.61 \text{ kg/dm}^3$

Kumun özgül ağırlığı $\gamma_{\text{kum}} = 2.53 \text{ kg/dm}^3$

Maksimum dane çapı, $D_{\text{max}} = 1.1/2" (=38100\text{mm.})$

Kumun incelik modülü, 3.9

*Beton karışım hesabı "TS 802, Beton karışım hesap esasları"na göre yapılmıştır.

Beton sınıfı; BS 16, BS 20 (Yüksel Proje A.Ş den)
Agreganın dane dağılımı; B bölgesi ortalaması kullanılmıştır.

Beton dökümü sırasında hava katkı kullanılmayacağı varsayılmıştır.

Hesaplama:

Dane dağılımı; Agreganın dane dağılımı TS 206 da belirtilen uygun bölgeye düşmektedir. Buna göre agreganın %60'ı çakıl, %40'ı kum dur(Şekil-41). Agreganın dane dağılımına göre çakılın %50'si ince, %50'si iri çakıldır.

Su-çimento oranı(w); BS 16 için karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}) 160 kg/cm², BS 20 için 200 kg/cm² ve bu beton sınıflarının karışım hesabında temel alınacak ortalama basınç dayanımları (f_{cm}) 200 kg/cm² ve 260 kg/cm² dir (Tablo-49). Bu dayanımı elde edebilmek için gerekli su-çimento oranı(W/C) 0.70 ve 0.62 dir (Tablo-50).

Çökme değeri; max10-min5, ortalama 7.5cm (Tablo-51).

Karışım suyu miktarı(W); 180 lt/m³ (Tablo-52)

Hava miktarı (V_h); %1 (Tablo-52) (1000 dm³ beton için 10 dm³ hava)

Çimento (C); $C = \frac{W}{W/C}$ (kg) bağıntısından 257kg ve 290kg.

Çimento hacmi(V_c); $V_c = \frac{C}{\gamma_c}$ bağıntısından 82 dm³ ve 92 dm³.

Agrega hacmi; 1000-($V_c + W + V_h$) bağıntısından 728 dm³ ve 718 dm³

Agrega miktarı;

BS 16			
Agrega Sınıfı	Karışım Oranı(%)	Agrega hacmi (dm ³)	Agrega ağırlığı(kg)
Kum	%40	292	739
İnce çakıl	%30	218	569
İri çakıl	%30	218	569

BS 20			
Agrega Sınıfı	Karışım oranı (%)	Agrega hacmi (dm ³)	Agrega ağırlığı(kg)
Kum	%40	288	729
İnce çakıl	%30	215	561
İri çakıl	%30	215	561

1 m³ dökülmüş beton için hesaplanan malzeme miktarı

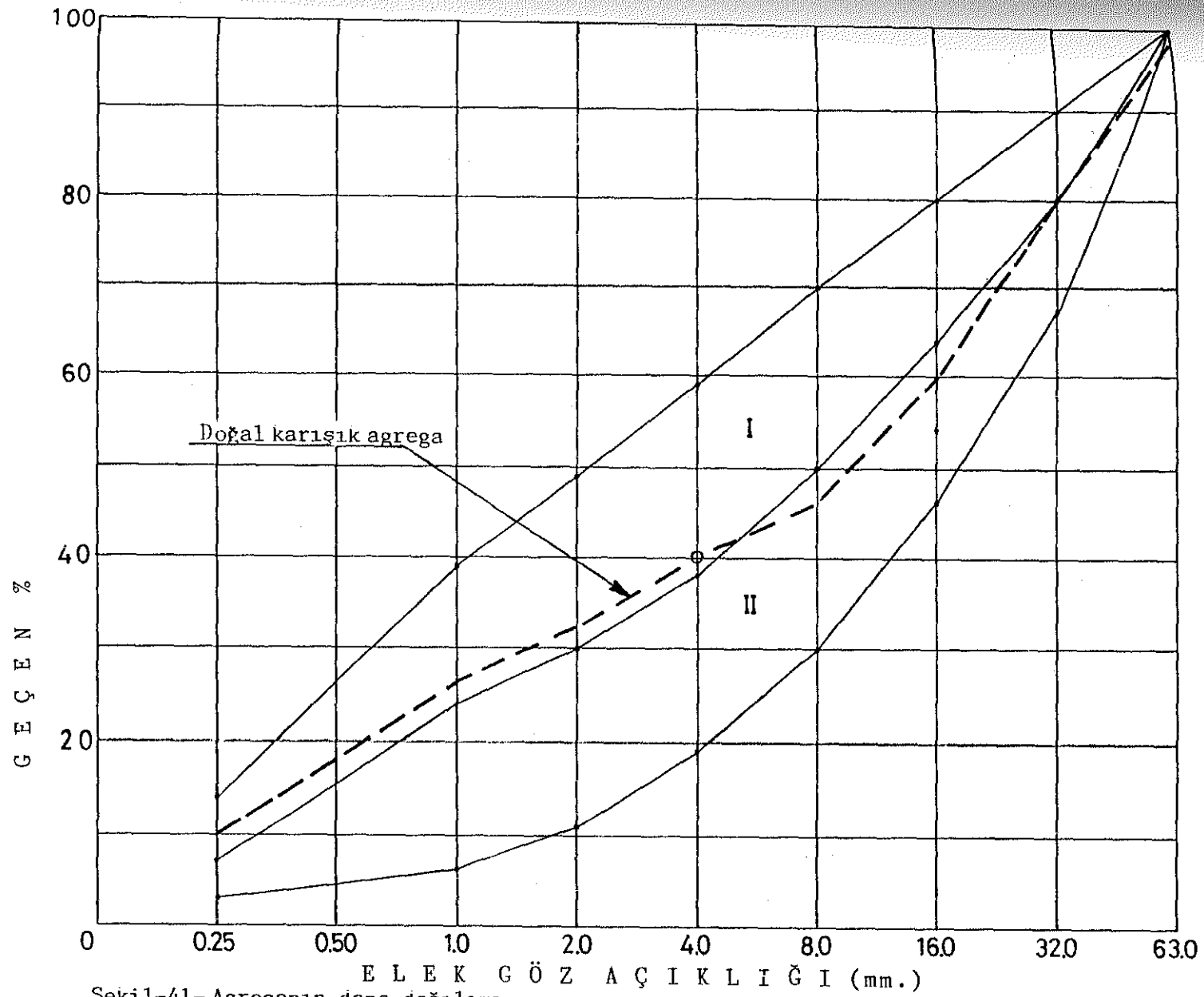
BS 16			
Malzeme	Ağırlık (kg)	Özgül Ağırlık kg/dm ³	Hacim (dm ³)
Çimento	257	3.15	82
Su	180	1.0	180
Hava	+ -	-	+ 10
Çimento+su+hava	437		272
Kum	739	2.53	292
İnce çakıl	569	2.61	218
İri çakıl	569	2.61	218
Toplam Beton	2314		1000

BS 20			
Malzeme	Ağırlık (kg)	Özgül Ağırlık kg/dm ³	Hacim (dm ³)
Çimento	290	3.15	92
Su 180	180	1.0	180
Hava	+ -		+ 10
Çimento+su+hava	470		282
Kum	729	2.53	288
İnce çakıl	561	2.61	215
İri çakıl	561	2.61	215
Toplam Beton	2321		1000

Yukarıda verilen karışım oranlarına uygun 16 silindirik deney numunesi hazırlanmış ve imal edilen silindirik betonların 8 ve 28 günlük basınç dirençleri ölçülmüştür.

Beton sınıfı	8 gün	28 gün	Örnek sayısı
BS 16	94	147	8
BS 20	134	193	8

Bulunan sonuçlara göre istenen mukavemetler elde edilememiştir. Yazar, bunun nedeninin kökeni ofiyolitik ve volkanik kayalardan oluşan çakıllardan olduğu düşünmektedir. Betonun mukavemetinin artırılabilmesi için Gurri formasyonuna ait tünel kazısından çıkarılacak kireçtaşlarının kırılıp granülometrisi düzeltilerek betona ilave edilmesi gerekmektedir. Kireçtaşlarının kırmataş olarak hangi oranlarda betona katılması gerektiği ayrıca yapılacak deneylerle belirlenebilir.



Şekil-41-Agreganın dane dağılımı
Granulometry of aggregate.

Tablo-49- Beton sınıflarının basınç dayanımı
Streinght of concrete

Beton Sınıfı	Karakteristik basınç dayanımı (silindir) kg/cm^2	Ortalama basınç dayanımı (silindir) kg/cm^2
BS 14	140	180
BS 16	160	200
BS 20	200	260
BS 25	250	310
BS 30	300	360
BS 35	350	430
BS 40	400	480
BS 45	450	530
BS 50	500	580

Tablo-50- Basınç dayanımlarına göre su çimento oranı
Water, cement ration according to streinght

28 Günlük Beton basınç dayanımı kg/cm^2	Su çimento oranı (Ağırlık esasına göre) (W/C)	
	Hava katkısız beton	Hava katkılı beton
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Tablo-51- Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme değerleri
Slump rate of severe building.

Yapı Elemanları	Çökme değerleri (cm)	
	Max.	Min.
Betonarme temeller	8	3
Donatsız beton temeller, kesonlar ve alt yapı duvarları, kanal kaplama betonları	7	2
Döşeme, kiriş, kolon, betonarme perdeler, tünel yan ve kemer betonları	10	5
Yol kaplama betonları, köprü ayakları	5	3
Tünel taban kaplama betonları	5	2

Tablo-52-Karışım suyu miktarı
Amount of mixed water

	Verilen agreganın en büyük dane çapları için karışım suyu miktarı lt/m ³						
Dane çapı (mm)	9.250	12.700	19.100	25.400	38.100	50.800	76.200
Çökme Değeri(cm)	(Hava katkısız beton için)						
2- 6	210	220	185	180	165	155	145
7-12	230	220	205	195	180	170	160
13-17	245	230	215	205	190	180	170
Sıkışık hava %si	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3

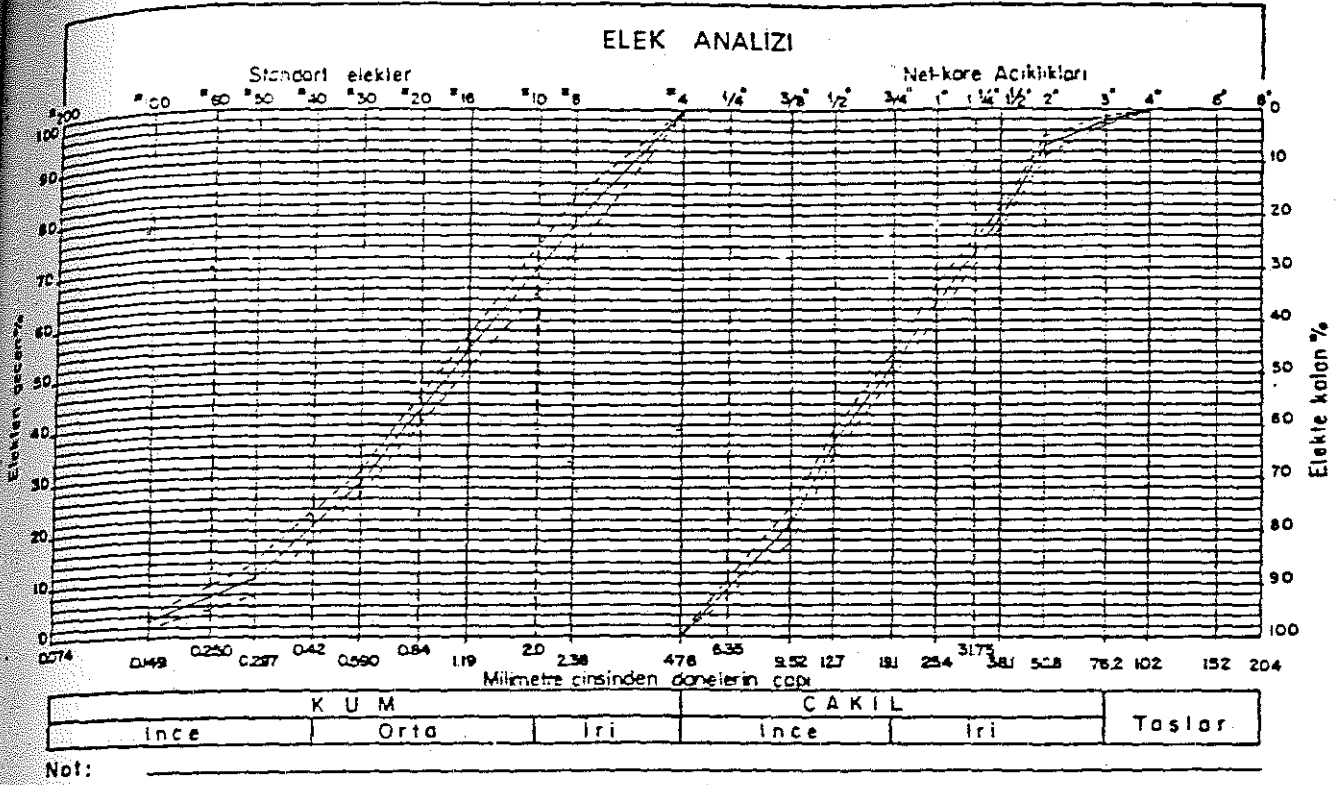
A BÖLGESİ DENEY SONUÇLARI VE GRAFİKLER

KOP TUNELİ PROJESİ				
ORTALAMA AGREGA FİZİKSEL DENEY SONUÇLARI				
BÖLGE A				
GENEYLER	Limit	X	±	%
Esirim Hac. Kum		1.70	±	0.01
Ağırlık				
gr/cm ³ Cakıl		1.67	±	0.02
Özgül Kum		2.53	±	0.01
Ağırlık	Min 2.60			
gr/cm ³ Cakıl		2.57	±	0.05
SU Kum		1.18	±	0.45
Emme	Max % 1			
% Cakıl		1.79	±	0.28
200 no. elekten geç	Max % 3-5	3.80	±	0.68
Na2 SO4 Kum	Max 15	20.66	±	2.33
Don kaybı				
% Cakıl	Max 18	23.08	±	1.09
Los-Angeles 100 dv	Max 10	3.53	±	0.31
Asınma kaybı				
% 500 dv	Max 40-50	18.71	±	0.43
Kumun incelik modülü %		4.24	±	0.15

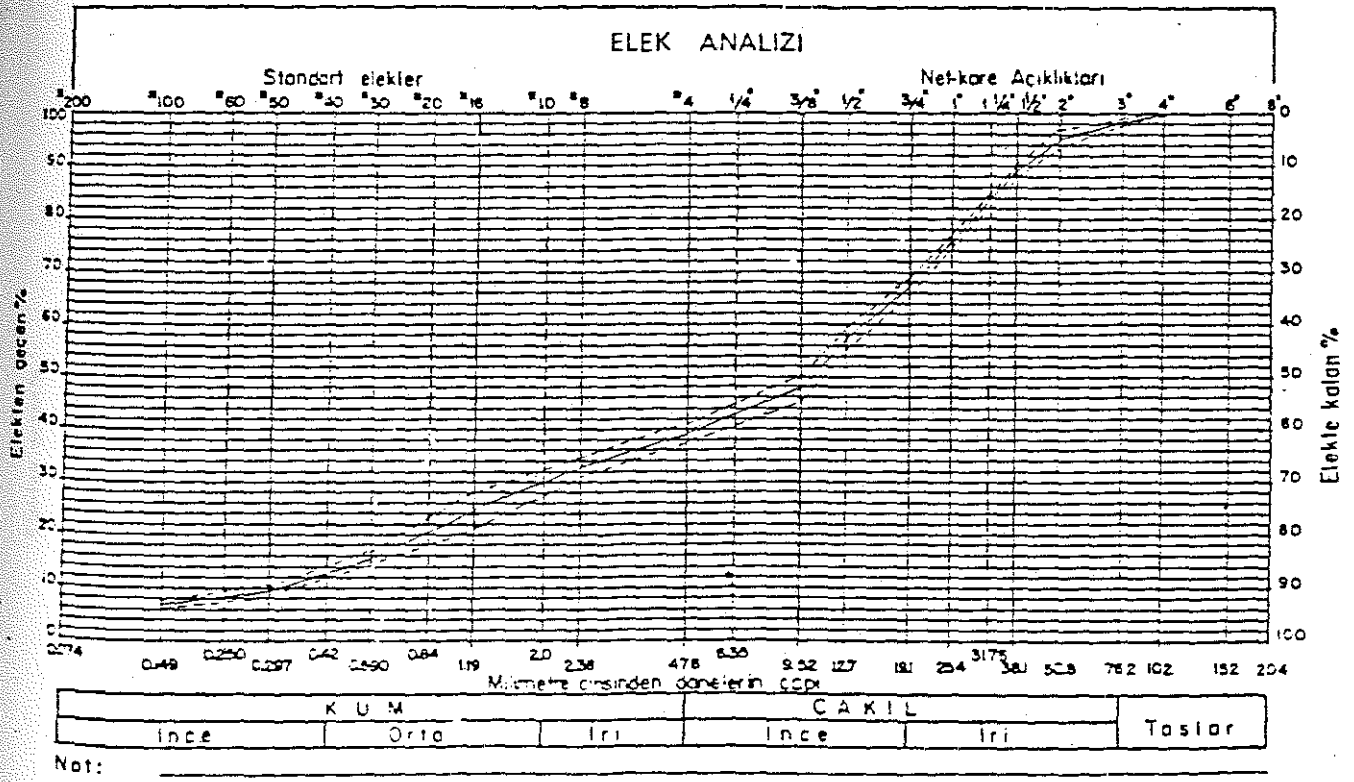
KOP TUNELİ PROJESİ A BÖLGESİ

STANDART ELEKLER ÜZERİNDE KALAN ORTALAMA MİKTARLAR %

	C	A	1	1/2	1	3/8	4	6	10	16	30	50	100
Elekt. No	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	4	6	10	16	30	50	100
Dane Cayı mm	50.80	38.10	25.40	19.10	12.70	9.52	4.76	2.38	1.19	0.59	0.30	0.15	
Elekte Kalan Ortalama %	6.99	13.39	10.39	12.09	14.81	15.82	12.34	21.31	24.24	25.44	18.11	7.25	
Standart Sapma %	2.09	1.35	2.55	1.80	2.25	3.10	2.22	4.43	3.65	1.97	2.96	1.64	
Σ + %	9.08	14.74	12.94	13.89	17.06	18.92	14.56	25.74	27.89	27.41	21.07	8.89	
Σ - %	4.90	12.04	13.84	10.29	12.56	11.72	10.12	16.88	21.55	23.47	15.13	6.31	



A- BÖLGESİ KUM VE ÇAKIL ORTALAMA VE STANDART SAPMA DEĞERLERİ



A-BÖLGESİ T. ENAN MALZEME ORTALAMA VE STANDART SAPMA DEĞERLERİ

 ** KOP TUNEL PROJESİ **
 ** AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ **

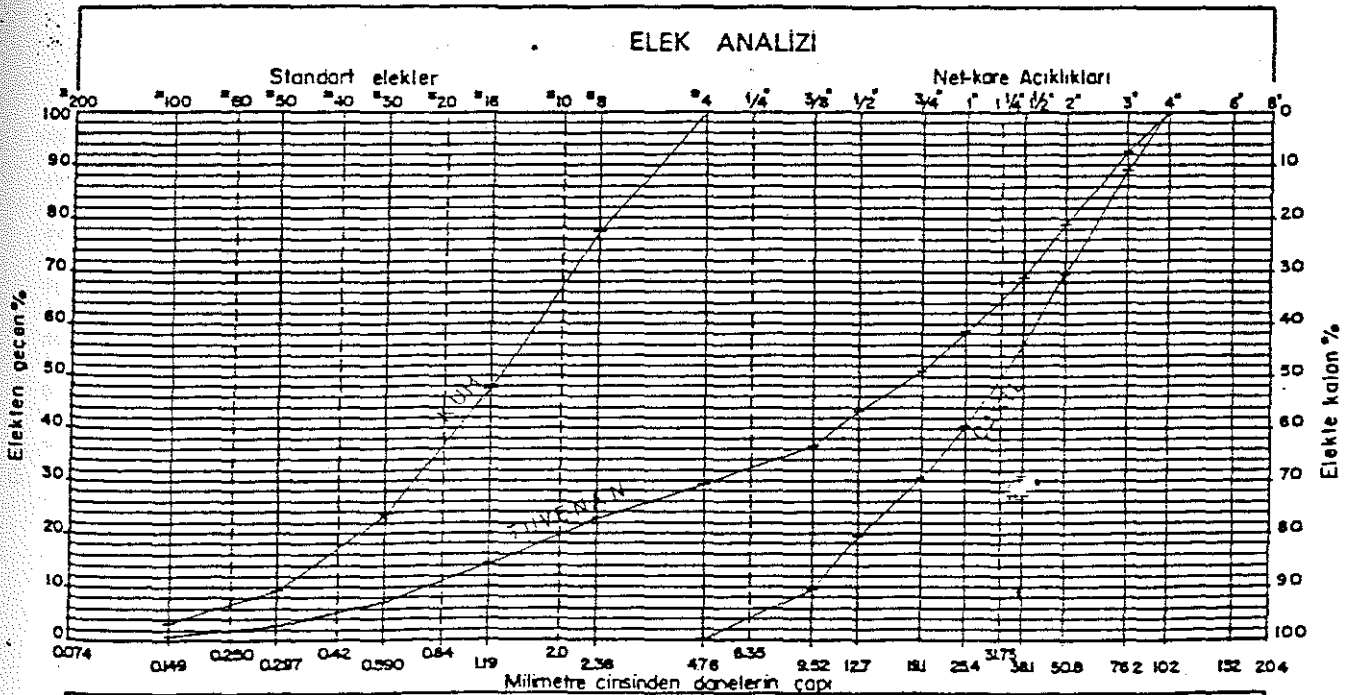
 NUMUNE NUMARASI = 100

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	2241	11.0	7.8
2 1/2	2257	11.2	7.9
2	1627	8.0	5.7
1 1/2	2798	13.8	9.7
1	3117	15.4	10.8
3/4	1995	9.8	6.9
1/2	2289	10.9	7.7
3/8	2118	10.4	7.3
4	1929	9.5	6.7
TOP. ÇAK.	20293		
KUM	8500		
TOP. TUV	28793		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	223	22.3	6.6
16	301	30.1	8.9
30	238	23.8	7.0
50	144	14.4	4.3
100	58	5.8	1.7
PAH	36	3.6	1.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.69
 ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.65
 KUMUN İNCELİK MODÜLÜ % = 4.38
 İKİYÜZ İNÖLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 4.17
 ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.61
 KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
 ÇAKILDA SU EMME % = 1.70
 KUMDA SU EMME % = 1.80
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.90
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.96
 ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DON KAYBI % = 24.80
 KUMDA SODYUM SÜLFAT DON KAYBI % = 21.46



Not:

** KOP TUNEL PROJESİ **
** AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ **

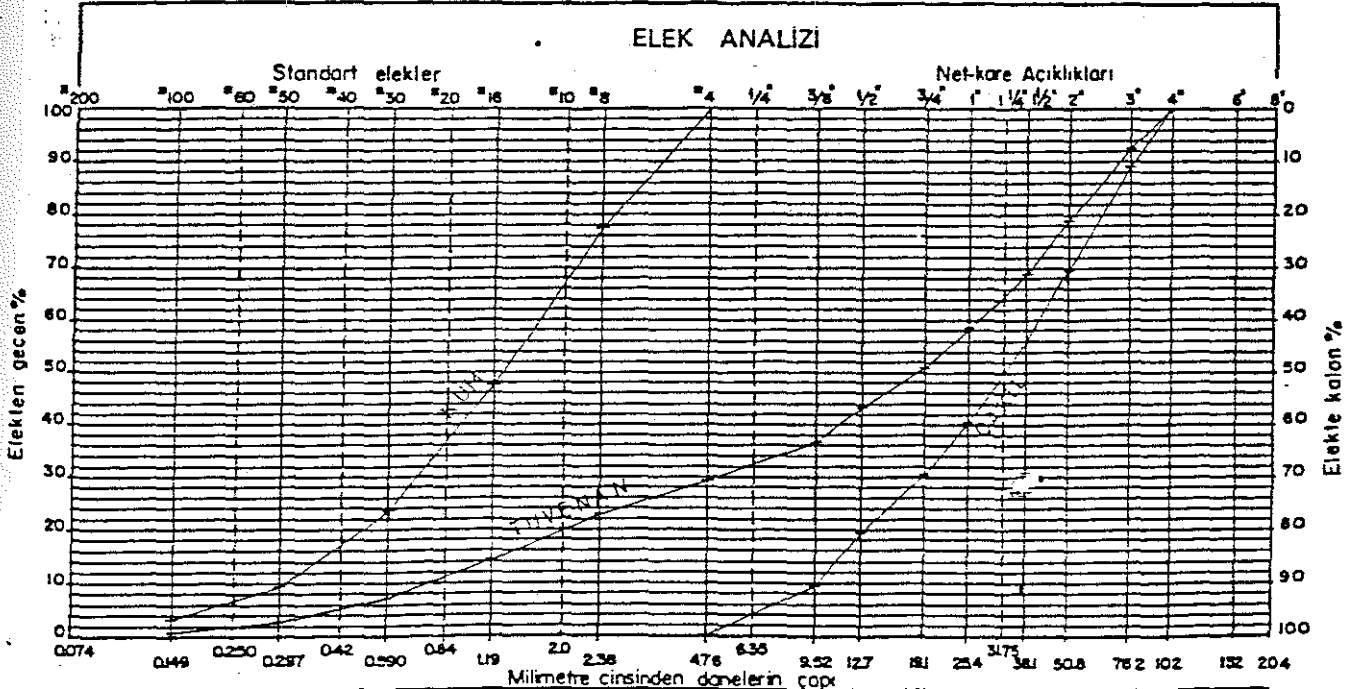
NÜMUNE NUMARASI = 100

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	2241	11.0	7.8
2 1/2	2267	11.2	7.9
2	1627	8.0	5.7
1 1/2	2798	13.8	9.7
1	3117	15.4	10.8
3/4	1995	9.8	6.9
1/2	2209	10.9	7.7
3/8	2110	10.4	7.3
4	1929	9.5	6.7
TOP.ÇAK.	20293		
KUM	8508		
TOP.TUV	28793		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	223	22.3	6.6
16	301	30.1	8.9
30	238	23.8	7.0
50	144	14.4	4.3
100	58	5.8	1.7
PAN	36	3.6	1.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.69
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.65
KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.38
İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN % = 4.17
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.61
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
ÇAKILDA SU EMME % = 1.70
KUMDA SU EMME % = 1.80
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.90
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.96
ÇAKILDA SODYUM SULFAT DON KAYBI % = 24.88
KUMDA SODYUM SULFAT DON KAYBI % = 21.46



K U M			Ç A K I L		Taşlar
Ince	Orta	İri	Ince	İri	

Not:

 KOP TUNELİ PROJESİ
 AĞIRLA FİZİKSEL DENEYLERİ
 NUMARASI = 101

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	2829	13.8	9.6
2 1/2	2346	11.4	8.0
2	1839	8.9	6.3
1 1/2	2394	11.6	8.2
1	2794	13.6	9.5
3/4	2148	10.4	7.3
1/2	2350	11.4	8.6
3/8	1989	9.7	6.8
4	1874	9.1	6.4
TOP.ÇAK.	20565		
KUM	8790		
TOP.TUV	29355		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

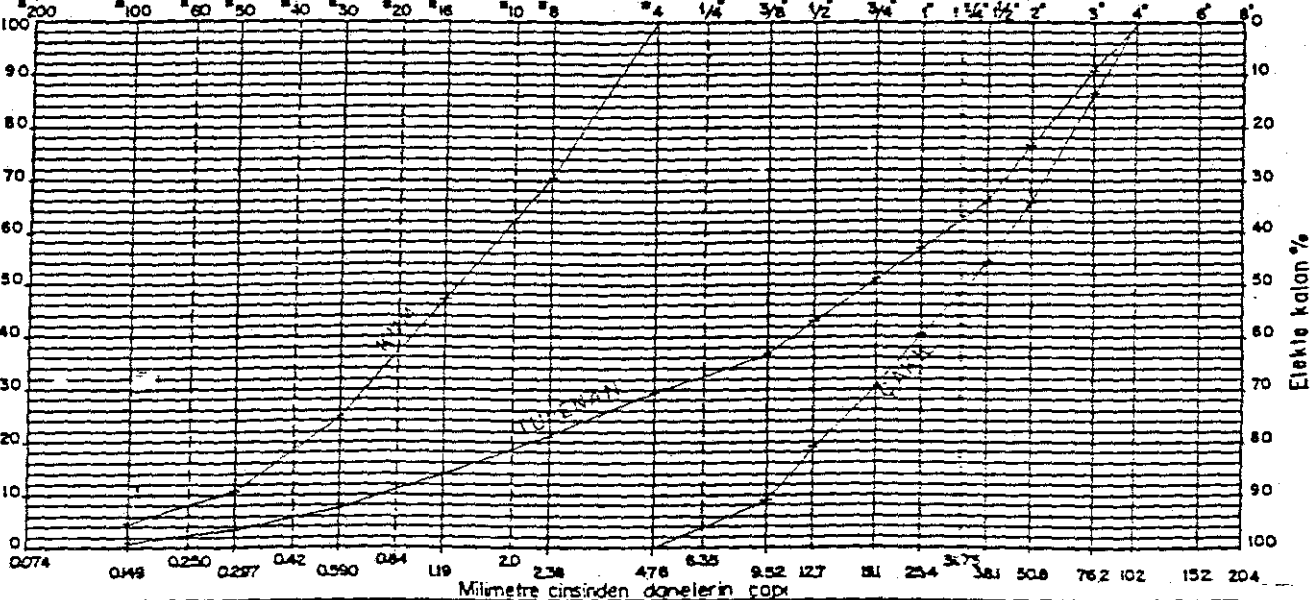
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	296	29.6	8.9
16	236	23.6	7.1
30	224	22.4	6.7
50	136	13.6	4.1
100	63	6.3	1.9
200	45	4.5	1.3

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.70
 ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.65
 KUMUN İNCELİK MODULU = 4.43
 İKTİDAR NÖLÜ ELEKTEN BECEN % = 3.06
 ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.62
 KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
 ÇAKILDA SU EMME % = 1.11
 KUMDA SU EMME % = 1.23
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 4.88
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 19.70
 ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 22.26
 KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 20.27

ELEK ANALİZİ

Standart elekler

Net-kare Açıklıkları



K U M			Ç A K I L		Toslar
İnce	Orta	İri	İnce	İri	

Not:

KOP TUNEL PROJESİ
AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ

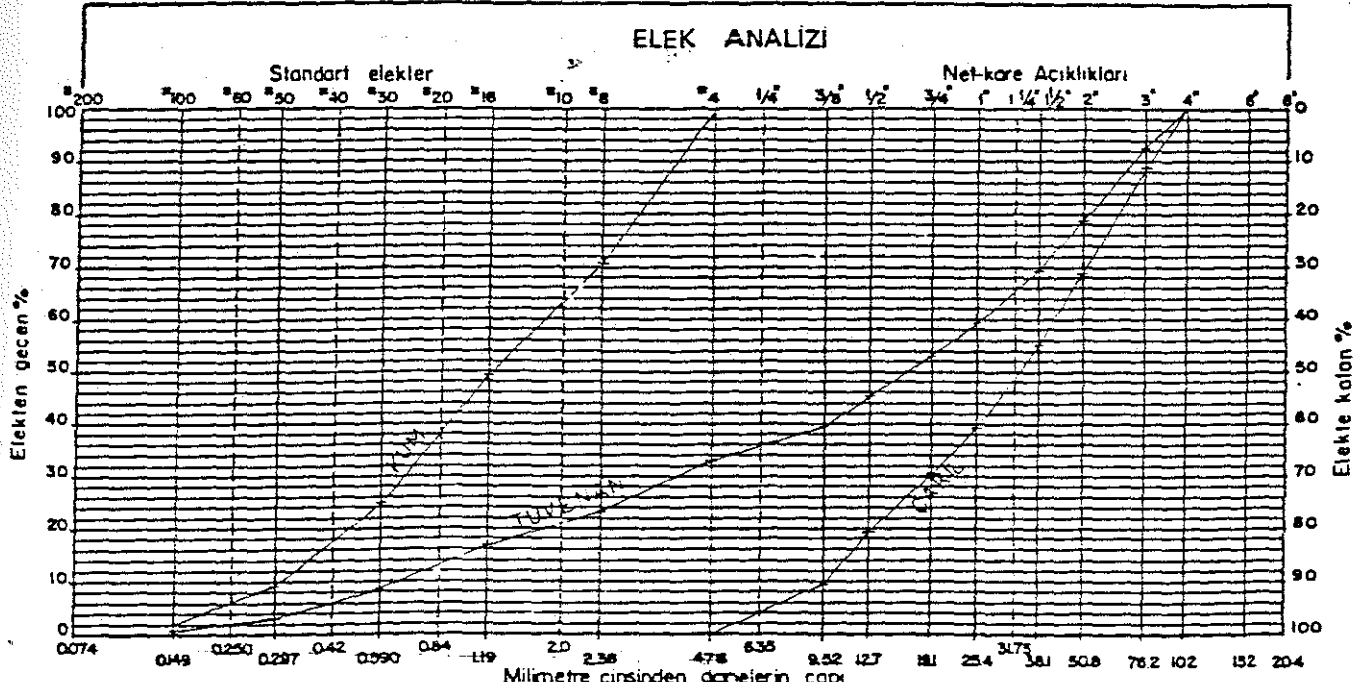
YAPIM NO NUMARASI = 103

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	2235	11.6	7.8
2 1/2	2246	11.7	7.9
2	1589	8.3	5.6
1 1/2	2534	13.2	8.9
1	2946	15.4	10.3
3/4	1836	9.6	6.4
1/2	2117	11.0	7.4
3/8	1838	9.6	6.4
4	1847	9.6	6.5
TOP. ÇAK.	19188		
KUM	9376		
TOP. TUV	28564		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	282	28.2	9.3
16	224	22.4	7.3
30	248	24.8	8.1
50	154	15.4	5.0
100	72	7.2	2.4
PAN	20	2.0	0.7

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.69
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.66
KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.43
100'ÜZ NÖLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 4.33
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.61
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
ÇAKILDA SU EMME % = 1.76
KUMDA SU EMME % = 1.60
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.68
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.64
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 24.71
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 20.86



K U M			Ç A K I L		Tasar
Ince	Orta	İri	Ince	İri	

Not:

** KOP TUNEL PROJESİ **
** AGRESA FİZİKSEL DENEYLERİ **

NUMUNE NUMARASI = 105

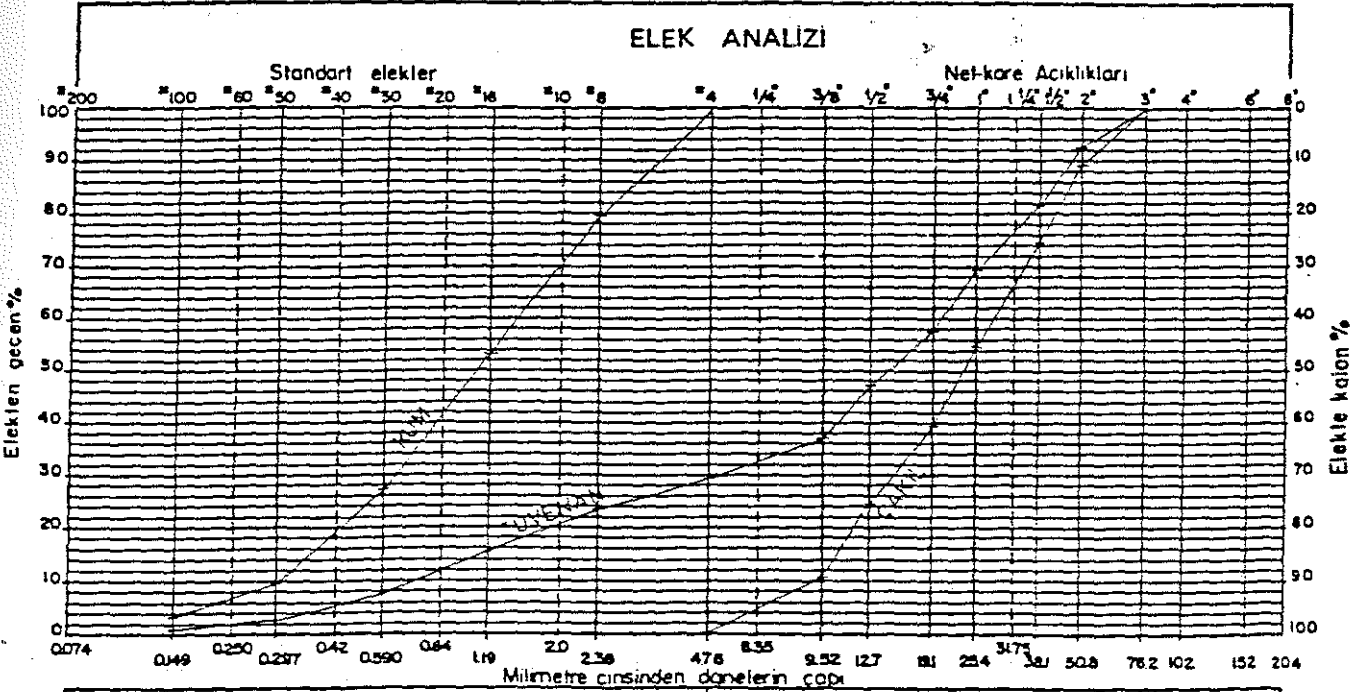
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	589	2.0	2.0
2	2786	9.8	11.8
1 1/2	4470	14.9	25.9
1	5990	20.0	45.8
3/4	4312	14.4	60.2
1/2	4607	15.3	75.5
3/8	4174	13.9	89.4
4	3176	10.6	100.0
TOP.ÇAK.	30824		
KUM	12500		
TOP.TUW	42524		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 800

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	162	20.2	20.2
16	212	26.5	46.7
30	211	26.3	73.0
50	137	17.2	90.2
100	53	6.6	96.8
PAN	26	3.2	100.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.70
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.69
KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.27
İKİYÜZ NÖLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 3.37
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.57
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
ÇAKILDA SU EMME % = 1.80
KUMDA SU EMME % = 8.70
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.46
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.88
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DON KAYBI % = 22.25
KUMDA SODYUM SÜLFAT DON KAYBI % = 22.12

ELEK ANALİZİ



Not:

** KOP TUNEL PROJESİ **
** AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ **

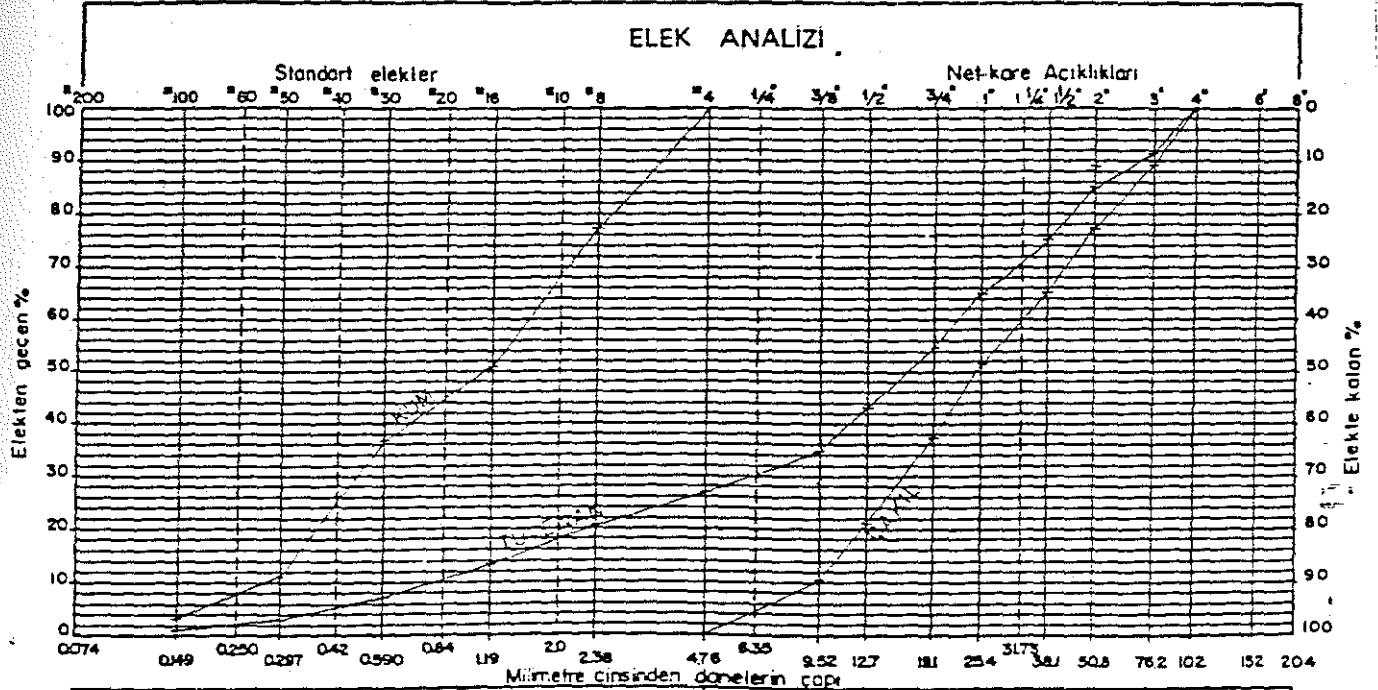
NUMUNE NUMARASI = 106

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	3576	11.0	8.1
2 1/2	1389	4.3	3.1
2	2512	7.7	5.7
1 1/2	3896	12.6	8.8
1	4318	13.3	9.7
3/4	4672	14.4	10.5
1/2	4816	14.8	10.9
3/8	3987	12.3	9.0
4	3349	10.3	7.5
TOP. CAK.	32515		
KUM	11850		
TOP. TUV	44365		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	239	23.8	6.2
16	260	26.0	6.9
30	249	24.9	6.6
50	148	14.5	4.0
100	76	7.6	2.0
PAN	37	3.7	1.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.70
CAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.71
KUMUN İNCELIK MODULU % = 4.31
İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN % = 3.35
CAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.63
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.48
CAKILDA SU EMME % = 1.83
KUMDA SU EMME % = 1.35
LOSANGELES ASTINMA KAYBI 100 DEVİR % = 4.04
LOSANGELES ASTINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.44
CAKILDA SODYUM SÜLFAT DON KAYBI % = 21.81
KUMDA SODYUM SÜLFAT DON KAYBI % = 20.64



Not:

KOP TUNEL PROJESİ
AGREGA FİZİKSEL DÖREYLERİ

NUMUNE NUMARASI = 111

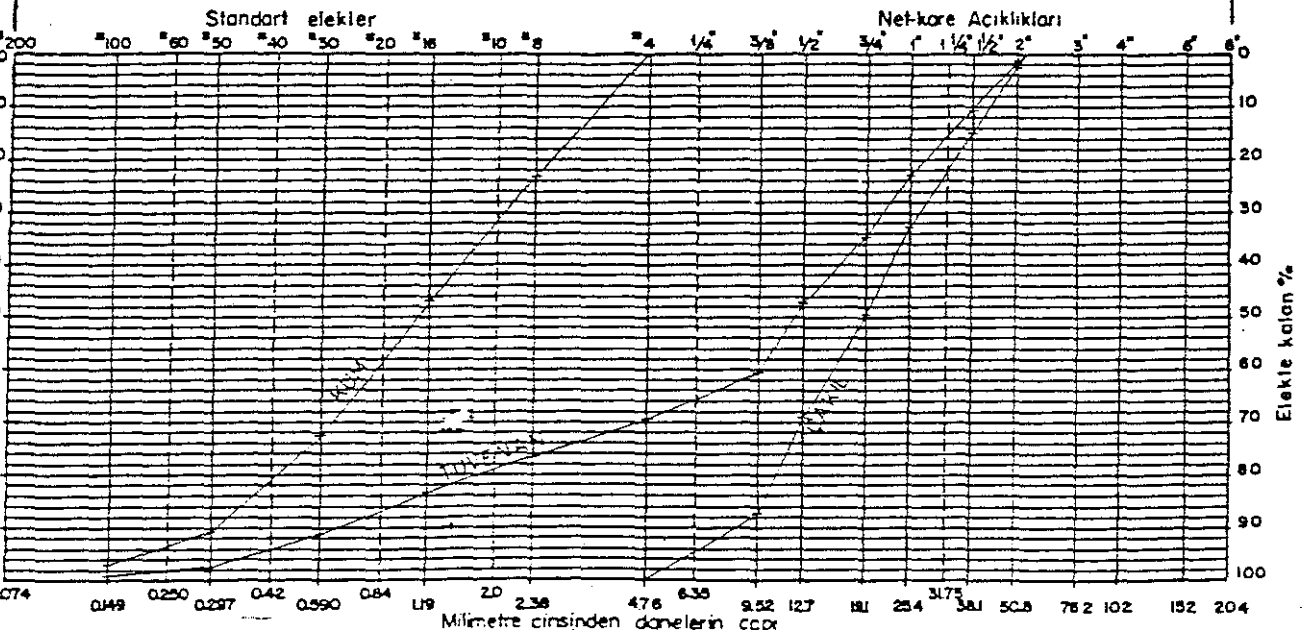
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	0	0.0	0.0
2	605	2.5	1.8
1 1/2	3053	12.7	8.9
1	4348	18.1	12.6
3/4	3868	16.1	11.2
1/2	4497	18.8	13.1
3/8	4533	18.9	13.2
4	3053	12.8	8.9
TOP.CAK.	23959		
KUM	10497		
TOP.TUM	34456		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	231	23.1	7.0
16	234	23.4	7.1
30	258	25.8	7.9
50	186	18.6	5.7
100	62	6.2	1.9
PAN	29	2.9	0.9

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.70
CAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.68
KUMUN İNCELTİK MODULU % = 4.30
İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN % = 3.37
CAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.57
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
CAKILDA SU EMME % = 1.80
KUMDA SU EMME % = 0.80
LOSANGELES ASIRMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.42
LOSANGELES ASIRMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.22
CAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 22.55
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 21.95

ELEK ANALİZİ



Not:

** KOP TUNELİ PROJESİ **
** AGREGA FİZİKSEL DEĞERLERİ **

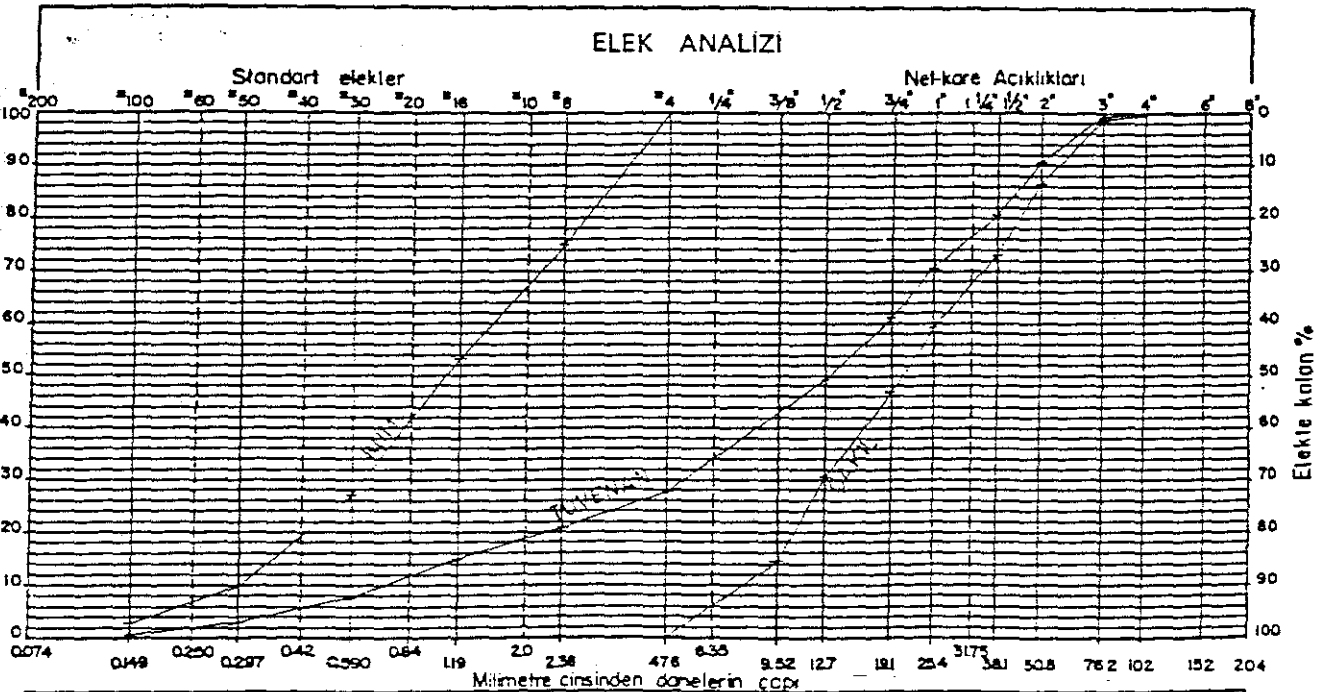
NUMUNE NUMARASI = 114

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	356	1.2	0.9
2 1/2	1284	4.4	3.2
2	2365	8.1	5.8
1 1/2	3796	13.0	9.4
1	4238	14.5	10.5
3/4	3596	12.3	8.9
1/2	4650	15.9	11.5
3/8	4784	16.4	11.8
4	4150	14.2	10.3
TOP.ÇAK.	29219		
KUM	11236		
TOP.TUM	40455		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	253	25.3	7.0
16	212	21.2	5.9
30	261	26.1	7.3
50	174	17.4	4.8
100	74	7.4	2.0
PAN	26	2.6	0.7

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr./cm³ = 1.69
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr./cm³ = 1.70
KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.32
İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN % = 3.37
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr./cm³ = 2.57
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr./cm³ = 2.53
ÇAKILDA SU EMME % = 1.80
KUMDA SU EMME % = 1.40
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.70
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.54
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DON KAYBI % = 22.72
KUMDA SODYUM SÜLFAT DON KAYBI % = 23.34



Not:

 ** KOP TUNEL PROJESİ **
 ** AGREGA FİZİKSEL DENİYLERİ **

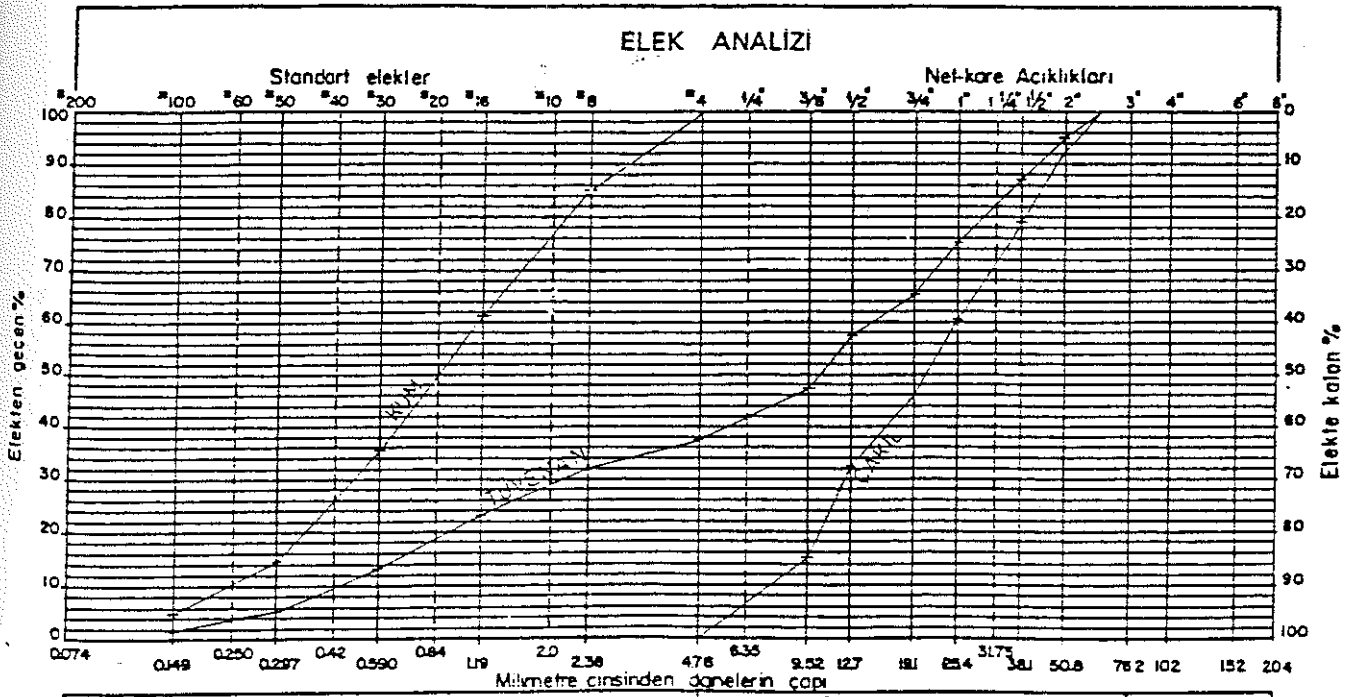
 NUMUNE NUMARASI = 115

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	0	0.0	0.0
2	2345	8.0	8.0
1 1/2	3831	13.1	21.1
1	5513	18.8	39.9
3/4	3536	12.1	52.0
1/2	4670	15.9	67.9
3/8	4970	17.0	84.9
4	4430	15.1	100.0
TOP.ÇAK.	29295		
KUM	17700		
TOP.TUV	46995		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 800

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	121	15.2	15.2
16	188	23.5	38.7
30	207	25.8	64.5
50	170	21.2	85.8
100	73	9.1	94.8
PAY	41	5.2	100.0

KUMUN BİRİM HACİN AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.69
 ÇAKILIN BİRİM HACİN AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.65
 KUMUN İNCELİK MODULU = 3.99
 İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN % = 3.46
 ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.50
 KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
 ÇAKILDA SU EMME % = 1.99
 KUMDA SU EMME % = 0.90
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.28
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.58
 ÇAKILDA SODYUM SULFAT DON KAYBI % = 22.58
 KUMDA SODYUM SULFAT DON KAYBI % = 21.81



K U M			Ç A K I L		Tasar
İnce	Orta	İri	İnce	İri	

Not:

** KOP TUNELİ PROJESİ **
** AGREGA FİZİKSEL DEĞERLERİ **

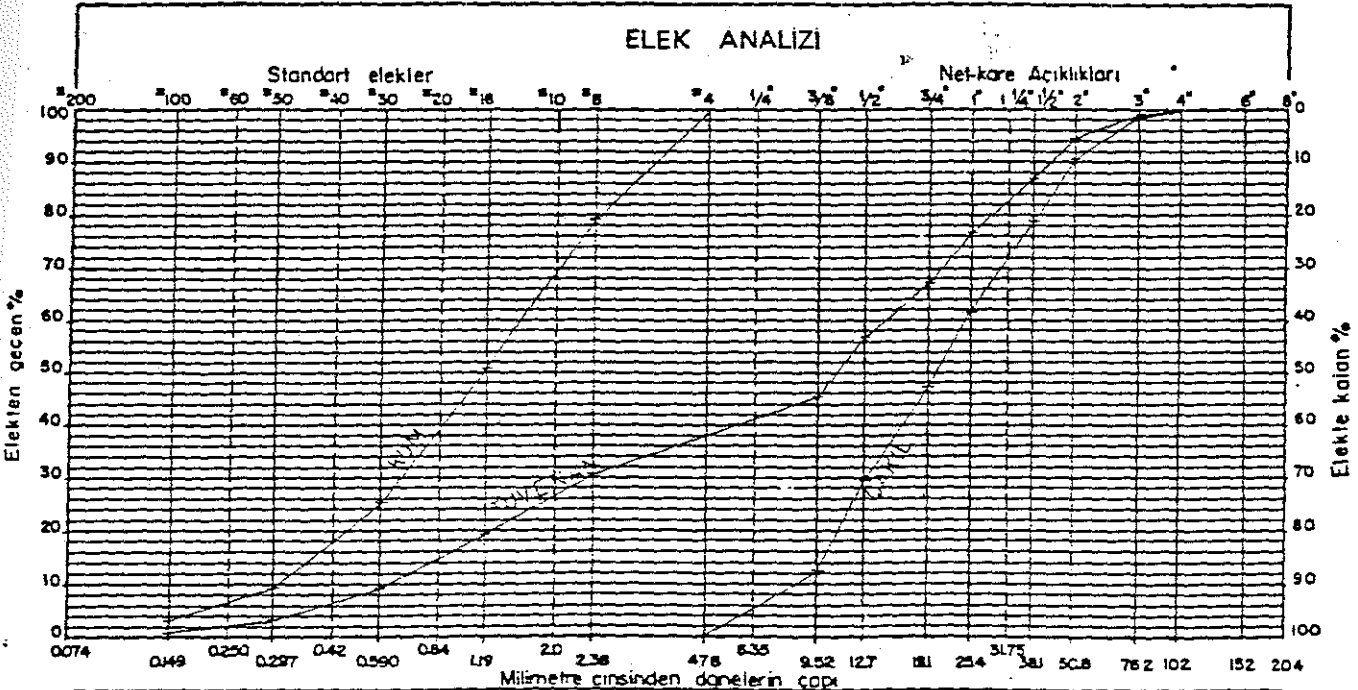
MÜHÜR NO = 115

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	376	1.5	8.9
2 1/2	1126	4.4	2.7
2	896	3.5	2.1
1 1/2	3112	12.0	7.5
1	4376	16.9	10.5
3/4	3754	14.5	9.8
1/2	4516	17.5	18.8
3/8	4597	17.8	11.8
4	3125	12.1	7.5
TOP. CAK.	25878		
KUM	15860		
TOP. TUV	41738		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINMIŞ KUM MİKTARI= 800

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	164	20.5	7.8
16	233	29.1	11.1
30	197	24.7	9.4
50	130	16.2	6.2
100	48	6.0	2.3
PAN	28	3.5	1.3

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.70
CAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.68
KUMUN İNCELİK MODÜLÜ = 4.32
İKİYÜZ NOLU ELEKTEYİ GEÇEN % = 3.39
CAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.61
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
CAKILDA SU EMME % = 1.29
KUMDA SU EMME % = 1.20
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.70
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 19.46
CAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 22.19
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 21.37



K U M			C A K I L		Tasar
Ince	Orta	İri	Ince	İri	

Not:

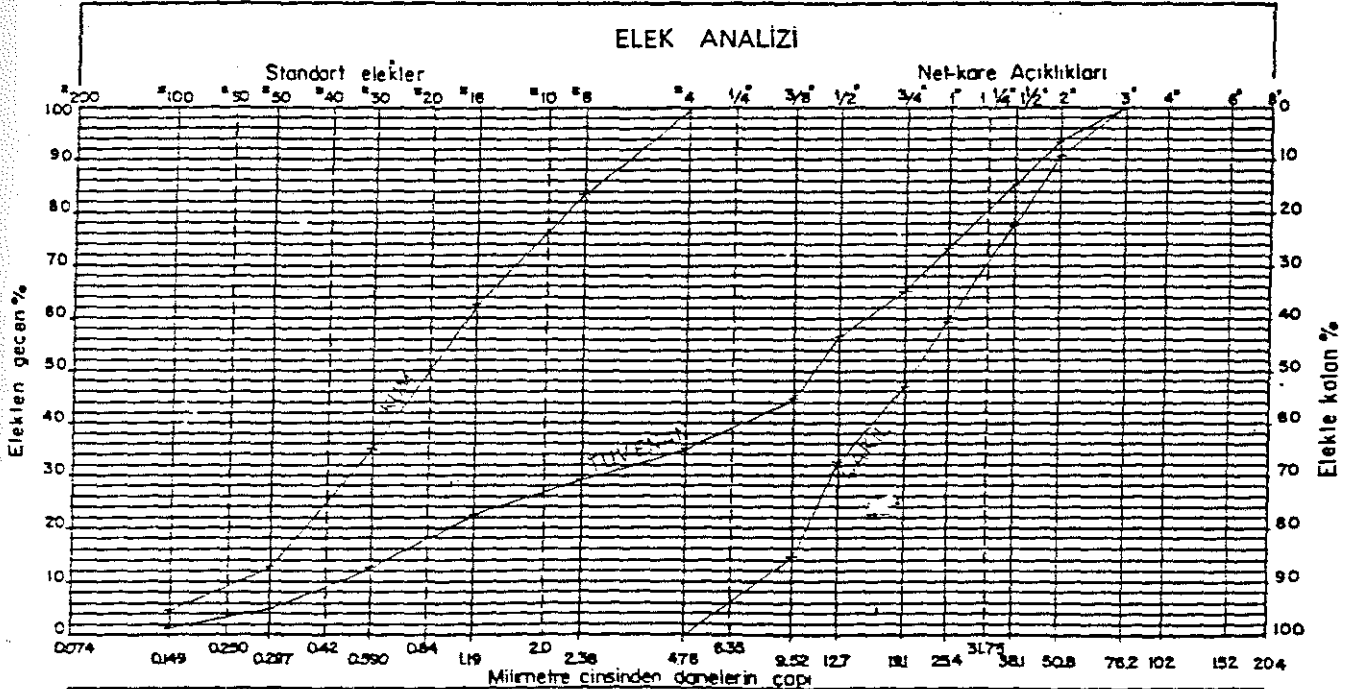
 ** KOP TUNELİ PROJESİ **
 ** AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ **

 NUMUNE NUMARASI = 118

ELEK NO	ELEKTE KAL. :	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	327	1.1	0.7
2	2451	8.4	5.4
1 1/2	3727	12.8	8.3
1	5286	18.1	11.7
3/4	3717	12.7	8.3
1/2	4236	14.5	9.4
3/8	5218	17.9	11.6
4	4218	14.5	9.4
TOP.ÇAK.	29180		
KUM	15867		
TOP.TUV	45047		
ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 800			

ELEK NO	ELEKTE KAL. :	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	133	16.6	5.9
16	164	20.5	7.2
30	227	28.4	10.0
50	173	21.6	7.6
100	67	8.4	3.0
PAN	35	4.4	1.6
			100.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.68
 ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.67
 KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.02
 İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN % = 3.87
 ÇAKILIN ÖZGÜ AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.48
 KUMUN ÖZGÜ AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.52
 ÇAKILDA SU EMME % = 2.13
 KUMDA SU EMME % = 1.10
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.18
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.50
 ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 22.80
 KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 21.57



Not:

** KOP TUNEL PROJESİ **
** AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ **

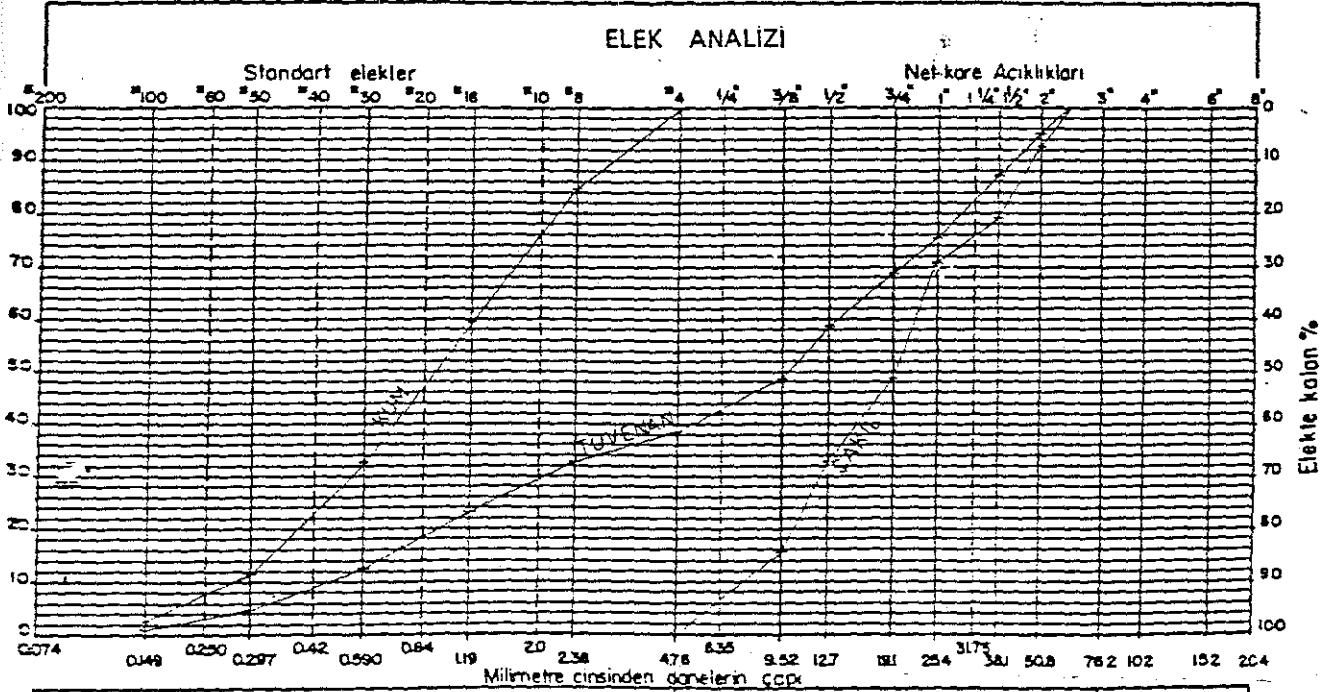
NUMUNE NUMARASI = 120

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	0	0.0	0.0
2	2340	7.8	4.8
1 1/2	3916	13.1	8.1
1	5627	18.8	11.6
3/4	3437	11.5	7.1
1/2	4781	16.0	9.8
3/8	5016	16.8	10.3
4	4737	15.9	9.8
TOP.ÇAK.	29854		
KUM	18690		
TOP.TUN	48544		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 800

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	125	15.6	6.0
16	196	24.5	9.4
30	217	27.2	10.5
50	167	20.8	8.8
100	74	9.2	3.5
PAN	22	2.7	1.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.71
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.65
KUMUN İNCELİK MODÜLÜ % = 4.08
İKİYÜZ NÖLÜ ELEKTEN BECERİ % = 3.45
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.49
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
ÇAKILDA SU EMME % = 2.05
KUMDA SU EMME % = 2.25
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.28
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.58
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 22.57
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 21.74



Not:

** KDP TUNEL PROJESİ **
** AĞREGA FİZİKSEL DENEYLERİ **

NUMUNE NUMARASI = 122

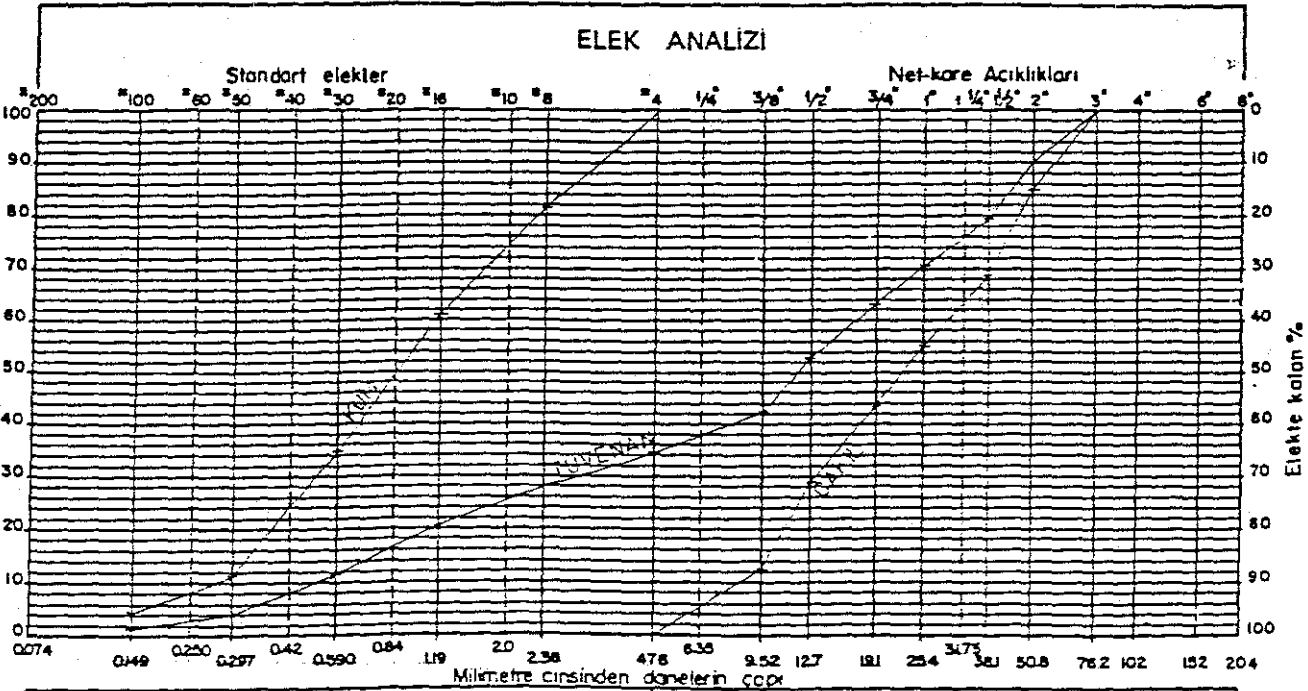
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	6	0.0	0.0
2 1/2	3681	10.7	10.7
2	1526	4.4	15.2
1 1/2	5539	16.1	31.3
1	4595	13.4	44.7
3/4	3941	11.5	56.1
1/2	5162	15.0	71.2
3/8	5727	16.7	87.8
4	4173	12.2	100.0
TDP.ÇAK.	34344		
KUM	17800		
TOP.TUV	52144		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINMIŞ KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	181	18.1	18.1
16	209	20.9	39.0
30	263	26.3	65.3
50	231	23.1	88.4
100	74	7.4	95.7
PAN	43	4.3	100.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.70
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.65
KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.07
İKİYÜZ NÖLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 5.25
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.60
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.54
ÇAKILDA SU EMME % = 1.82
KUMDA SU EMME % = 0.70
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.40
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.86
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 24.79
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 15.22

ELEK ANALİZİ



KOP TUNELİ PROJESİ
AGREGA FİZİKSEL DENETLERİ

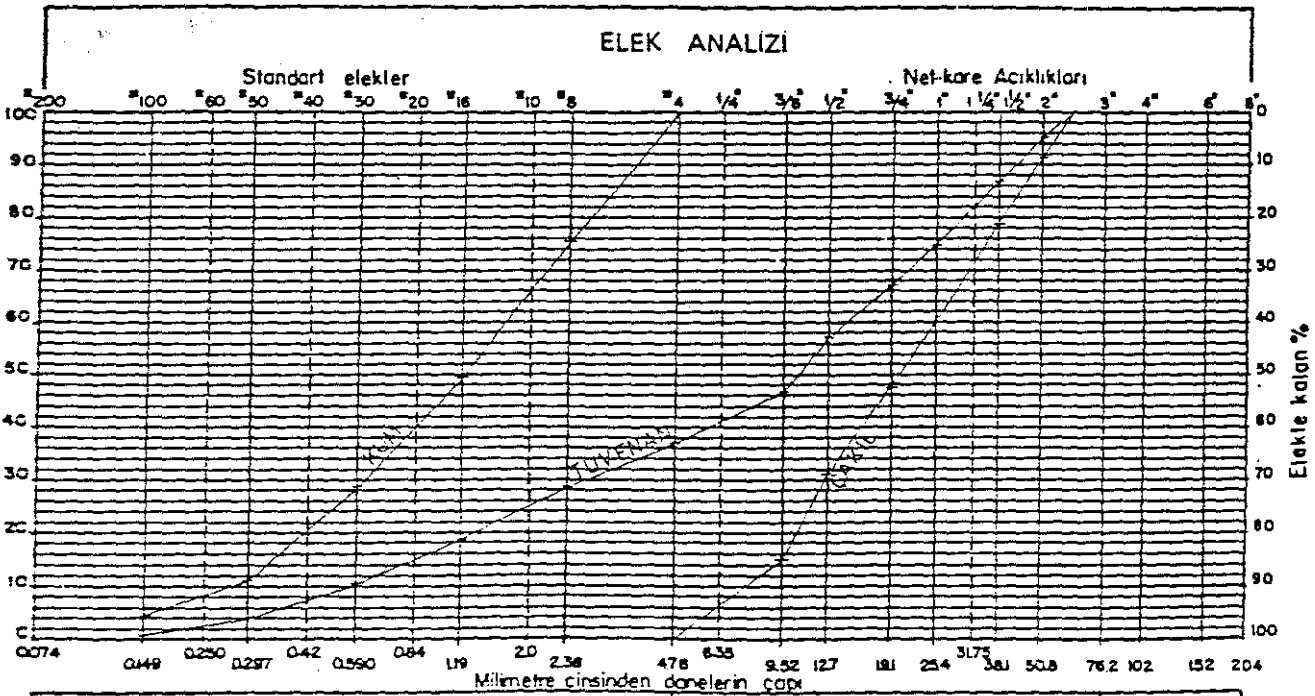
NUMUNE NUMARASI = 123

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	0	0.0	0.0
2	2545	8.4	8.4
1 1/2	3976	13.1	21.5
1	5614	18.5	40.0
3/4	3747	12.4	52.4
1/2	4891	16.1	68.6
3/8	4966	16.5	85.0
4	4541	15.0	100.0
TOP. CAK.	30300		
KUM	17890		
TOP. TUV	48190		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	242	24.2	24.2
16	260	26.0	50.3
30	212	21.2	71.5
50	176	17.6	89.1
100	68	6.8	95.9
PAN	41	4.1	100.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.72
CAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.68
KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.31
İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN % = 3.46
CAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.50
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
CAKILDA SU EMME % = 2.21
KUMDA SU EMME % = 0.85
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.26
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.48
CAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 22.31
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 21.62



K U M			C A K I L		Taslar
Ince	Orta	İri	Ince	İri	

Not:

** KOP TUNELİ PROJESİ **
** AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ **

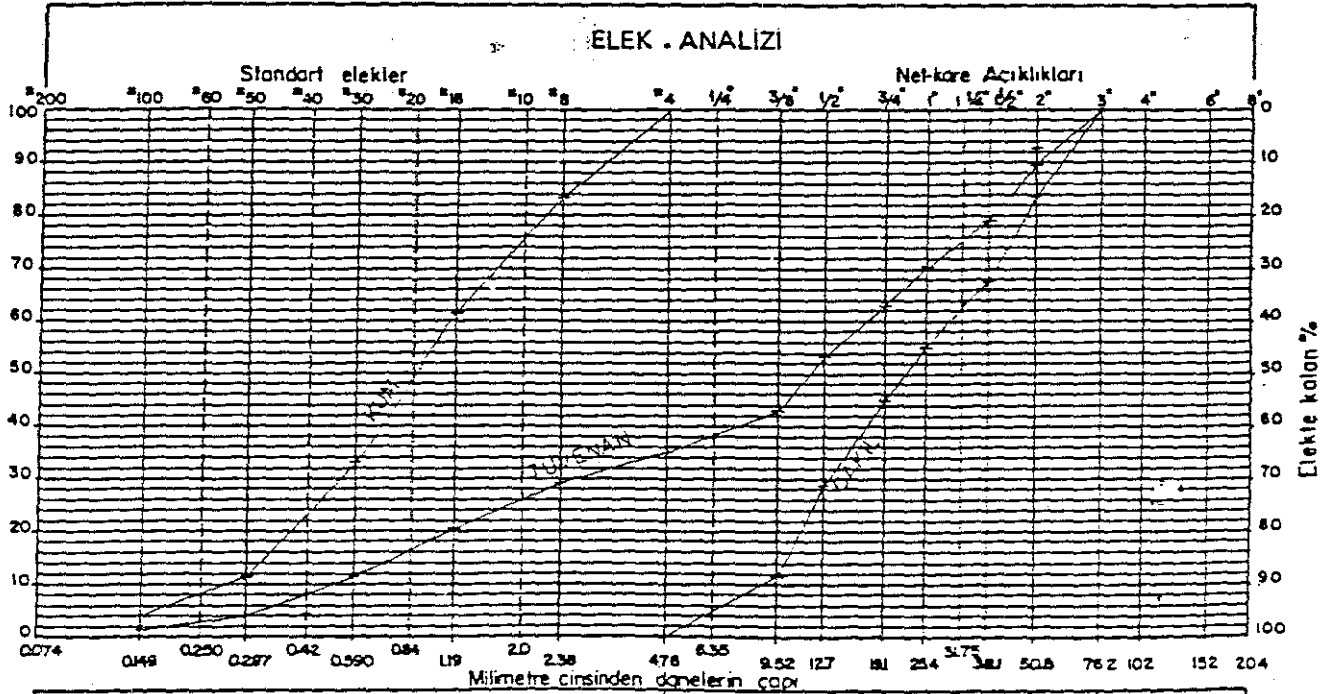
NUMUNE İNPARASI = 124

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	308	0.9	0.6
2 1/2	3574	10.3	6.7
2	1718	4.9	3.2
1 1/2	5617	16.1	10.5
1	4586	13.2	8.6
3/4	4916	11.5	7.5
1/2	5117	14.7	9.6
3/8	5714	16.4	10.7
4	4157	11.9	7.8
TOP. ÇAK.	34807		
KUM	18600		
TOP. TMM	53407		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	165	16.5	5.8
16	216	21.6	7.5
30	285	28.5	9.9
50	217	21.7	7.6
100	75	7.5	2.6
PAN	40	4.0	1.4

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.68
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.85
KUMUN İNCELİK MODULU = 4.06
İKİYÜZ MÖLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 5.28
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.60
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.54
ÇAKILDA SU EMME % = 1.83
KUMDA SU EMME % = 8.70
LOSANGELES ASIYMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.08
LOSANGELES ASIYMA KAYBI 500 DEVİR % = 18.98
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 24.78
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 15.22



Not:

B BÖLGESİ DENEY SONUÇLARI VE GRAFİKLER

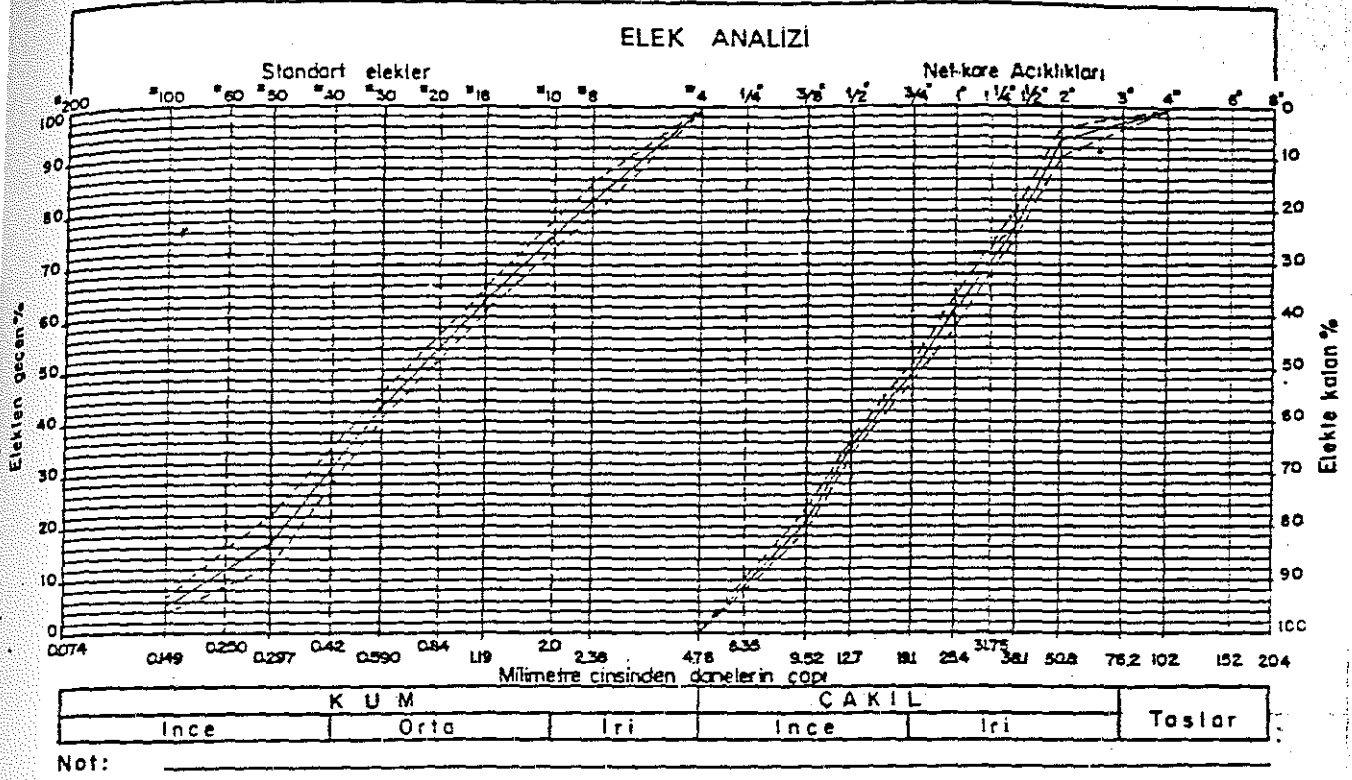
** KOP TUNELI PROJESİ **				
** ORTALAMA AGREGA FİZİKSEL DENİY SONUÇLARI **				

** BÖLGE B **				

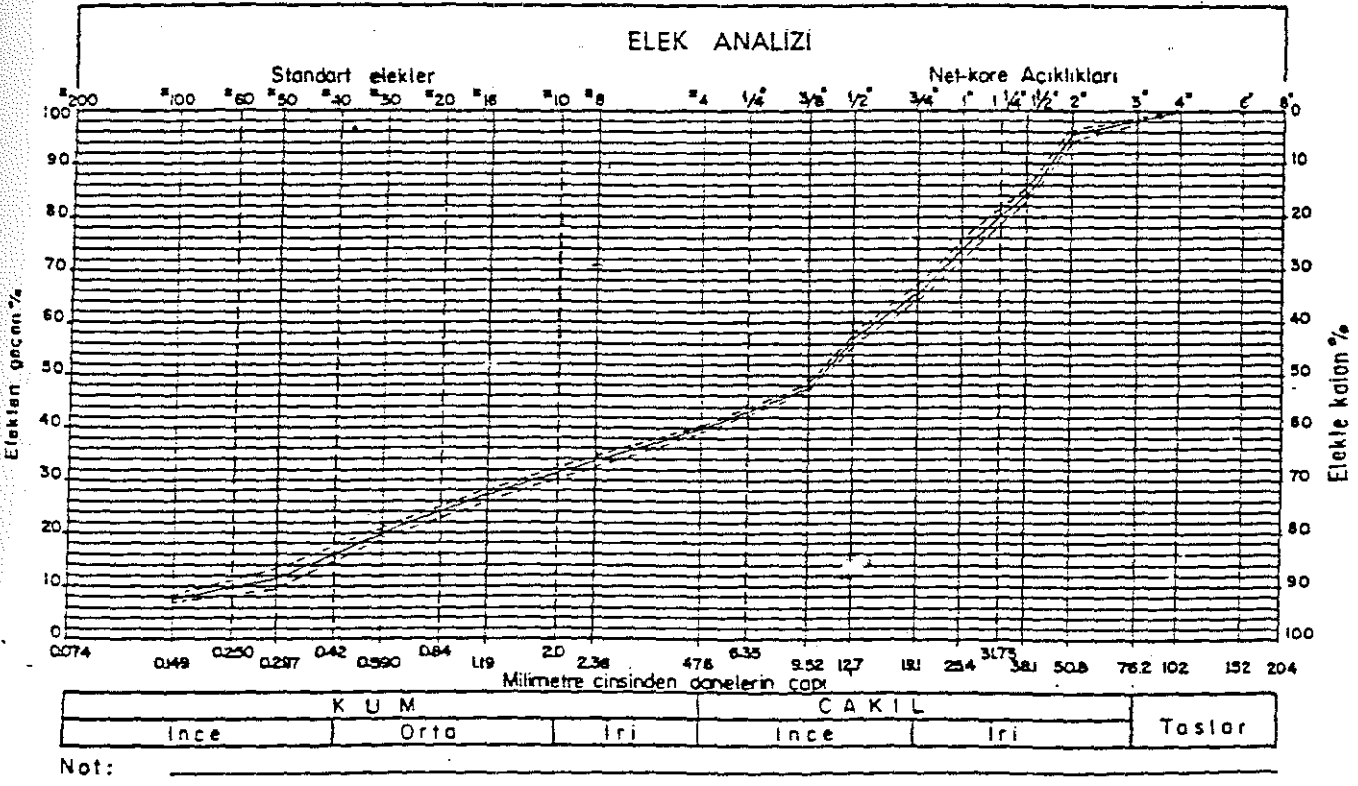
DENEYLER	Limit	X	±	S
Birin Hac : Kum :		1.65	±	0.03
Ağırlık : gr/cm ³ :	Cakıl :	1.51	±	0.06
Özgül : Kum :		2.54	±	0.02
Ağırlık : gr/cm ³ :	Cakıl :	2.64	±	0.09
SD : Kum :		1.29	±	0.07
Emme : Max % :				
% : Cakıl :		1.81	±	0.29
200 no. elekten geç. : Max % 3-5 :		3.86	±	0.34
Na2 SO4 : Kum : Max 15 :		12.02	±	0.56
Don kaybı : % : Cakıl : Max 18 :		22.95	±	2.14
Los-Angeles : 100 dv : Max 10 :		3.82	±	0.30
Asinma Kayı : % : 500 dv : Max 40-50 :		17.10	±	0.40
Kumun incelik modulu % :		3.91	±	0.13

KOP TUNELİ PROJESİ B BÖLGESİ
STANDART ELEKLER ÜZERİNDE KALAN ORTALAMA MİKTARLAR %

	C	A	K	I	L		K	U	N			
Elek No	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100
Dane Capi mm	50-60	36-10	25-40	19-10	12-70	9.57	4.76	2.38	1.19	0.59	0.30	0.15
Elekte Kalan Ortalama %	6.90	16.98	14.95	12.53	13.66	14.24	11.23	17.99	18.78	21.04	15.28	11.92
Standart Sapma %	2.63	1.72	2.87	1.24	1.80	1.52	0.71	3.36	2.76	2.66	4.72	1.31
Do + %	9.53	16.70	17.62	13.77	15.46	15.76	11.94	21.35	21.54	23.72	20.04	13.23
Do - %	4.27	15.26	12.28	11.29	11.86	12.72	10.52	14.63	16.02	18.32	11.52	10.61



B-BÖLGESİ KUM VE ÇAKIL ORTALAMA VE STANDART SAPMA DEĞERLERİ



B-BÖLGESİ TUVENAN MALZEME ORTALAMA VE STANDART SAPMA DEĞERLERİ

** KDP TUNELI PROJESİ **
** AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ **

TAPIME MÜHÜRÜ = 201

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	1125	4.7	3.2
2 1/2	2546	10.7	15.4
2	2174	9.1	24.6
1 1/2	4325	18.2	42.8
1	2916	12.3	55.0
3/4	2594	10.9	65.9
1/2	2810	11.8	77.7
3/8	2912	12.2	90.0
4	2384	10.0	100.0
TOP. CAK.	23786		
KUM	11560		
TOP. TUP	35346		
ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 800			

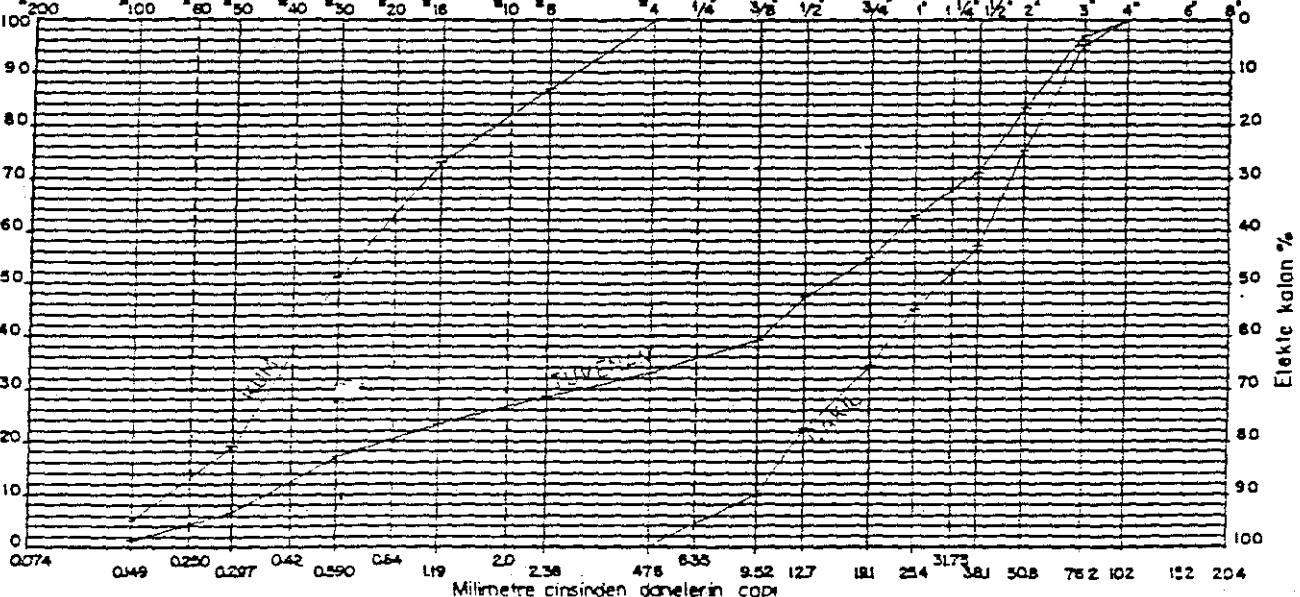
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	110	13.7	4.5
16	105	13.2	4.3
30	174	21.8	7.1
50	256	32.0	10.5
100	107	13.4	4.4
PAN	47	5.9	1.9

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.66
CAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.64
KUMUN İNCELİK MODULU % = 3.64
İKİYÜZ MÖLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 4.13
CAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.59
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.54
CAKILDA SU EMME % = 1.89
KUMDA SU EMME % = 1.27
LOSANGELES ASIRIMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.00
LOSANGELES ASIRIMA KAYBI 500 DEVİR % = 17.10
CAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 24.15
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 12.12

ELEK ANALİZİ

Standart elekler

Net-kare Açıklıkları



K U M			C A K I L			Taşlar
İnce	Orta	İri	İnce	İri		

Not:

** KÖP TUNEL PROJESİ **
** AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ **

NUMUNE NUMARASI = 202

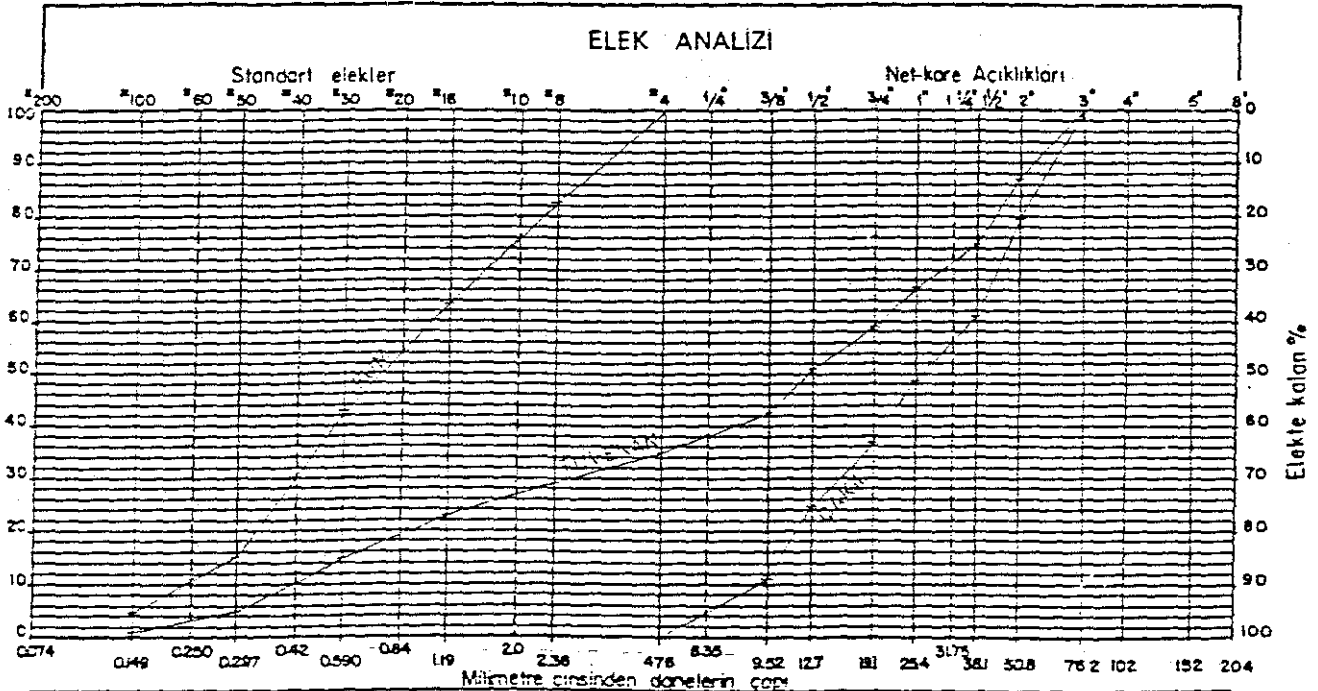
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	2296	10.3	10.3
2	2184	9.8	20.1
1 1/2	4312	19.3	39.4
1	2716	12.2	51.5
3/4	2674	12.0	63.5
1/2	2716	12.2	75.7
3/8	2921	13.1	88.7
4	2514	11.3	100.0
TOP.ÇAK.	22333		
KUM	12217		
TOP.TUV	34550		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	174	17.4	17.4
16	189	18.9	36.3
30	202	20.2	56.6
50	281	28.1	84.7
100	107	10.7	95.4
PAN	46	4.6	100.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm^3 = 1.66
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm^3 = 1.66
KUMUN İNCELİK MODULU % = 3.90
İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN % = 4.02
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm^3 = 2.59
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm^3 = 2.54
ÇAKILDA SU EMME % = 1.80
KUMDA SU EMME % = 1.32
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.06
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 17.30
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 24.10
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 11.59

ELEK ANALİZİ



K U M			ÇAKIL		Taşlar
İnce	Orta	İri	İnce	İri	

Not:

** KOP TUNEL PROJESİ **
** AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ **

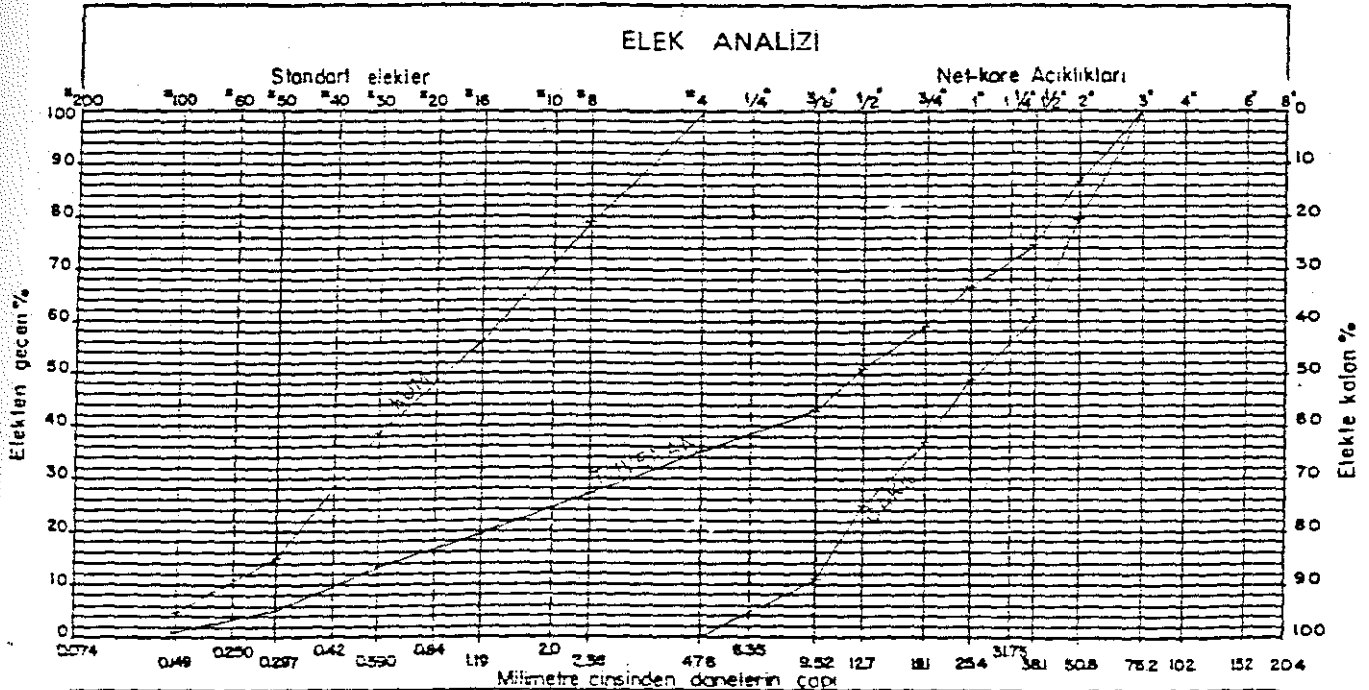
NUMUNE NUMARASI = 203

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	2200	10.2	6.6
2	2271	10.0	6.5
1 1/2	4317	19.1	12.4
1	2805	12.4	8.0
3/4	2614	11.6	7.5
1/2	2726	12.1	7.8
3/8	3018	13.4	8.6
4	2547	11.3	7.3
TOP. ÇAK.	22598		
KUM	12300		
TOP. TUV	34898		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	224	22.4	7.9
16	215	21.5	7.6
30	176	17.6	6.2
50	232	23.2	8.2
100	105	10.5	3.7
PAN	46	4.6	1.6

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.72
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.64
KUMUN İNCELİK MODULU = 4.08
İKİYÜZ NÖLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 3.68
ÇAKILIN ÖZBÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.66
KUMUN ÖZBÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.54
ÇAKILDA SU EMME % = 1.84
KUMDA SU EMME % = 1.29
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.18
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 16.48
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 24.19
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 12.09

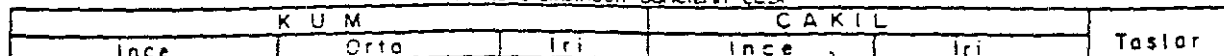


K U M			Ç A K I L		Taslar
İnce	Orta	İri	İnce	İri	

Not:

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE	KAL. %	TOPLAM KAL. %	
8	157	19.6	6.3	19.6	74.0
16	161	20.2	6.5	39.8	80.5
30	220	27.5	8.9	67.3	89.4
50	102	12.8	4.1	80.1	93.6
100	112	14.0	4.5	94.1	98.1
PAH	47	5.9	1.9	100.0	100.0

ELEK ANALİZİ



Not:

KOP TUNEL PROJESİ
ABREGA FİZİKSEL DEHEYLERİ

ANALİZİ = 207

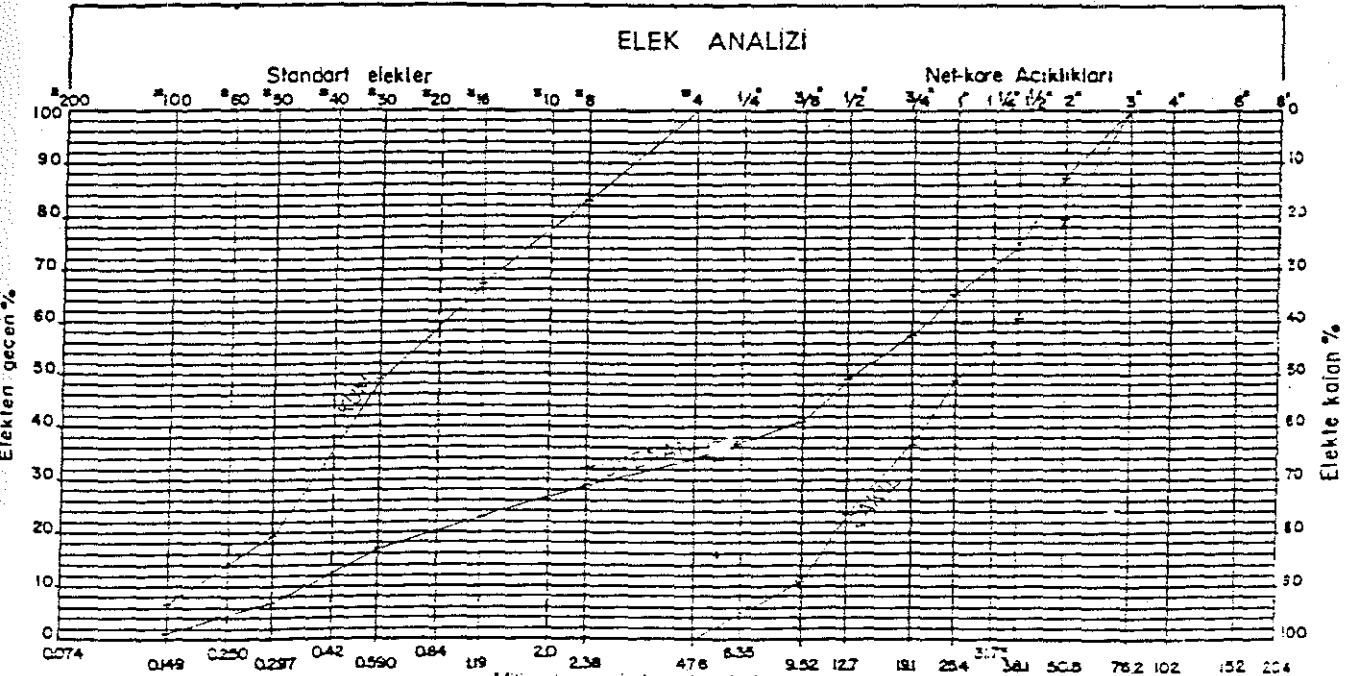
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	2330	10.5	10.5
2	2152	9.7	20.2
1 1/2	4244	19.2	39.4
1	2775	12.5	51.9
3/4	2623	11.8	63.8
1/2	2758	12.5	76.2
3/8	2903	13.1	89.3
4	2365	10.7	100.0
TOP. KAL.	22150		
KUM	11400		
TOP. TUV	33550		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 800

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	137	17.1	17.1
16	120	15.0	32.1
30	163	20.4	52.5
50	221	27.7	80.2
100	107	13.4	93.6
PANİ	49	6.1	99.7

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.65
CAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.63
KUMUN İNCELİK MODULU % = 3.75
İKİYÜZ NÖLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 3.86
CAKILIN ÖZEL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.81
KUMUN ÖZEL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
CAKILDA SU EMME % = 1.74
KUMDA SU EMME % = 1.32
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.32
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 17.50
CAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 24.14
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 12.64

ELEK ANALİZİ



K U M			C A K I L		Taslar
Ince	Orta	İri	Ince	İri	

Not:

** TUNEL PROJESİ **
** AĞIRLA FİZİKSEL DENEYLERİ **

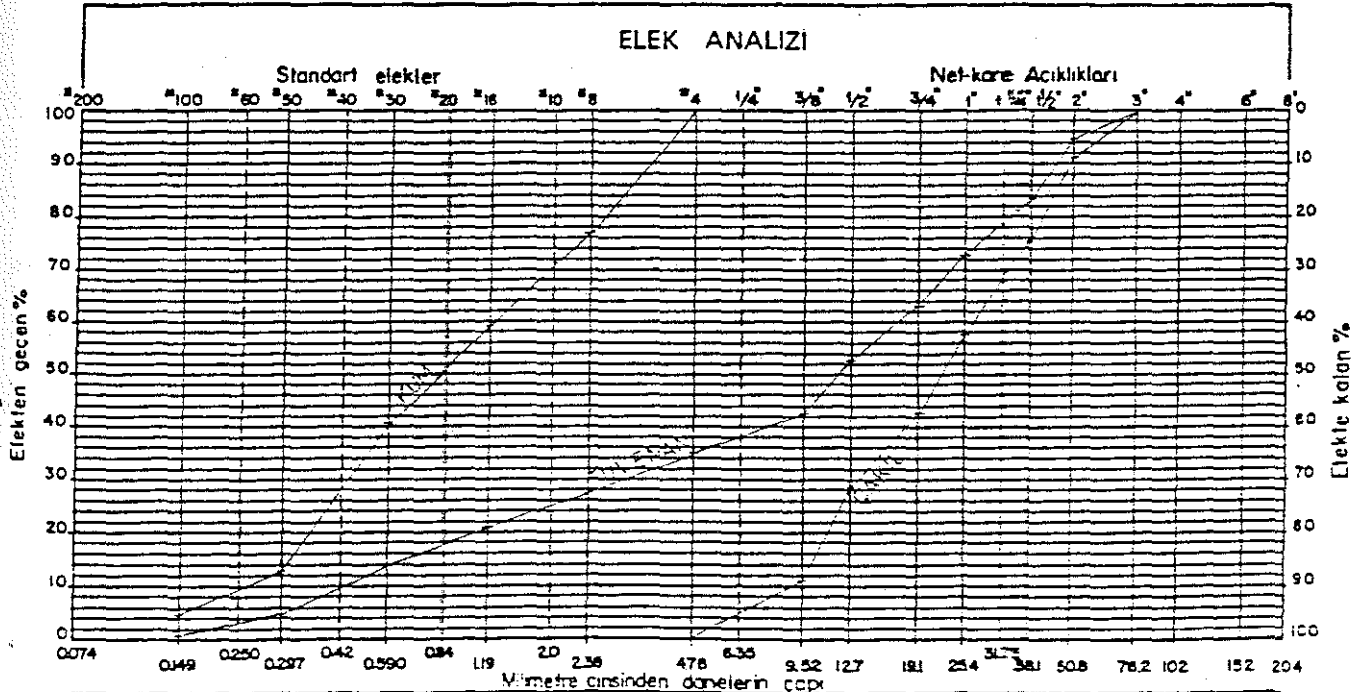
NUMERE NUMARASI = 210

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	879	3.6	2.4
2	1316	5.4	3.5
1 1/2	3792	15.5	10.2
1	4321	17.7	11.6
3/4	3546	14.5	9.5
1/2	3712	15.2	10.0
3/8	4015	16.4	10.8
4	2871	11.7	7.7
TOP. ESK.	24452		
KUM	12850		
TOP. TAV	37302		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINMI KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	237	23.7	8.1
16	174	17.4	6.0
30	183	18.3	6.3
50	254	25.4	8.7
100	112	11.2	3.9
PAN	41	4.1	1.4

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.67
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.66
KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.05
İKİYER MÖLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 3.51
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.66
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.54
KUMDA SU EMME % = 1.83
KUMDA SU EMME % = 1.25
LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.26
LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 16.84
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 23.00
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 12.02



K U M			Ç A K I L			Tasar
İnce	Orta	İri	İnce	İri		

Not: _____

 ** KÖF TUNELİ PROJESİ **
 ** AGREGA FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ **

 NUMUNE NO: 211

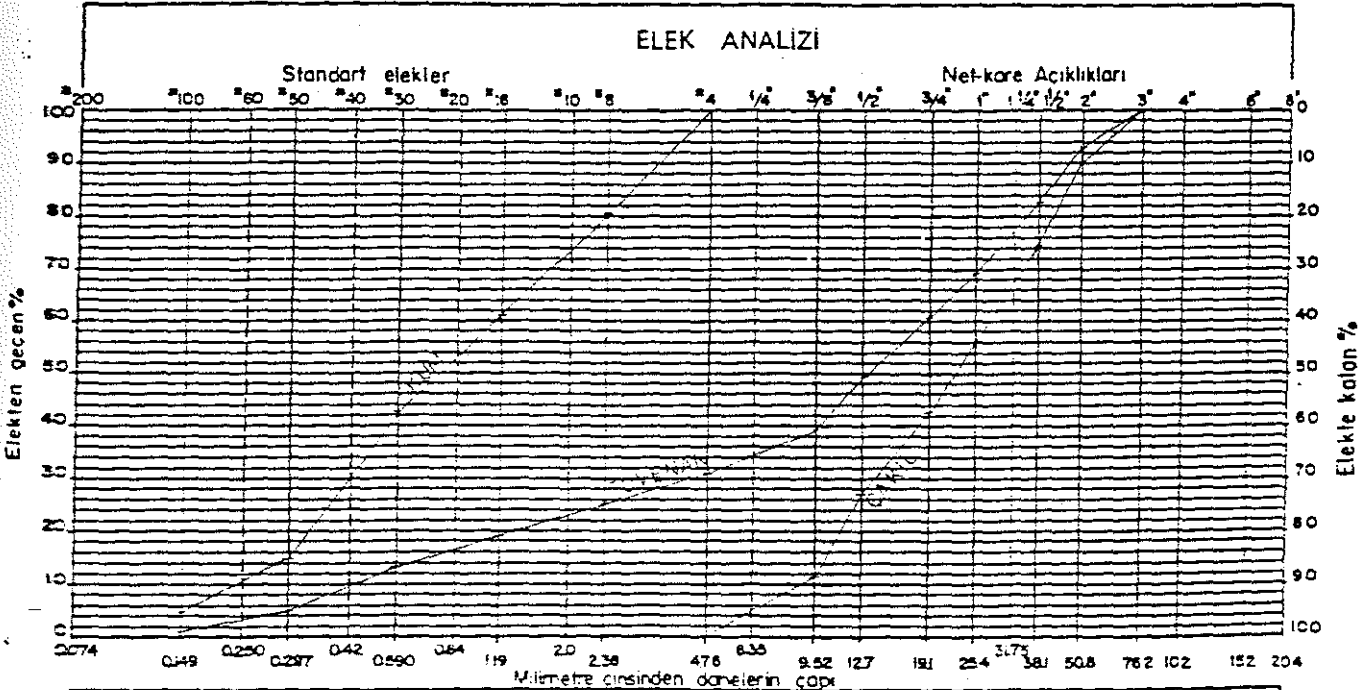
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
1 1/2	1533	2.2	4.3
2	950	3.8	10.0
1 1/2	3900	15.8	25.8
1	4505	18.2	44.0
3/4	2240	13.1	57.1
1/2	3875	15.7	72.8
3/8	3810	15.4	88.2
4	2908	11.8	100.0
TDP.ÇAK.	24721		
KUM	11200		
TDP.TUJ	35921		

ELEK #KALIZI İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	196	19.5	19.5
16	186	18.6	38.1
30	194	19.4	57.5
50	272	27.2	84.7
100	107	10.7	95.3
PAN	47	4.7	100.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.66
 ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.56
 KUMUN İNCELİK MODULU % = 3.95
 İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN % = 3.88
 ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.59
 KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.55
 ÇAKILDA SU EMME % = 1.92
 KUMDA SU EMME % = 1.25
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 2.80
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 17.46
 ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT GÜN KAYBI % = 16.70
 KUMDA SODYUM SÜLFAT GÜN KAYBI % = 12.14

ELEK ANALİZİ



K U M			Ç A K I L		Tasar
İnce	Orta	İri	İnce	İri	

Not: _____

 YOP TUNEL PROJESİ
 AGRİGA FİZİKSEL ÖLÇÜLERİ

 NUMARA NÜMERASI = 213

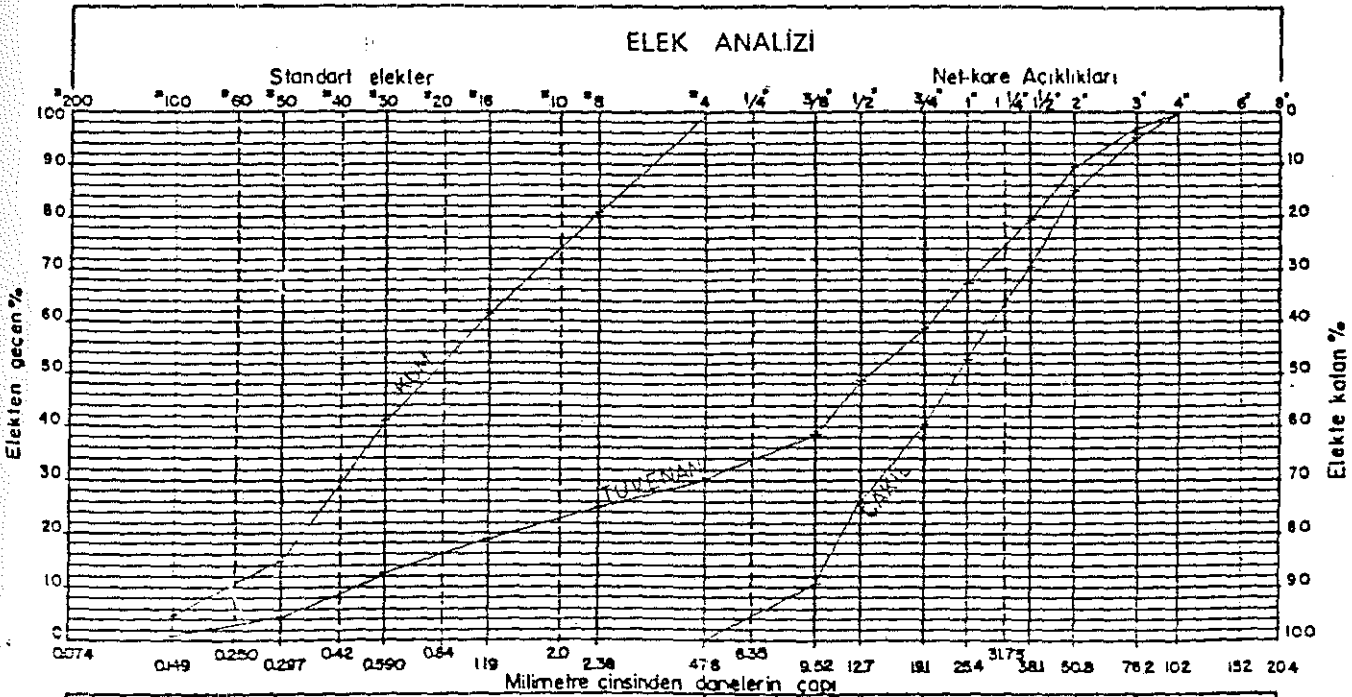
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	1250	4.7	3.3
2 1/2	1438	6.2	4.3
2	997	3.8	2.6
1 1/2	3856	14.5	10.1
1	4617	17.4	12.1
3/4	3516	13.3	9.2
1/2	3748	14.1	9.8
3/8	4012	15.1	10.5
4	2876	10.8	7.5
TOP. CAK.	26510		
KUM	11650		
TOP. TUV	38160		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINMIŞ KUM MİKTARI = 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	188	18.8	5.7
16	194	19.4	5.9
30	201	20.1	6.1
50	270	27.0	8.2
100	104	10.4	3.2
PAN	44	4.4	1.3

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.60
 ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.60
 KUMUN İNCELİK MODULU % = 3.96
 İKİYÜZ MÖLÜ ELEKTE GECEN % = 3.70
 ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.71
 KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.57
 ÇAKILDA SU EMME % = 1.00
 KUMDA SU EMME % = 1.18
 LOSANGELES ASİTİNE KAYBI 100 DEVİR % = 2.18
 LOSANGELES ASİTİNE KAYBI 500 DEVİR % = 17.63
 ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 25.15
 KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 10.55

ELEK ANALİZİ



Not:

KOP TUNEL PROJESİ
AGREGA FİZİKSEL DEĞERLERİ
NUMUNE NUMARASI = 214

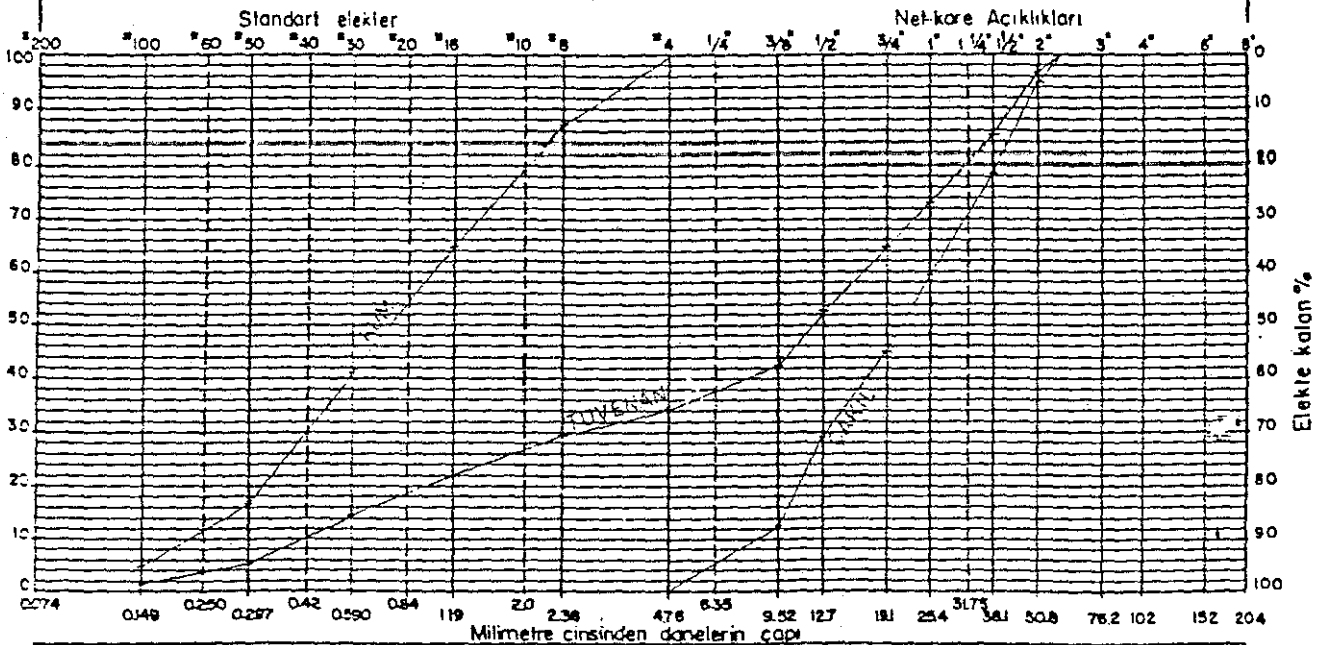
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	0	0.0	0.0
2 1/2	0	0.0	0.0
2	1250	5.3	5.3
1 1/2	3868	16.5	21.8
1	4307	18.4	40.2
3/4	3327	14.2	54.5
1/2	3826	16.3	70.8
3/8	3921	16.8	87.6
4	2911	12.4	100.0
TOP.ÇAK.	23402		
KUM	12050		
TOP.TUV	35452		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 800

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	184	13.0	13.0
16	179	22.4	35.4
30	186	23.3	58.7
50	196	24.6	83.2
100	98	12.2	95.4
FİN	37	4.6	100.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.61
 ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.51
 KUMUN İNCELTİK MODULU % = 3.86
 İKİYÜZ HOLLÜ ELEKTE GEÇEN % = 4.66
 ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.59
 KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.54
 ÇAKILDA SU EMME % = 2.18
 KUMDA SU EMME % = 1.15
 LOSANGELES ASHMA KAYBI 100 DEVİR % = 3.48
 LOSANGELES ASHMA KAYBI 500 DEVİR % = 17.24
 ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 23.44
 KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 12.40

ELEK ANALİZİ



Not:

** KOP TUNEL PROJESİ **
** AGREGA FİZİKSEL DENETİMLERİ **

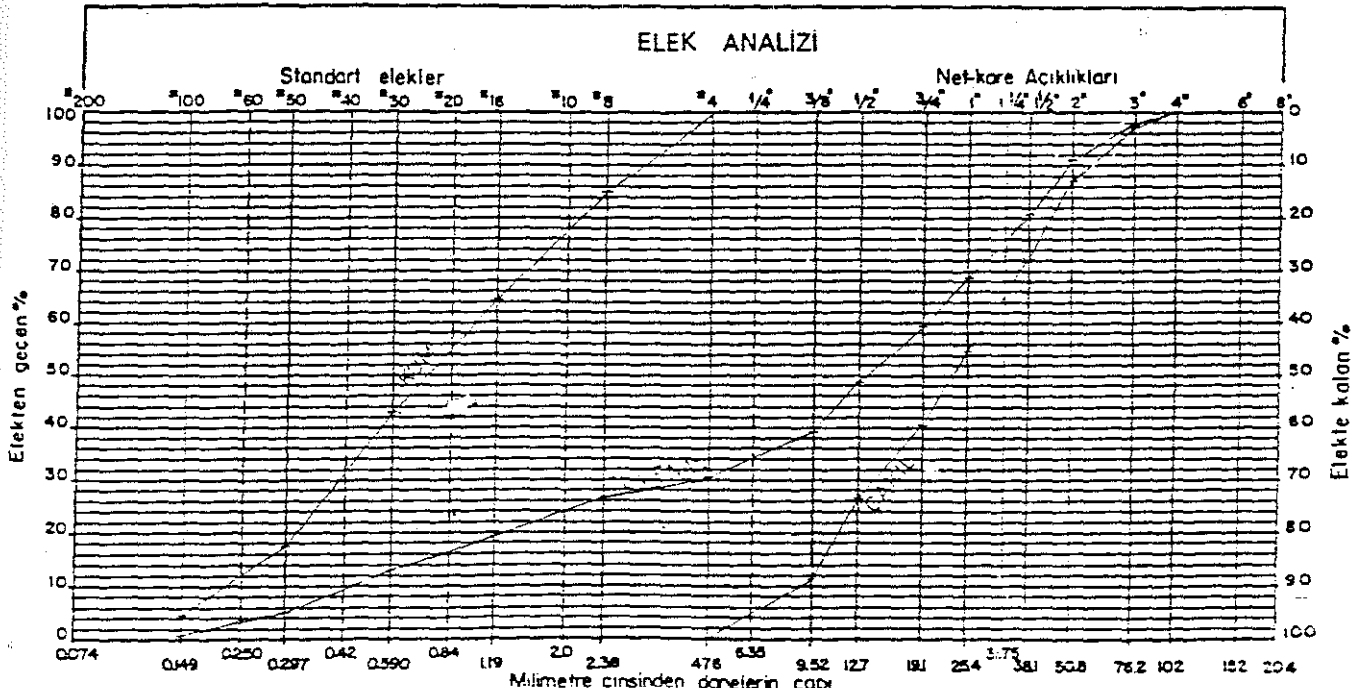
NİMUNE NO: 217

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	876	3.4	2.4
2 1/2	1297	5.5	3.8
2	897	3.5	2.4
1 1/2	3917	15.4	18.7
1	4376	17.2	11.9
3/4	3391	13.3	9.2
1/2	3927	15.5	10.7
3/8	3617	14.2	9.8
4	3012	11.9	8.2
TOP.ÇAK.	25410		
KUM	11350		
TOP.TUV	36760		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 800

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	118	14.7	4.5
16	170	21.2	6.5
30	174	21.8	6.7
50	198	24.8	7.7
100	102	12.7	3.9
PAN	38	4.8	1.5

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.60
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.52
KUMUN İNCELİK MODULU = 3.86
İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN % = 3.81
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.74
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.49
ÇAKILDA SU EMME % = 1.94
KUMDA SU EMME % = 1.38
LOSANGELES ASİME KAYBI 100 DEJİR % = 2.60
LOSANGELES ASİME KAYBI 500 DEJİR % = 17.08
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 22.83
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 12.27



K U M			Ç A K I L		Taslar
İnce	Orta	İri	İnce	İri	

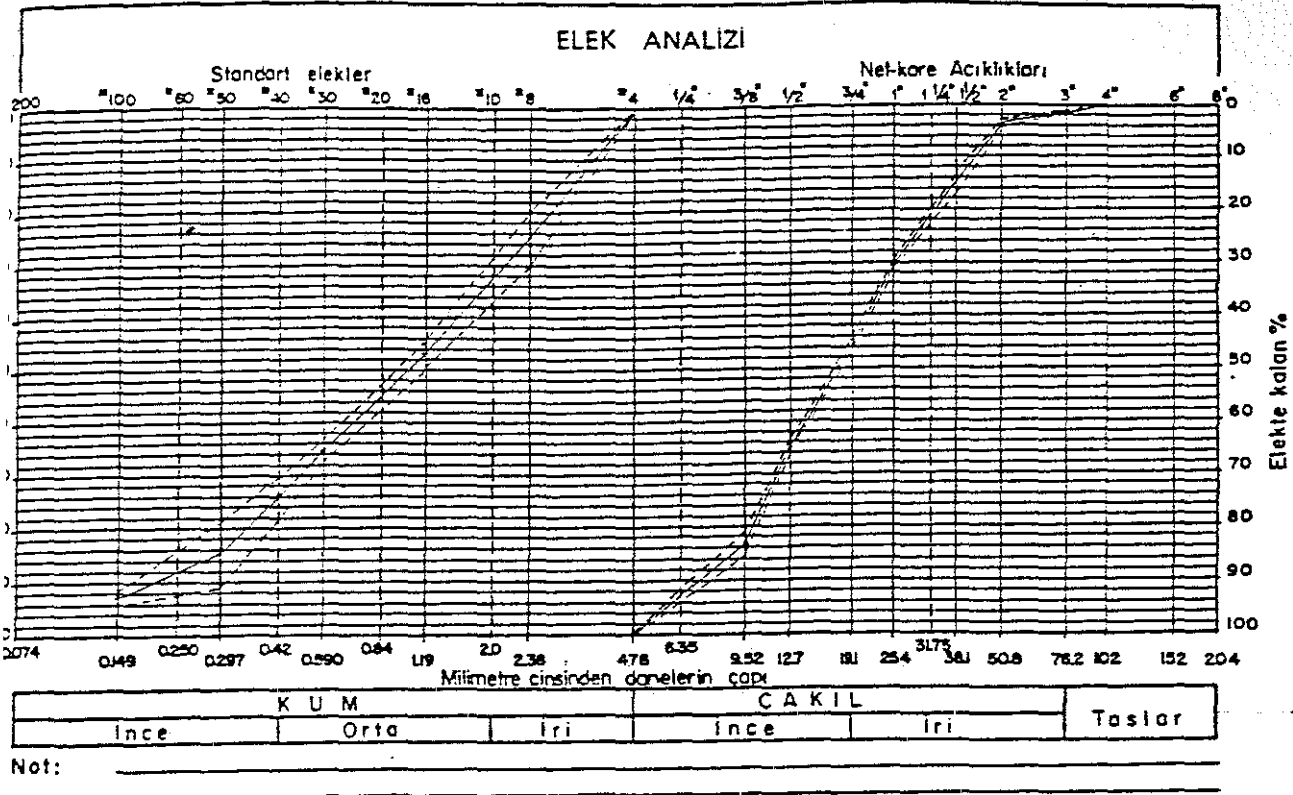
Not:

C BÖLGESİ DENEY SONUÇLARI VE GRAFİKLER

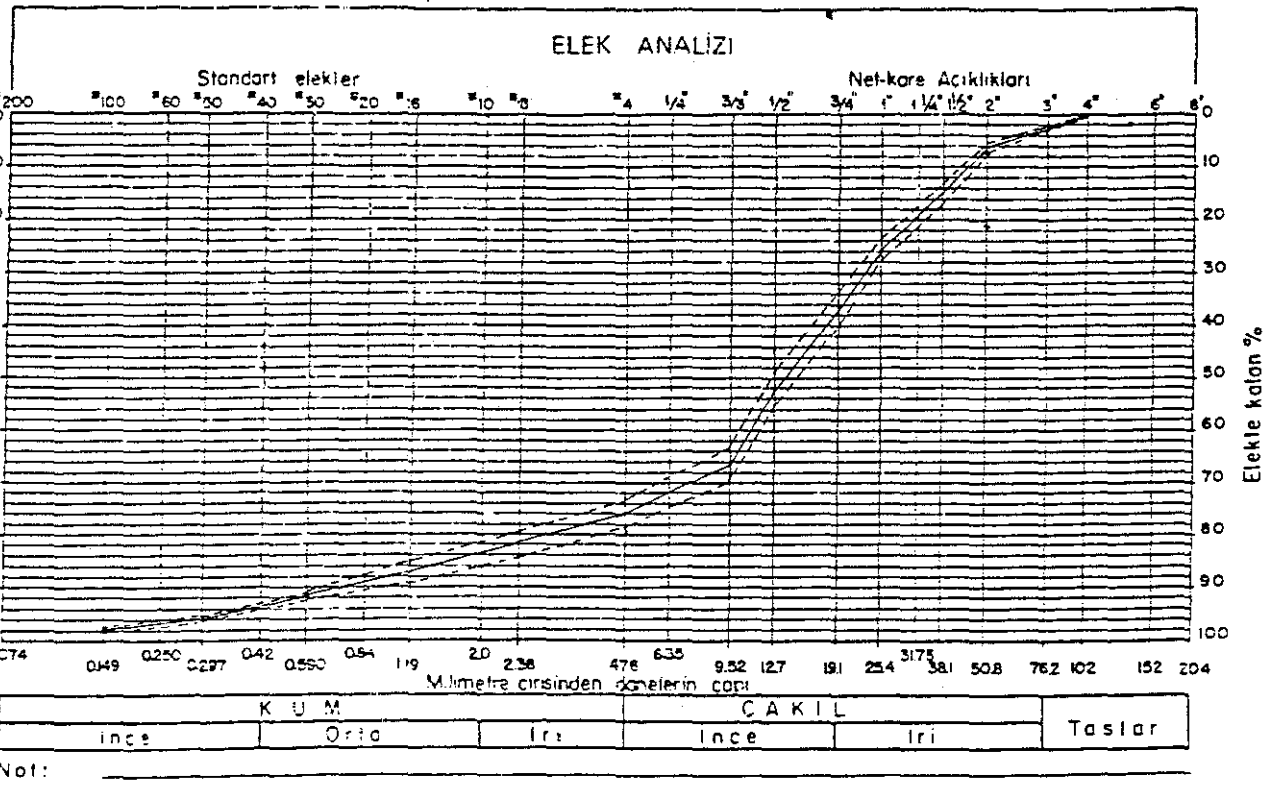
KOP TUNELİ PROJESİ				
ORTALAMA AGREGA FİZİKSEL DENEY SONUÇLARI				
BÖLGE C				
DENEYLER	Limit	X	±	S
Birim Hac : Kum		1.59	± 0.02	
Ağırlık : gr/cm ³ : Cakıl		1.53	± 0.01	
Özgül : Kum		2.52	± 0.03	
Ağırlık : Min 2.60				
gr/cm ³ : Cakıl		2.53	± 0.07	
SU : Kum		1.12	± 0.66	
Emme : Max % 1				
% : Cakıl		1.89	± 0.16	
200 no.elekten geç. : Max % 3-5		14.58	± 0.43	
Na ₂ SO ₄ : Kum : Max 15		37.02	± 1.01	
Don kaybı : Max 18		32.09	± 0.58	
% : Cakıl				
Los-Angeles : 100 dv : Max 10		4.86	± 0.67	
Asılma kaybı : Max 40-50		12.86	± 1.94	
% : 500 dv				
Kumun incelik modülü %		4.13	± 0.15	

KOP TUNELİ PROJESİ & C BÖLGESİ
STANDART ELEKLER ÜZERİNDE KALAN ORTALAMA MİKTARLAR %

	C	A	K	I	L		K	U	M			
Elek No	2	1/2	1	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100
Dane Capi mm	50.80	38.10	25.40	19.10	12.70	9.57	4.76	2.38	1.19	0.59	0.30	0.15
Elekte Kalan Ortalama %	3.86	11.13	15.28	15.40	19.43	18.46	12.53	24.38	21.93	19.10	18.65	8.03
Standart Sacna S	0.41	2.47	0.44	0.61	0.59	1.22	1.14	4.93	2.65	3.37	6.34	1.23
Do + S	4.27	13.60	15.72	16.01	20.02	19.68	13.67	29.31	24.58	22.47	25.20	9.24
Do - S	3.45	8.65	14.84	14.79	18.84	17.24	11.39	19.45	19.28	16.73	12.52	6.60



C-BÖLGESİ KUM VE ÇAKIL ORTALAMA STANDART SAPMA DEĞERLERİ



C-BÖLGESİ TÜYENAN MALZEME ORTALAMA VE STANDART SAPMA DEĞERLERİ

 ** KÖP TİRELİ PROJESİ **
 ** AGRESİVA FİZİKSEL GENEYLERİ **

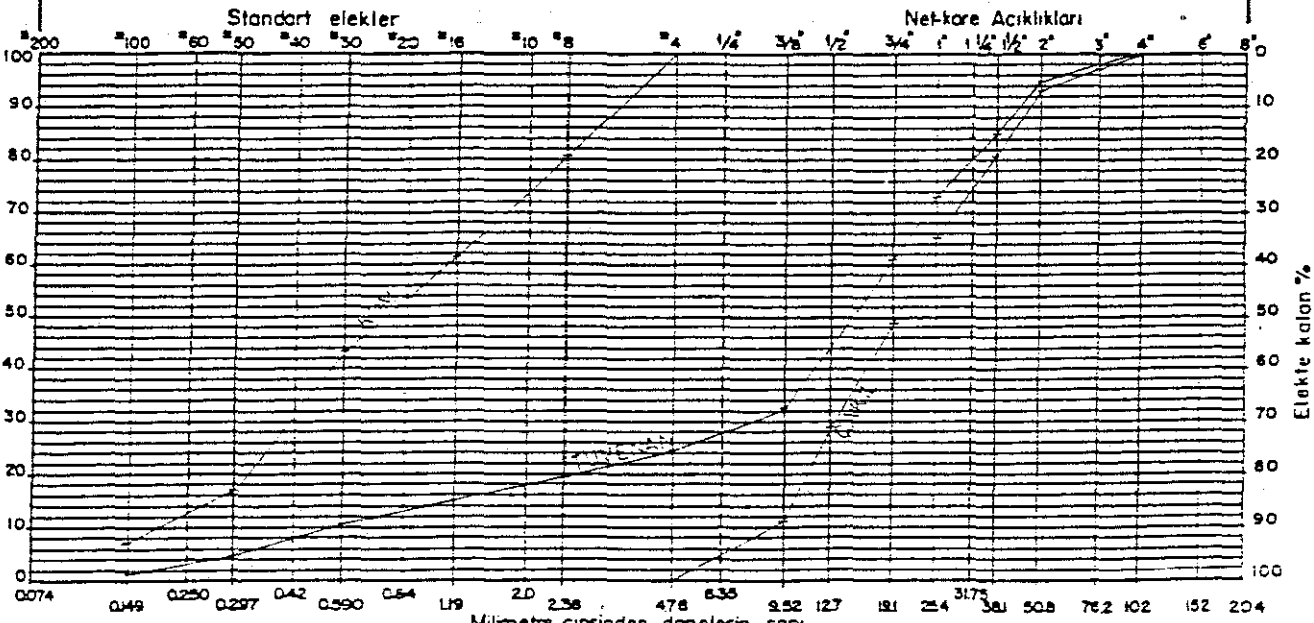
 NUMERE NUMARASI = 300

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	899	2.8	2.1
2 1/2	6	0.0	2.8
2	1339	4.1	6.9
1 1/2	4164	12.8	19.7
1	4905	15.1	34.7
3/4	5372	16.5	51.3
1/2	4531	20.1	71.3
3/8	5672	17.4	88.8
4	3648	11.2	100.0
TOP. ÇAK.	32521		
KUM	10428		
TOP. TUV	42949		
ELEK ANALİZİ İÇİN ALINMIŞ KUM NİKTARI= 800			

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	156	19.5	4.7
16	149	18.6	4.5
30	146	18.2	4.4
50	214	26.8	6.5
100	79	9.9	2.4
PAN	56	7.0	1.7

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.57
 ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.53
 KUMUN İNCELİK MODULU = 3.90
 İKİYEZ NÖLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 14.49
 ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.60
 KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.54
 ÇAKILDA SU EMME % = 2.15
 KUMDA SU EMME % = 2.10
 LOSANJESLES ASIRIYA KAYBI 100 DEVİR % = 4.30
 LOSANJESLES ASIRIYA KAYBI 500 DEVİR % = 16.30
 ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 32.47
 KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 37.67

ELEK ANALİZİ



Not:

** KOP TUNEL PROJESİ
** ACİĞER FİZİKSEL DEĞERLERİ

MÜHÜR NO: 301

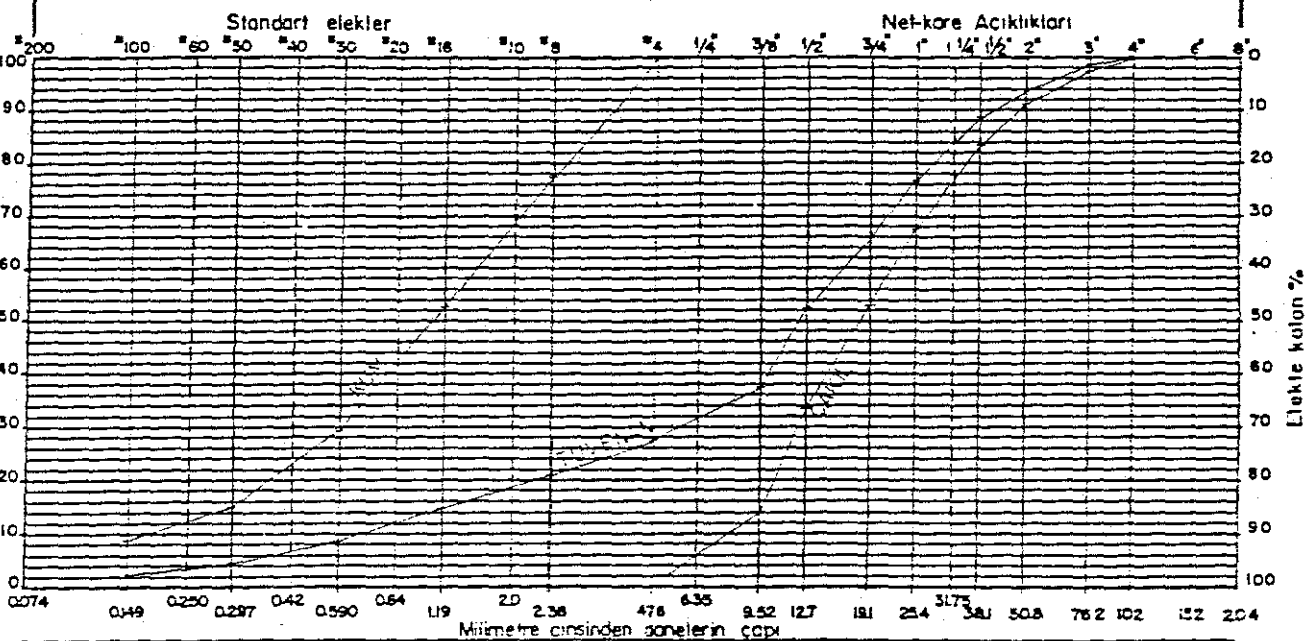
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	937	2.6	1.9
2 1/2	690	1.9	1.4
2	1473	4.0	2.7
1 1/2	2828	7.8	5.6
1	5843	16.0	11.6
3/4	5350	14.7	10.6
1/2	6796	19.2	13.9
3/8	7258	19.9	14.4
4	5090	14.0	10.1
TOP. CAK.	36465		
KUM	13850		
TOP. TUN.	50315		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	222	22.2	6.1
16	251	25.1	6.9
30	232	23.2	6.4
50	145	14.5	4.0
100	63	6.3	1.7
PAK	87	8.7	2.4

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm^3 = 1.62
CAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm^3 = 1.52
KUMUN İNCELİK MODULU M = 4.16
İKİYÜZ NOLU ELEKTEN GEÇEN $\%$ = 14.68
CAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm^3 = 2.50
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm^3 = 2.54
CAKILDA SU EMME $\%$ = 1.99
KUMDA SU EMME $\%$ = 1.85
LOS ANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR $\%$ = 5.00
LOS ANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR $\%$ = 19.66
CAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI $\%$ = 31.96
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI $\%$ = 35.36

ELEK ANALİZİ



Not:

 ** TÜRSEL PROJESİ **
 ** AĞIRLA FİZİKSEL DENEYLERİ **

 NİSNE NİMARASI = 302

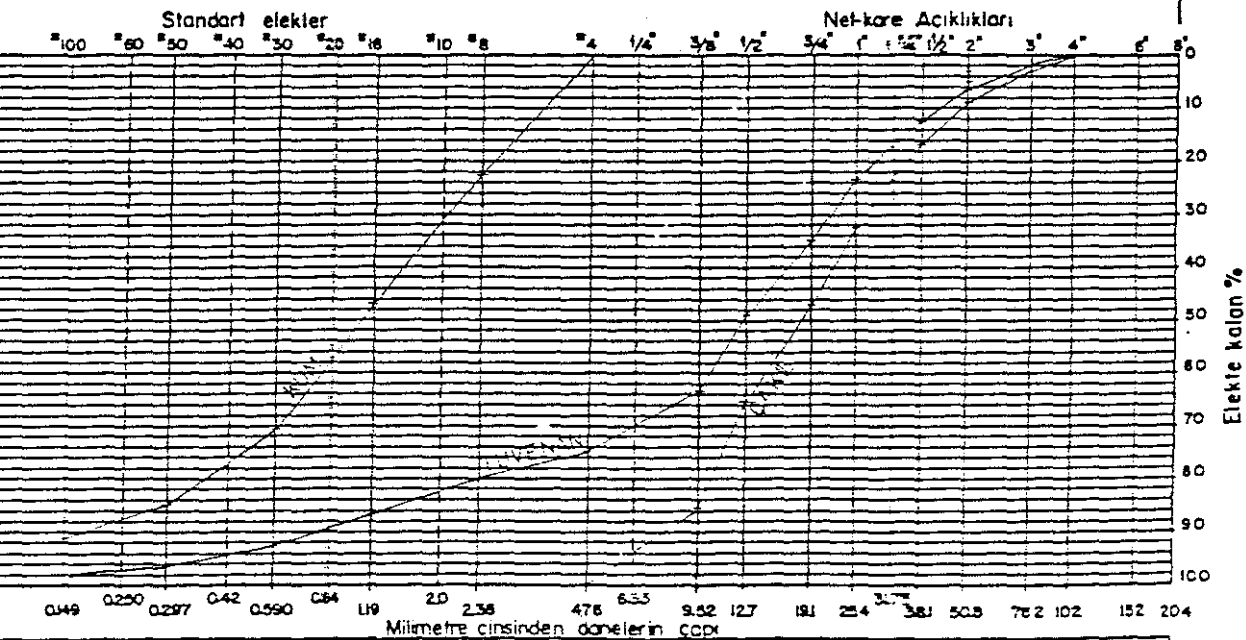
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	978	2.7	2.0
2 1/2	716	2.0	4.7
2	1473	4.1	8.7
1 1/2	2727	7.5	16.2
1	5746	15.8	32.1
3/4	5435	15.0	47.1
1/2	6736	18.6	65.6
3/8	7362	20.3	85.9
4	5115	14.1	100.0
TOPLAM	36288		
KUM	12576		
TOPLAM	48864		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	223	22.3	22.3
16	252	25.2	47.5
30	232	23.2	70.7
50	142	14.2	84.9
100	66	6.6	91.5
PAN	85	8.5	100.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.58
 ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.54
 KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.17
 İKİYER NOLU ELEKTE GEÇEN % = 15.36
 ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.59
 KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.51
 ÇAKILIN SU EMME % = 1.52
 KUMUN SU EMME % = 1.20
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 6.16
 LOSANGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 20.00
 ÇAKILIN SODYUM SÜLFAT DOL KAYBI % = 33.02
 KUMUN SODYUM SÜLFAT DOL KAYBI % = 37.45

ELEK ANALİZİ



K U M			Ç A K I L		
İnce	Orta	İri	İnce	İri	Taşlar

KOP TUNEL PROJESİ
AGREGA FİZİKSEL DENEYLERİ

NUMUNE NUMARASI = 303

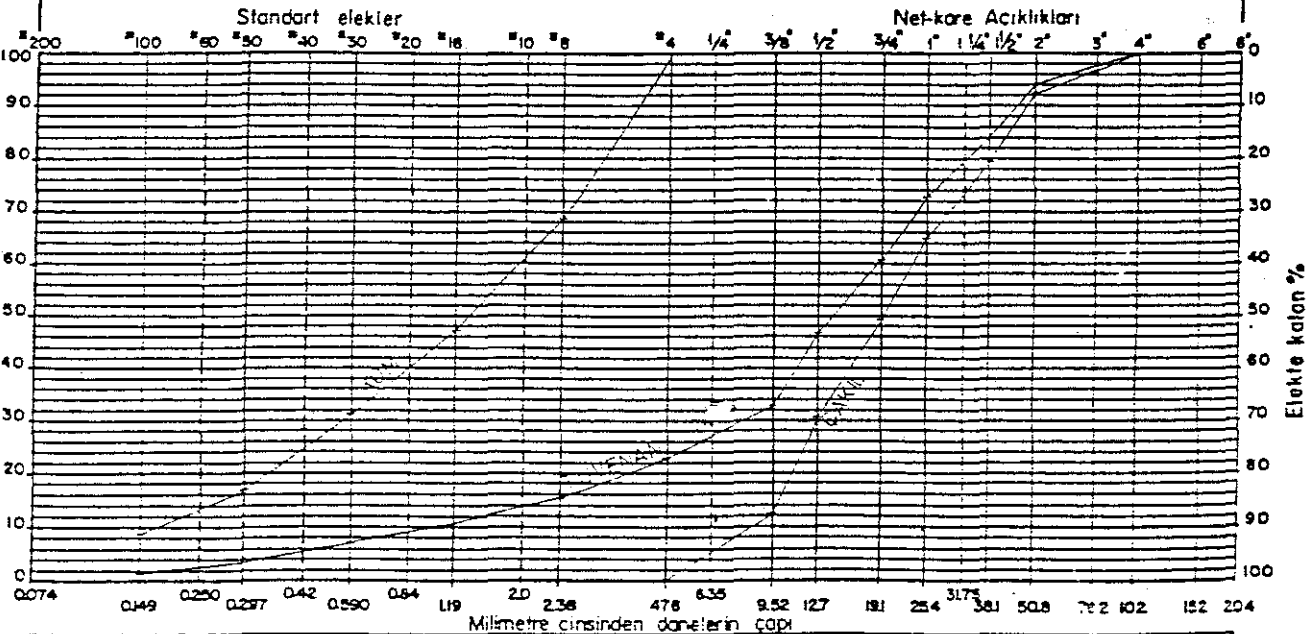
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	976	3.4	2.6
2 1/2	327	1.1	0.9
2	957	3.3	2.5
1 1/2	3746	12.9	10.0
1	4325	14.9	11.5
3/4	4387	15.1	11.7
1/2	5518	19.0	14.7
3/8	5198	17.9	13.8
4	3612	12.4	9.6
TOP.ÇAK.	29046		
KUM	8512		
TOP.TUV	37558		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	312	31.2	31.2
15	219	21.9	53.0
30	157	15.7	68.7
50	145	14.5	83.2
100	86	8.6	91.8
PAN	82	8.2	100.0

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.57
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.53
KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.28
İKİYÜZ HOLLÜ ELEKTEN GEÇEN % = 14.72
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.38
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.46
ÇAKILDA SU EMNE % = 1.92
KUMDA SU EMNE % = 3.35
LOŞVİGELES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 4.28
LOŞVİGELES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 17.58
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 31.19
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 35.73

ELEK ANALİZİ



Not:

** KOP TUNELİ PROJESİ **
** AĞAĞA FİZİKSEL GEÇİYLERİ **

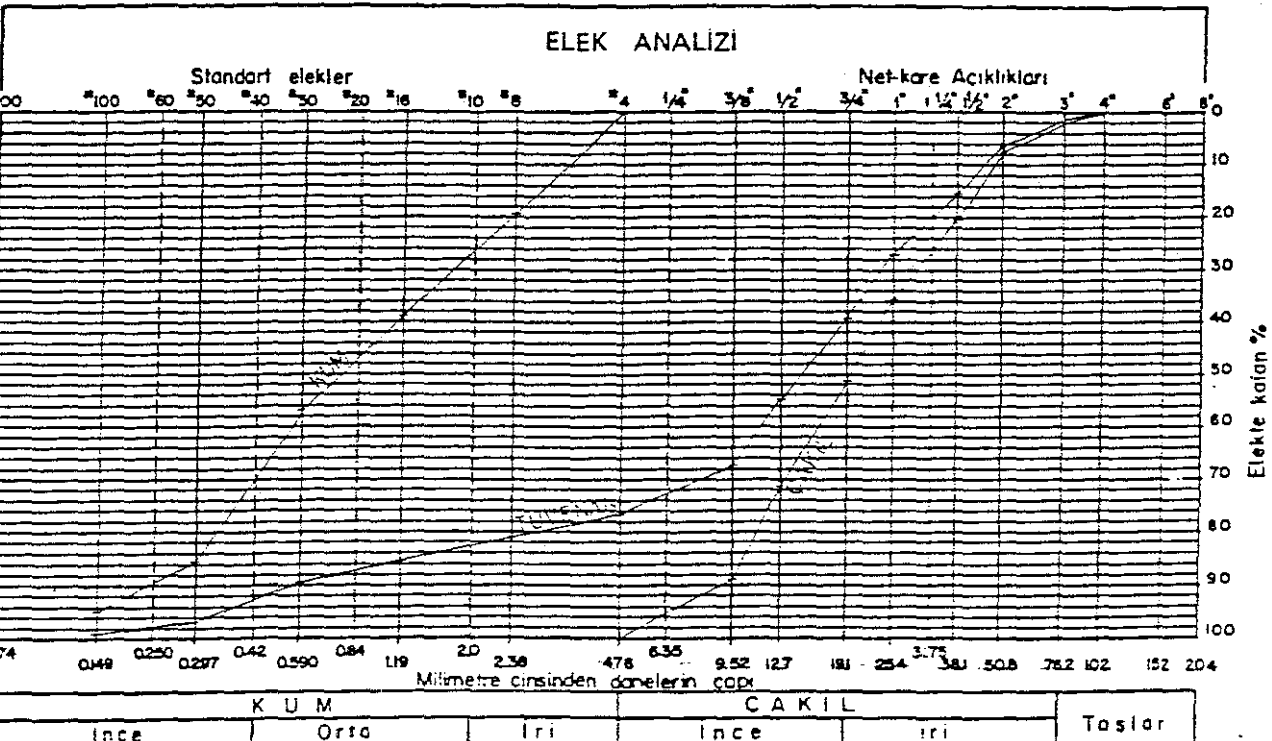
NOMİNE NUMARASI = 304

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	647	2.0	1.5
2 1/2	526	1.6	1.2
2	1440	4.4	3.3
1 1/2	4127	12.5	9.6
1	4937	15.0	11.5
3/4	5246	15.9	12.2
1/2	6679	20.3	15.5
3/8	5587	17.0	13.0
4	3750	11.4	8.7
TOP. ÇAK.	32939		
KUM	10127		
TOP. TUV	43066		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	199	19.9	4.7
16	187	18.7	4.4
30	184	18.4	4.3
50	288	28.8	6.8
100	86	8.6	2.0
PAN	57	5.7	1.3

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.59
ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.52
KUMUN İNCELİK MODULU % = 3.95
İKİNCİ NOLU ELEKTİN GEÇEN % = 14.23
ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.55
KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.53
ÇAKILDA SU EME % = 1.90
KUMDA SU EME % = 2.40
LOSMANİLES ASINMA KAYBI 100 DEVİR % = 5.08
LOSMANİLES ASINMA KAYBI 500 DEVİR % = 19.04
ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 32.22
KUMDA SODYUM SÜLFAT DÖN KAYBI % = 36.90



 ** KOP TUNELİ PROJESİ **
 ** AGÜPEKA FİZİKSEL DENEYLERİ **

 NÜMUNE MİKTARI = 305

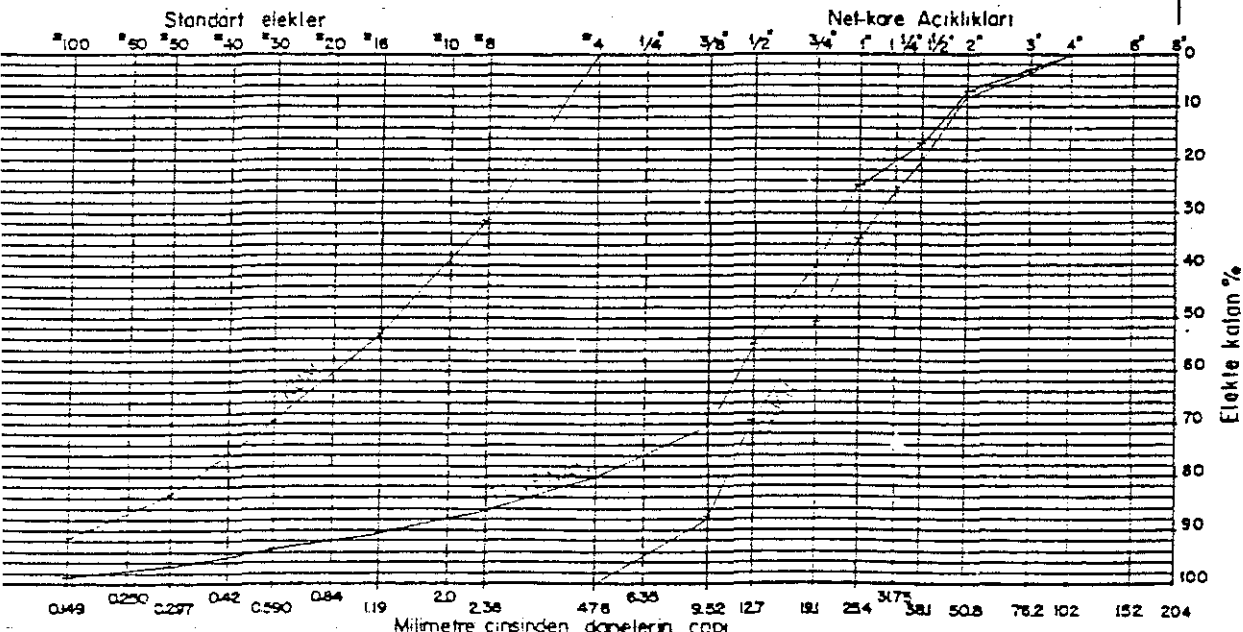
ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
3	1002	3.5	2.8
2 1/2	0	0.0	0.0
2	963	3.3	2.7
1 1/2	3838	13.3	10.6
1	4300	14.9	11.9
3/4	4368	15.2	12.1
1/2	5582	19.4	15.5
3/8	5278	18.3	14.6
4	3500	12.1	9.7
TOP.ÇAK.	28831		
KUM	7215		
TOP.TUJ	36046		

ELEK ANALİZİ İÇİN ALINAN KUM MİKTARI= 1000

ELEK NO	ELEKTE KAL.	ELEKTE KAL. %	TOPLAM KAL. %
8	312	31.2	4.2
16	221	22.1	4.4
30	159	15.9	3.2
50	144	14.4	2.9
100	82	8.2	1.6
PAN	82	8.2	1.6

KUMUN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.61
 ÇAKILIN BİRİM HACİM AĞIRLIĞI gr/cm³ = 1.51
 KUMUN İNCELİK MODULU % = 4.29
 İKTİYUZ MÖLÜ ELEKTE GEÇEN % = 14.00
 ÇAKILIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.56
 KUMUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI gr/cm³ = 2.55
 ÇAKILDA SU EMME % = 1.81
 KUMDA SU EMME % = 1.80
 LOS-ANGELES ASİME KAYBI 100 DEVİR % = 4.34
 LOS-ANGELES ASİME KAYBI 500 DEVİR % = 14.56
 ÇAKILDA SODYUM SÜLFAT DON KAYBI % = 31.73
 KUMDA SODYUM SÜLFAT DON KAYBI % = 25.12

ELEK ANALİZİ



VI. EKONOMİK JEOLojİ

İnceleme sahasında Kop ultramafiti içinde bantlı ve benekli kromitler ile manyezit damarları bulunur. Benekli kromitler tipik leopar dokusu ile kolayca tanınır. Bantlı kromitler, magmatik bantlaşmaya paralel ve kalınlığı 4-10cm. arasında değişir. Kromitler, Kop ultramafiti içinde çeşitli yerlerde gözlenir, cevherleşmenin zengin olduğu yerler işletilmektedir. Manyezit, tipik süt beyazı rengi ile ultramafitler içinde kolayca tanınır ve çatlaklar boyunca gözlenir. Ayrıca, Gurri formasyonunun kireçtaşlarından oluşmuş yamaç molozları ile alüvyonal malzemeleri karayolunda dolgu, çevre inşaatlarda beton agregası olarak kullanılmaktadır.

VII. DEPREMSELLİK

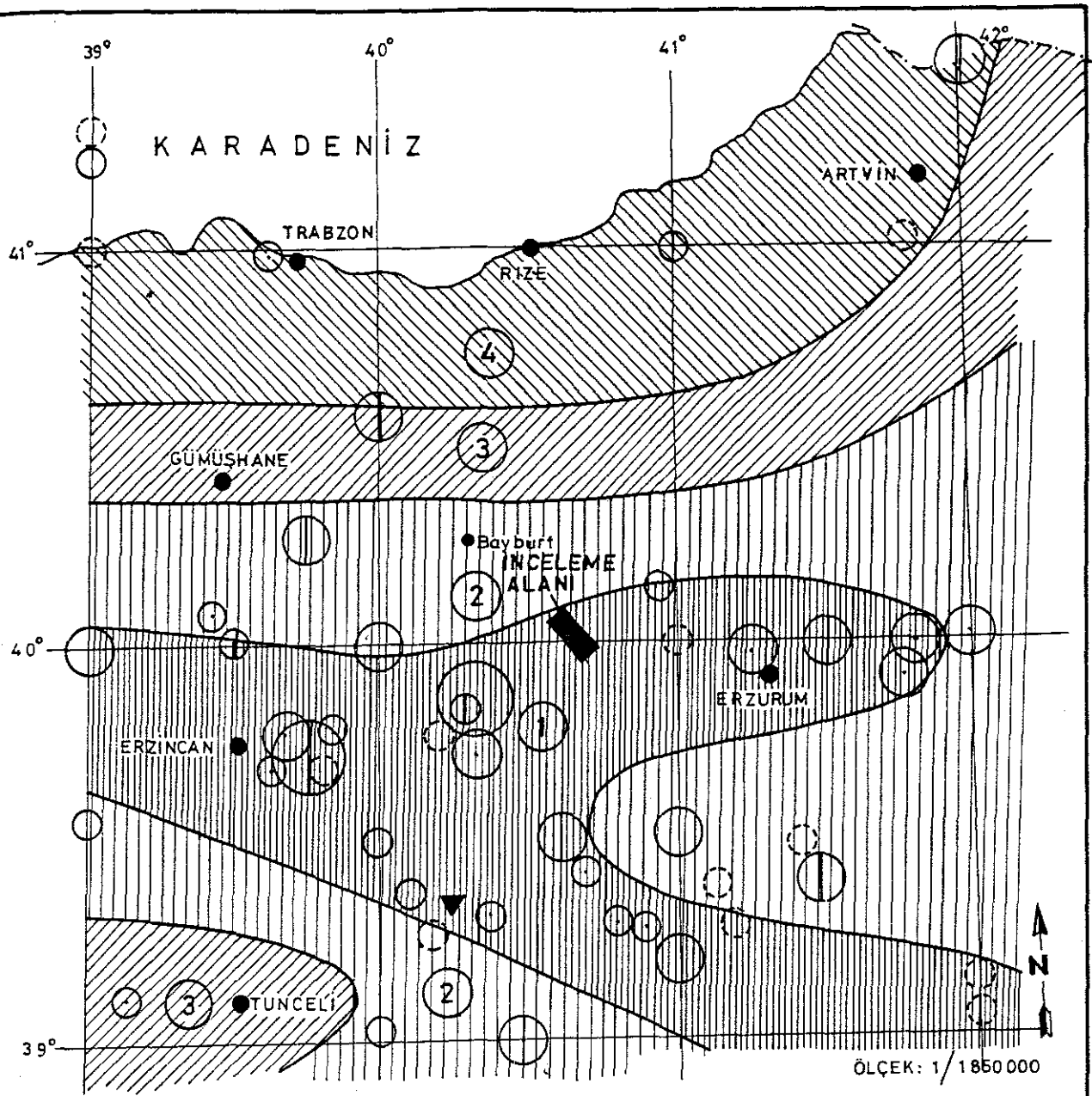
İnceleme alanı, İmar ve İskan Bakanlığı'nın hazırladığı "Türkiye deprem Bölgeleri Haritası"na göre 1. derecede bulunmaktadır (Şekil-42). İTÜ Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu, 1967" ve "İmar ve İskan Bakanlığı Deprem şiddetleri Kataloğu, 1970"e göre, inceleme alanı dolayında 1600-1900 yılları arasında duyulan başlıca depremlerin magnitüd ve koordinatları aşağıdadır:

Tarih	Magnitüd	Koordinat
1766	5.77	39°59'N-41°42'E
19.7.1783	6.37	39°44'N-39°30'E
1850	5.77	39°54'N-41°18'E
21.1.1859	6.37	39°59'N-41°40'E
2.1868	5.77	40°12'N-42°06'E
3.1868	5.77	40°12'N-42°06'E

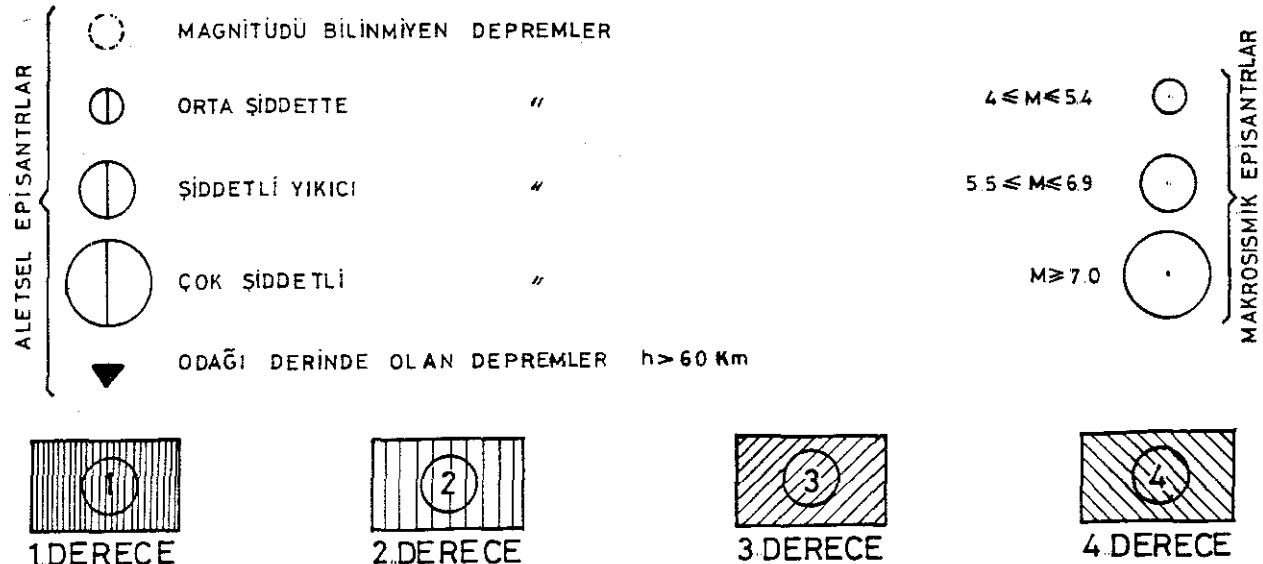
Aletsel kayıt niteliğinde iz bırakan depremler 1900-1970 yılları arasında olmuştur.

Tarih	Magnitüd	Koodinat
1.1.1901	5.77	39°54'N-41°20'E
28.5.1903	5.77	41°12'N-42°42'E
1906	5.77	39°54'N-41°20'E
13.9.1924	6.90	39°59'N-41°60'E
21.11.1924	5.77	39°42'N-39°42'E
26.12.1939	8.00	39°42'N-39°42'E
31.5.1946	6.00	39°20'N-41°12'E
17.8.1949	6.75	39°30'N-40°42'E
28.3.1954	6.75	39°06'N-41°00'E

İnceleme alanının, 1. derecede deprem bölgesinde olması özelliğinden dolayı deprem ivmesi hesaplamalarında, hassas çalışmalar gereklidir. İnceleme sahasındaki yer kaymalarına deprem etkiside önemli bir konudur.



SIĞ DEPREMLER $h \leq 60$ Km.



Şekil-42- İnceleme alanının depremsellik haritası.

Earth quake map of the investigated area.

VIII. SONUÇ ve ÖNERİLER

Trabzon-Erzurum karayolu Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahında yapılan bu irdeleme ile şu sonuçlara varılmıştır.

1-Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahındaki kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri ile süreksizliklerin jeoteknik özellikleri belirlenmiştir.

2-Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarının eksen çizgileri boyunca 1/2000 ölçekli boy kesiti hazırlanmış ve yüzeyde görülen formasyon sınırı, fay ve tabaka konumlarının tünel kotunun hangi metrelerde nasıl kestiği saptanmıştır.

3-Tünellerde yapılan kaya kütlesi sınıflamaları araştırılmış RSR, RMR ve Q sınıflama sistemlerinin ilk ayrıntılı sınıflama sistemleri olduğu saptanmış ve bu üç sınıflama sistemi uygulamada esas alınmıştır.

4-Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları RSR, RMR ve Q sistemleri ile sınıflandırılmış ve uygun iksa önlemleri bulunmuştur. Bulunan iksa önlemleri incelendiğinde RSR sisteminin yetersiz kaldığı, RMR sisteminin çok genel yaklaşımlarda bulunduğu iksa seçimine en ayrıntılı yaklaşımı Q sisteminin yaptığı gözlenmiştir.

5-RSR, RMR ve Q sistemleri ile bulunan iksa önlemleri Q sistemi temel alınarak, jeolojik-jeoteknik koşullar da gözönünde bulundurulmak koşulu ile ilk kez bu çalışmada birleştirilmiştir.

6-Kopdağı 1 tünel güzergahında 0.000-0.060 km.ler arasındaki aktif heyelan malzemesinin sıyırma kazısı ile temizlenerek tünel güzergahına en az 500 m. mesafede geri çekilmeli ve önüne istinat duvarı inşa edilerek çevre sular drene edilmelidir.

7-Kopdağı 1 tünel güzergahında 2.000-3.000 km.ler

arasında güzergaha çok heyelan malzemesi çok önemli su problemleri oluşturabilir. Bu nedenle heyelan bölgesi iyi bir şekilde drene edilmelidir.

8-Kopdağı 2 tünel güzergahının 0.000-2.030 km.ler arasında tamamı heyelan malzemesi içinde kalmaktadır.

9-Göllerderesi formasyonunda bulunan çamurtaşları su ile temasta dağılabilir. Aynı çamurtaşları ile serpantinler şişme ve kabarma basınçlarına neden olabilir.

10-Kopdağı 1 tüneli 6., 7. ve 9. sonuçlar gözönünde bulundurularak açılabilir.

11-Kopdağı 2 tüneli 8. sonuca göre kesinlikle açılamaz.

12-Karasu Çayı'nda beton agrega malzemesi olabilecek A, B ve C bölgeleri belirlenerek fiziksel özellik yönünden uygunlukları araştırılmış ve B bölgesi en uygun bölge olarak saptanmıştır.

13-B bölgesine ait sonuçlara göre beton karışım hesapları yapılmış, örnek betonlar dökülmüş, istenilen mukavemetler elde edilmemiştir. İstenilen mukavemetleri elde edebilmek için betona kırmataş ilave edilmesi gerekmektedir. Kırmataş olarak Gurri formasyonu kireçtaşları kullanılabilir.

14-Beton karışımlarında uygun karışım oranları bulunduktan sonra dona karşı dayanıklılığının ayrıntılı araştırması gerekmektedir.

15-Tünel açılması halinde, heyelanlı bölgeler ayrıntılı bir şekilde topoğrafik, jeofizik, laboratuvar ve sondaj çalışmaları ile araştırılmalıdır.

16-Tünel açılması halinde, önceden araştırma galerileri açılarak yerinde deneylerin yapılması gereklidir.

17-Tünel güzergahlarında yapılan araştırma sondajları, tünel açılması halinde yeraltısuyu için hazır su yolları oluşturabileceğinden, her sondaj kuyusu tamamlandıktan sonra betonla kapatılmalıdır.

IX. ÖZET

Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Uygulamalı Jeoloji Programında Doktora Tezi olarak hazırlanan bu incelemenin amacı, tünellerde kaya kütlesi sınıflamalarının incelenmesi, Kopdağı 1 Kopdağı 2 tünel güzergahlarına uygulanmaları ve bu güzergahların jeolojik-jeoteknik değerlendirilmesi ile tünelde kullanılabilecek beton agregası yer ve niteliklerinin araştırılmasıdır. Bunun için bölgenin 1/25 000 ölçekli tünel güzergahlarının 1/2 000 ölçekli ayrıntılı jeolojik harita ve kesitleri, malzeme sahasının 1/10 000 ölçekli harita ve kuyu kesitleri hazırlanmıştır. Çalışılan alanın yüzölçümü 110 km² dir. Arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları 1986 Haziran ayında başlamış ve 1989 Nisan ayına kadar sürdürülmüştür.

İnceleme alanı Doğu Karadeniz bölgesi ile Doğu Anadolu bölgesinin NE kesimi içinde, Gümüşhane iline bağlı Bayburt ilçesi ile, Erzurum iline bağlı Aşkale ilçesi arasında yer alır. Trabzon-Erzurum karayolunun çalışma sahasının tamamını NW-SE yönünde kateder. Morfoloji, NE-SW gidişli, yapı ve litoloji ile tamamen uyumludur. Yükseltiler N'e doğru gildikçe artar, Kopdağları'nda 3000 m.ye yaklaşır, S'e doğru 1500 m.ye iner.

Çalışma sahasında gözlenen en yaşlı birim Permo-Karbonifer öncesi yaşta Çankulesi Metamorfittler'idir. Metamorfittler'in diğer tüm birimlerle olan dokanağı faylıdır. Alt-Orta Jura'da Sarıkaya formasyonu, Üst Jura-Alt Kretase'de Sarıkaya formasyonu ile uyumlu Gurri formasyonu yeralır. Miyosen'de Göllerderesi formasyonu kendinden öncesi birimlerle açısal diskordanslı örter. Kop Ultramafiti Üst Jura öncesi oluşmuş ve Miyosen sonrası ikincil ve üçüncül hareketlerle bugünkü konumunu kazanmıştır. Kuvaterner, alüvyon ve

yamaş molozları ile temsil olunmuştur.

Çankulesi metamorfitleri gnays ve şistlerden oluşur, ayrıca ofiyolitler içinde tek bir blok şeklinde rekrystalize kireçtaşı bulunur. Formasyonun tabanı gözlenemez ve düzgün bir istiflenme sunmaz, ofiyolitler içinde tektonik bir dilim şeklinde bulunur.

Mikaşistler, taze yüzeyi açık kahve, koyu boz ayrışmış yüzeyi ise koyu gri, koyu kahverenglidir. Yapraklanma pek belirgin değildir. Mikroskopik olarak kuvars mika ve feldspat içerirler. Gnayslar, mikaşistlerle geçişli olup taze yüzeyi yeşilimsi mavimsi, açık gri ayrışmış yüzeyi ise kahverenglidir. Kuvars ve feldspatlardan oluşmuş seviyeler devamlı olmayan iri bantları oluşturur. Mikroskopik olarak, muskovit, biyotit, kuvars ve feldspatlardan oluşur. Rekrystalize kireçtaşları yalnız Kandiltaş Tepe'nin güneybatısında gözlenir ve rengi gri-beyaz arasında değişir, bol kırık ve çatlaklıdır.

Metamorfitler, Ketin (1951), Açar (1977), Korkmaz, Baki (1984)'e göre Permo-Karbonifer öncesi yaştadır.

Kop Ultramafitleri çalışma sahasının büyük kısmını oluşturur ve yaklaşık NE-SW uzanımlı bir zon şeklinde gözlenir, magmatik bantlaşma SE'ya doğrudur. Magmatik bantlaşmaya dik yönde bir kesit alınırsa alt seviyelerde serpantinleşmiş harzburgitler ile yeryer dunitler yeralır. Üste doğru harzburgit, piroksenli harzburgit, piroksenli gabro, gabro ve pegmatitik gabro şeklinde devam eder.

Serpantinleşmiş harzburgitlerin dış rengi açık yeşil, zeytuni yeşil, sarımsı yeşil ve kahverengimsi sarıdır. Harzburgitler yeryer Dunit merccekleri ile kesilir ve içlerinde benekli kromitler (Gullabi Komu) ve bantlı kromitler yeralır. Dunit seviyelerini harzburgit seviyeleri izler ve bu seviyede de bazı kırık zonları boyunca kromit merccekleri gözlenir.

Üst seviyelere doğru gidildiğinde piroksen yüzdesi artar ve piroksenit düzeylerinin ayırtlanabildiği kromitli bir seviyeye gelinir. Piroksenit düzeylerini plajioklas-piroksen ardalanmasından oluşan bantlı gabrolar izler. Gabro seviyelerindeki plajioklas-piroksen diziliminden ölçülen magmatik bantlaşma K47D/65GD dur. Bunun Kop ultramafitinin genel uzanımına uyumlu olduğu gözlenir.

Kop ultramafitinin çalışma sahasında gözlenen dokanıklarının çoğu tektonik olduğundan bu kesimlerde birincil özelliklerini çoğun kaybeden bu kayalar tektonizma etkisi ile kırıklı ve eklemlı bir görünüm kazanmışlardır. Dokanak zonlarından alınan numunelerde yoğun bir serpantinleşme gözlenir. Özellikle Henegebaşı mevkiinde ultramafitler bol kırıklı çatlaklı ve blokludur. İnce kesitlerde tamamen serpantinite dönüşmüşlerdir. Ayrıca ultramafitler içinde serpantinleşmenin yoğun olduğu kesimlerde yeraltısuları etkisi ile killeşme ve ofikalsitler gözlenir. Kop ultramafitlerini Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Gurri formasyonu diskordan olarak öster. Buna göre ultramafitler Üst Jura öncesi oluşmuştur. Alt Kretase ve Miyosen sonrası ikincil ve üçüncül hareketlerle bugünkü konumunu kazanmışlardır.

Sarıkaya formasyonu harita alanının NW'sında yer alır. Tabanı gözlenemez, üst sınırı Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Gurri formasyonu ile geçişlidir. Bol kıvrım ve kıvrımcıklı olan formasyon gözlenebildiği yerlerde tabanda ince orta katmanlı, siyah renkli oolitlik kireçtaşları ile başlar ve gri-bej renkli orta-kalın katmanlı yeryer bordo kırmızı renkli ince-orta katmanlı kireçtaşlarına geçer. Açık gri, bej renkli orta-kalın katmanlı kumtaşları, kireçtaşları ile arakatmanlıdır. Kireçtaşları içinde yeryer gri, bej renkli, orta-kalın katmanlı çört yumruları içeren kireçtaşı ara seviyeleri gözlenmektedir. Formasyonun üst seviyelerine doğru kumtaşı, marn ve çamurtaşı yoğunlaşır. Formasyon Ketin (1951), Korkmaz, Baki (1984), Özer (1984)'e göre Alt-OrtaJura yaşlıdır.

Gurri formasyonu Trabzon-Erzurum karayolunun her iki tarafında yer alır ve yüksek tepeleri oluşturur. Gurri formasyonu alttan üste doğru üç üyeye ayrılmıştır. Bakdülü kireçtaşı-şeyl üyesi, Kızıleşme çörtlü kireçtaşı üyesi, Aktaş kumtaşı-kireçtaşı-şeyl üyesi. Tektonizmadan etkilenmiş bol kıvrımlı ve dokanak zonları çoğun faylı olan formasyon Sarıkaya Tepe kuzeyinde, altındaki Sarıkaya formasyonu ile uyumludur. Akdağ, Aktaş ve henegebaşı mevkieinde Kop ultramafiti üzerinde diskordan olarak bulunur. Gurri formasyonunu Göllerderesi formasyonu diskordanslı bir şekilde üzerler.

Bakdülü üyesi Gurri formasyonunun en alt seviyesini oluşturur ve yaygın bir şekilde mostra verir. Hakim lito-lojisi kireçtaşı olan Bakdülü üyesi içinde yeryer şeyl ve marn ara seviyeleri gözlenir. Kireçtaşları, açık bej, beyazımsı, grimsi, orta-kalın katmanlı, çok sert, yer yer çört yumrulu, kırık ve çatlakları boyunca gelişmiş bol kalsit damarlı ve tabanda bol Ammonit fosillidir. Marnlar, beyazımsı, bej, ince-orta katmanlı, sert, şeyller ise koyu gri, yeşilimsi, laminalı, kıymıksı ayrışmalı ve dağılgandırlar. Bakdülü üyesi içerdği mikro fosillere göre Üst Jura-Alt Kretase yaşındadır.

Kızıleşme üyesi çört ve çörtlü kireçtaşlarından oluşur. Siyah kalın çört bantları ile topoğrafyada kolayca tanınır. Çörtlü kireçtaşları, açık gri, bej, krem renkli, orta-kalın katmanlı, çok sert, kalsit damarlıdır. Çörtlü kireçtaşları içinde kalınlığı yeryer 30 cm. ye ulaşan çörtler, siyahımsı, leşilimsi kahverengi, ince-orta katmanlı, bol kırık ve çatlaklıdır. Kızıleşme üyesi tabanda Bakdülü üyesi ile geçişlidir ve Üst Jura-Alt Kretase yaşındadır.

Göllerderesi formasyonu, Saptıran civarında, Kopdibi Komu Mahallesi ve SW'sında, Kandiltaş Tepe ve E'sunda mostra verir. Göllerderesi formasyonu, Kandiltaş çakiltaşı üyesi ve Göller kumtaşı-şeyl-çamurtaşı üyelerinden oluşur. Formasyon Gurri formasyonu üzerinde diskordanslıdır. Miyosen sonrası tektonik hareketlerle Kop ultramafiti ve Gurri formasyonu Göllerderesi formasyonunu şariyajla örter.

Kandiltaş üyesi formasyonun tabanını oluşturur ve çakıldaşları ile temsil edilir. Çakıldaşları, tabanda çok kalın katmanlı, iri, köşeli yada az köşeli çakıllıdır. Matris kumlu, karbonatlı olup, çimento killi karbonattır. Çakılların elemanları metamorfit kayalar, serpantin, spilitik bazalt Gurri formasyonu kireçtaşı ve kumtaşlarından oluşmuştur. Kandiltaş üyesi Bilgin(1983)'e göre Miyosen yaşlıdır.

Göller üyesi tabanda Kandiltaş üyesi ile uyumludur, üst sınırı faylıdır ve alüvyon dışında başka birim tarafından örtülmez. Gri, boz, ince-orta katmanlı, ince taneli, iyi boylanmış, sert, karbonat çimentolu, bol kırıklı, kırıkları kalsit ve kil dolgu kumtaşı, Göller üyesinin hakim litolojisini oluşturur. Kumtaşları ile arakatmanlı çamurtaşları, kiremit kırmızısı, ince-orta katmanlı, kumlu, çakıllıdır. Şeyl ise, açık boz, lamine, kıymıksı ayrışmalı dağılgandır. Bazı ara seviyelerinde kahverengimsi, gri, ince katmanlı, yer yer lamine, orta sert kumlu kireçtaşları gözlenir. Göller üyesi Ketin(1951), Gattinger(1955)'e göre Miyosen yaşlıdır.

Kuvaterner yaşlı alüvyon, Göller Deresi, Kıskaçlı Dere, Kop Deresi, Henege suyu, Naldöken Dere boyunca gözlenir. Mil boyutundan blok boyutuna kadar değişen tutturulmamış malzeme kapsayan alüvyon kalınlığı 1-30 m. arasında değişir. Gurri formasyonuna ait yamaç eğimlerinin fazla olduğu sırtlarda kireçtaşlarından türeyen yamaç molozlarında gözlenir.

Harita alanında Kop ultramafiti ile Gurri formasyonu, Gurri formasyonu ile Göllerderesi formasyonu arasındaki dokanak açısal diskordanslıdır. Miyosen sonrası gelişen tektonik hareketlerle diskordans düzlemleri birincil özelliklerini kısmen korumuşlardır. Sarıkaya formasyonu ve Gurri formasyonu bol kıvrım ve kıvrımcıktır. Fliş fasiyesinde çökelen bu iki formasyondaki kıvrımlanmalar kısmen çökme ile kısmen de faylanmalar ile gelişmişlerdir. Eksen doğrultuları faylanmalara uygun ve NE-SW gidişlidir. Heyelan malzemesi içinde de pek çok kıvrım gözlenir. Ancak bunların herhangi bir geometrisi yoktur ve tamamen heyelan etkisi ile gelişmiştir.

İnceleme alanında tünel güzergahı boyunca yüzeyleyen tüm birimlerin eklemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ölçülen eklemlerin streografik ve eşit alan izdüşümleri hazırlanmış, eklemlerin derişme dereceleri bir tabloda toplanmıştır.

İnceleme sahasında düşey, ters, doğrultu atımlı, şariyaj olmak üzere 13 adet fay gözlenmektedir. Faylar Miyosen'den sonra üst üste iki sıkışma ve bir gerilme kuvvetleri etkisi ile üç tektonik dönemde gelişmiştir. Birinci tektonik dönemde Kop ultramafiti, Çankulesi metamorfitleri, Gurri formasyonu ve Göllerderesi formasyonu üzerine itilmiştir. Sıkışma kuvvetleri etkisi ile gelişen bu birinci tektonik dönemde, Kop şariyajı, Cankurtaran şariyajı ve Saptıran şariyajı gelişmiştir. İkinci tektonik dönemde ise tekrar sıkışma kuvvetleri etkisi ile Gurri formasyonu, Göllerderesi formasyonu üzerine, Kop ultramafiti, Gurri formasyonu üzerine itilmiştir. Tabanda bulunan Çankulesi metamorfitleri bir ters fay yardımı ile yükselmiştir. Bu tektonik dönemde Göller ve Henegebaşı şariyajı ile Çankulesi ters fayı oluşmuştur. Üçüncü tektonik dönemde gerilme kuvvetleri etkilidir ve çekim fayları ile doğrultu atımlı faylar gözlenir. Bu dönemde Akdağ, Aktaş, Kıskaçlı, Kalenintaş düşey fayları ile Sarıkaya ve Karataş doğrultu atımlı fayları gelişmiştir.

Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahında yeralan kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri ile süreksizliklerin jeoteknik özellikleri incelenmiştir. 3 formasyona ait 7 birimden alınan 120 deney numunesi ile birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su muhtevası, su emme, porozite, boşluk oranı, doluluk oranı gibi fiziksel özellikler belirlenmiş ve sonuçlar her iki tünel güzergahı için ayrı tablolarda toplanmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde 88 karot ve sayısız şekilsiz örnekten yararlanılmıştır. Yapılan deneylerle tek eksenli, üç eksenli basınç, çekme, nokta yükleme dayanımları, elastisite modülü, poisson oranı, kohezyon, iç sürtünme açıları saptanmış ve Kopdağı 1, Kopdağı 2 tünel güzergahları için

tek bir tabloda toplanmıştır. Tünel güzergahlarındaki kayaların mekanik özelliklerine göre genel bir değerlendirilmesi de yapılmıştır. Süreksizliklerin devamlılık, açıklık, dolgu malzemesi gibi jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi için 3 formasyona ait 7 bölgede toplam 649 lokasyonda gözlemler yapılmış, sonuçlar histogram çözümleri şeklinde değerlendirilmiştir. Dolgu malzemesi ve kayaç kütlesi bozunma dereceleri incelenmiş ve tüm sonuçlar heriki güzergah için bir tabloda toplanmıştır.

Kopdağı 1 tünel güzergahı 3.060 km., Kopdağı 2 tünel güzergahı 6.120 km. uzunluktadır. Heriki tünelde kazı yüksekliği 10.50 m., kazı genişliği 11.80 m.dir. Heriki tünelde de iksa önlemlerinin belirlenebilmesi için kaya kütlesi sınıflamaları incelenmiş ve direkt arazi gözlemlerine dayanan, çeşitli arazi koşullarına göre değerlendirme yapılabilen, basit ve kolay uygulanabilen RSR, RMR ve Q sistemleri kullanılmıştır.

Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları RSR, RMR ve Q sistemlerine göre sınıflandırılmış ve sonuçlar tablo halinde karşılaştırılmıştır. Tablolar incelendiğinde üç sistemle bulunan sonuçların farklı, olduğu en ayrıntılı yaklaşımla Q sistemi ile bulunduğu gözlenmiştir. Ancak diğer sistemlerinde değerlendirmede Q sistemine göre üstün tarafları olduğundan sonuçları gözardı etmek mümkün değildir. Bu nedenle yazar, her üç sistemle bulunduğu iksa önlemlerini Q sistemi ağırlıklı olmak şartı ile jeolojik koşullarıda gözönüne alarak birleştirmiş ve tek bir tabloda toplamıştır.

Tünel güzergahlarında bulunan tüm birimler hidrojeolojik yönden incelenmiştir. Gurri formasyonunun bol kırık ve çatlaklı kumtaşı, kireçtaşı seviyelerinde yeryer 3 lt/sn debiye ulaşan kaynaklar mevcuttur. Diğer birimlerde 0.1 lt/sn ve sızıntı dışında büyük kaynak gözlenmez. Heyelan bölgelerinde debileri 0.1-5 lt/sn arasında değişen kaynaklar gözlenmiştir.

Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahları ve çevrelerinde yapılan arazi gözlemleri ile heyelanlı olan 7 bölge belirlenmiştir. Bu heyelanlı bölgelerden Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarına etkisi olabilecek 3 bölgede gözlemler yoğunlaştırılmış ve bu 3 bölgedeki heyelanların: özellikleri, oluş mekanizması aktifliği ile tünel güzergahına etkisi incelenmiştir.

Birinci heyelan bölgesi; Kopdağı 2 tünel güzergahının giriş ağzı (Gümüşhane tarafı)'ndan başlayarak Kandiltaş Tepe'nin NW'sına kadar uzanan, SW sınırı Kıskaçlı Dere'de sonuçlanan kesimdir. Kopdağı 2 tünel güzergahının 2.030 km. lik kesimi bu heyelan bölgesi içinde kalır.

İkinci heyelan bölgesi; Kopdağı 1 tünel güzergahının giriş ağzının (Gümüşhane tarafı) 500 m. güneyinden başlar. Her iki tarafıda dere ile sınırlı olan bu heyelanın topuk bölgesi tünelin giriş ağzının 60 m.lik bir kısmınıda içine alır.

Üçüncü heyelan bölgesi; Gurri Tepe S'inden başlayarak Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarının çıkış ağızlarına (Erzurum tarafı) kadar uzanarak devam eder. Kopdağı 1 tünel güzergahını kesmez. Kopdağı 2 tünel güzergahının 112 m.lik bir kesimi bu heyelan bölgesi içinde kalır.

Bu inceleme ile elde edilen tüm verilerden yararlanılarak Kopdağı 1 ve Kopdağı 2 tünel güzergahlarının jeolojik ve jeoteknik değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmede her yapısal bölge önce tanımlanmış, fiziksel ve mekanik özellikleri belirtildikten sonra karşılaşılabilecek muhtemel sorunlara değinilmiştir.

Kop ultramafiti, genelde geçirimsiz sağlam görülmekle birlikte faylanma ve yeraltısuyu etkisi ile ayrılmış, kile dönüşmüş seviyeler içerir. Fay zonuna yakın yerlerde bol miktarlarda su gelişleri, killi seviyelerde şişme ve kabarmalar meydana gelebilir. Kopdağı 1 tünel güzergahında 2.000-

3.000 km. ler arasında ultramafit üzerinde tünel kotuna oldukça yaklaşan heyelan düzleminden ani su patlamaları beklenmelidir.

Gurri formasyonu, tünel kotunda Bakdülü kireçtaşı-şeyl üyesi ile temsil edilir. Kireçtaşlarının bol kırıklı olması serbest basınç mukavemetini olumsuz yönde etkiler. Bu kırıklar aynı zamanda yeraltısuyuna hareket serbestliği sağlar. Kireçtaşlarında tünel açımında su problemleri olacaktır. Su problemi ani su patlamaları, su boşalmaları şeklinde değil, eklemlerden devamlı su gelişi şeklinde beklenmelidir. Yüzey çalışmalarında kireçtaşlarında karstlaşma gelişmediği gözlenmiştir. Fazla sayıda eklem bulunduran bölgelerde kaya düşmeleri ve aşırı sökümler gelişebilir. Kireçtaşı içinde ara seviyeler halinde bulunan marn ve şeyller hem kaya kütlelerinin dayanımını düşürür, hemde aşırı söküme ve kaya düşmelerine yardımcı olur. Fay zonlarına yaklaşıldığında önemli su problemleri ile karşılaşılabilir.

Göllerderesi formasyonu çakıltıları az sayıda eklemli eklemleri sıkıca bağlı, kalın katmanlıdır. Bu özellikleri tünel açımında genelde bir problem yaratmayacağını gösterir. Kaya kütleleri sınıflamalarında da çok sağlam-sağlam (Q) kaya sınıfına girmektedir. Kandiltaş Tepe'de çapları 30 cm. ye ulaşan erime boşlukları bulunması önemlidir. Bu boşluklar yeraltısuyunun hareketine neden olup, sorun yaratabilirler.

Göllerderesi formasyonu çamurtaşları çok düşük dirençlidir. Deneyler sırasında bazı numuneler su ile temasta dağılmıştır. Birimin suya karşı hassas olduğunu, tünel açımında kesinlikle uzun süre su ile temasta bırakılmamalıdır.

Kopdağı 1 tünel güzergahı 0.000-0.060 km. ler arasındaki heyelan tünelin giriş ağzını içine alır, aktiftir. Tünel açımında heyelan malzemesi kesinlikle temizlenmeli ve önüne istinat duvarı inşaa edilmelidir.

Kopdağı 2 tünel güzergahı 0.000-2.030 km.ler arasındaki heyelan tünelin tamamını içine alır. Yüzeyde aktif olduğu gözlenen bu heyelan bölgesinde tünelin açılması kesinlikle mümkün değildir.

Kopdağı 1 tünel güzergahı 0.364-0.380, 1.480-1.510 km. Kopdağı 2 tünel güzergahı 2.810-2.814, 3.610-3.630, 4.540-4.555 km.ler arasında bulunan fay zonlarında ani göçmeler su problemleri beklenmeli bu kesimler kesinlikle çelik iksa ile geçilmelidir.

Beton agrega araştırmaları için tünellere en yakın yer olan Karasu Çayı (Erzurum-Aşkale)'nda agrega ocağı olabilecek iki bölge (A ve B bölgeleri) saptanmıştır. Bu bölgelerde 24 numune 21 gözlem kuyusu açılmıştır. Ayrıca Aşkale-Trabzon yolu üzerindeki eski dere alüvyonlarının (C bölgesi) uygunluğu 3 yarma ve 3 gözlem kuyusunda araştırılmıştır. Üç bölgeden alınan numunelerin önce fiziksel deneylerle uygunluğu araştırılmış ve B bölgesi en uygun bölge olarak saptanmıştır. Beton karışım hesaplarında B bölgesine ait deney sonuçları ve aynı bölgenin numuneleri kullanılmıştır. Bulunan sonuçlara göre istenen mukavemetler elde edilememiştir. Yazar, bunun nedeninin kökeni ofiyolitik ve volkanik kayalardan oluşan çakıllardan olduğu düşünmektedir. Betonun mukavemetinin artırılabilmesi için Gurri formasyonuna ait tünel kazısından çıkarılacak kireçtaşlarının kırılıp granülometrisi düzeltilerek betona ilave edilmesi gerekmektedir. Kireçtaşlarının kırmataş olarak hangi oranlarda betona katılması gerektiği ayrıca yapılacak deneylerle belirlenebilir.

İnceleme sahası 1. derecede deprem bölgesi içinde kalmaktadır.

KAYNAKLAR

- 1-Ağar, Ü., (1975), Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi; Doktora Tezi, İ.Ü.Fen Fakültesi.
- 2-Akdeniz, N., (1984), Demirözü (Bayburt) Permo-Karboniferi ve bölgesel yapı içindeki yeri; T.J.K. Bülteni, S.5, 92-93, Ankara.
- 3-Aksay, A., (1987), Yesirçöl Dağı (Erzurum) dolayının genel jeolojisi; M.T.A rapor No.8233, Ankara.
- 4-Altınlı, İ.E., (1963), 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası (Erzurum Paftası) ve açıklaması; M.T.A yayını, Ankara.
- 5-Altınlı, İ.E., (1966), Doğu ve Güneydoğu Anadolunun Jeolojisi; M.T.A dergisi, S.66, 35-74, S.67, 1-24, Ankara.
- 6-Barton, N., Lien, R., and Lunde, J., (1974), Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support; Rock Mechanics, Vol.6, No.4, pp.183-236, Springer Verlag.
- 7-Bektaş, O., Pelin, S., Korkmaz, S., (1984), Doğu Pontit yay-gerisi havzasında manto yükselimi ve polijenetik ofiyolit olgusu; Ketin Simpozyumu, 175-188, İstanbul.
- 8-Bieniawski, Z.T., (1973), Engineering Classification of Jointed Rock Masses; Transactions of the South African Institution of Civil Engineers, Vol.15, No.12, pp.335-344.
- 9-Bieniawski, Z.T., (1975), The Point-Load Test in Geotechnical practice; Eng. Geol., 9, pp. 1-11.
- 10-Bieniawski, Z.T., (1976), Rock Mass Classification in Rock Engineering; Proceedings, Symposium on Exploration for Rock Engineering, pp.97-106, Rotterdam.
- 11-Bieniawski, Z.T., (1979), Tunnel Design By Rock Mass Classification; U.S.Army Engineer Waterways Experiment Station, Technical Report GL-79-19, Washington D.C.
- 12-Bilgin, A., (1983), Serçeme (Erzurum) deresi ve dolayının Jeolojik-Petrografik incelemesi; TÜBİTAK, Proje No. TBAG-450, Erzurum.
- 13-Bilgin, A., (1984), Serçeme (Erzurum) deresi ve dolayındaki Filiş ve kireçtaşlarının Jeokimyası; T.J.K bülteni, S.5, 51-58, Ankara.

- 14-Brekke, T.L., and Howard, T.,(1972), Stability Problems Caused by Seams and Faults; Proceedings, Rapid Excavation and Tunneling Conference, American Institution of mining Engineers, pp. 25-41, New York.
- 15-Brinkmann, R., (1976), Geology of Turkey; Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- 16-Buruşuk, A., (1973), Bayburt Yöresinin mikropaleontolojik ve stratigrafik irdelenmesi; Doktora tezi, İ.Ü. Fen Fakültesi
- 17-Buruşuk, A., (1981), Aşkale-Bayburt yöresinde (KB Erzurum) Calpionellid biyozonları; K.T.Ü Yer Bilimleri Dergisi C.1, S.1, 21-28, Trabzon.
- 18-Cording, E.J., and Deere, D.V., (1972), Rock Tunnel Supports and Field Measurements; Proceedings, Rapid Excavation and Tunneling Conference, American Institution of mining Engineers, pp. 601-622, New York.
- 19-Doyuran, V., Uğurlu, A., Harut, A., (1982), Mekke iç çevre yolu projesi, MIT-2 tünelinin jeoteknik incelemesi; T.J.K Bülteni, C.25, S.1, 73-80 Ankara.
- 20-D.S.İ.,(1984), Beton Semineri; Ankara.
- 21-D.S.İ.,(1986), Tünellerin Projelendirmesi ve İnşaatı Semineri; C.1,2, Adana.
- 22-E.G.W.P.,(1977), The Description of Rock Masses for Engineering Purposes; Eng.Geol., Vol.10, pp.355-388, Great Britain.
- 23-Erguvanlı, K., (1952), Trabzon-Gümüşhane arasındaki Pontitlerin bir kesiti; T.J.K Bülteni, C.III, S.2,65-68, Ankara.
- 24-Erguvanlı, K., Goodman, R.E., (1973), Kazılarda çatlak etkisinin kinematik modellerle araştırılması; T.J.K Bülteni, C.XVI, S.1, 27-40, Ankara.
- 25-Erguvanlı, K., (1982), mühendislik Jeolojisi; İ.T.Ü. yayını, S.1227, İstanbul.
- 26-Eriş, İ., (1986), Q sistemi ve kuzey Haliç Kanalizasyon Tünellerine Uygulanması; Mühendislik Jeolojisi Bülteni, No.8, 31-37, İstanbul.
- 27-Eroskay, S.O., (1970), Laleli Tosköy derivasyon tüneli jeolojisi raporu; E.İ.E. yayını, Ankara.
- 28-Ertunç, A., (1976), Fırat-Gölköy bendi Göl alanı geçirimsizliğinin ve yer kaymalarının Jeoloji incelemesi; Doktora tezi, E.İ.E yayını, No.76-24, 149 S.,Ankara.

- 29-Ertunç, A., (1979), Mühendislik Jeolojisi Ders Notları; Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi.
- 30-Ertunç, A., (1984), Çoruh-Norgah ve İspir Baraj yerleri ve göl alanları ile Norgah-İspir tünel güzergahının mühendislik jeolojisi incelemesi; Doçentlik Tezi, E.İ.E yayını, No.84-53, 56 S., Ankara.
- 31-Ertunç, A., (1984), Tünellerde yapılan kaya sınıflamaları; E.İ.E, Tünelcilik Semineri, 164-206, Ankara.
- 32-Gottinger, T.E., (1956), Trabzon-rize-Gümüşhane-Erzurum-Artvin-Kars vileyetlerinin bulunduğu sahadaki doğu Pontitlerde yapılan jeolojik Löve, ikmal, revizyon çalışmaları hakkında rapor; M.T.A rapor No.2380, Ankara.
- 33-Gottinger, T.E., (1962), 1/500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası (Trabzon) paftası ve Açıklaması; M.T.A yayını Ankara.
- 34-Gürpınar, O., (1978), Bilecik-İnegöl-Yenişehir arasının Jeolojisi ve Bilecik Kireçtaşının Mühendislik Özellikleri; İ.Ü.F.F. Mecmuası, Seri B., 40, I-4, İstanbul.
- 35-Gürpınar, O., (1986), Malzeme Bilgisi Ders Notları; İ.Ü. Müh. Fak.,(Yayınlanmamış).
- 36-Hobst, L., and Zajic, J.,(1983), Anchoring of underground Excavation; Developments in Geotechnical Engineering, Vol.33, pp.308-358, USA.
- 37-Hoek, E., Brown, E.T., (1980), Underground Excavations in Rock; The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- 38-I.S.R.M., (1978), Suggest Methods For The Quantitative Description of Discontinuities In Rock Masses; Int. 1. Rock Mech. Min. Sci.& Geomech. Abstr. Vol.15, pp. 319-368, Great Britain.
- 39-I.S.R.M., (1981), Basic Geotechnical Description of Rock Masses; Int. 1. Rock Mech. Min. Sci.& Geomech. Abstr., Vol.18, pp.85-110, Great Britain.
- 40-İ.T.Ü, M.J.K.M., (1982), İ.S.K.İ. Eyüp Tünel Güzergahının Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekanigi Raporu; Rapor no. 82/16, İstanbul.
- 41-İ.T.Ü, M.J.K.M., (1983), İ.S.K.İ. Haliç Tüneli Güzergahının Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekanigi Raporu; Rapor No.83/6, İstanbul.
- 42-Jumikis, A.R., (1979), Rock Mechanics; Series on Rock and Soil Mechanics, Vol.3, No.5, Trans.Tech. Publications, Germany.

- 43-Karaoğullarından, T., Özgüzel, N., (1977), Aslantaş Barajının Mühendislik Jeolojisi ve Filişlerde tünel kazısı; Jeo. Müh. Dergisi, S.2, Ankara.
- 44-Kendiroğlu, Z., (1976), Erzurum-Aşkale doğu Kop bölgesi Kromit Yataklarının Jeolojisi; M.T.A rap.no.6454, Ankara.
- 45-Ketin, İ., (1950), Erzincan ile Aşkale arasındaki sahanın (1/100 000'lik 46/4 ve 47/3 paftalarının) jeolojisine ait memuar; M.T.A rap. no. 1950, Ankara.
- 46-Ketin, İ., (1951), Bayburt bölgesinin Jeolojisi hakkında; İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası, Seri B, C.XVI, S.2, 113-127, İstanbul.
- 47-Ketin, İ., (1966), Anadolunun tektonik birlikleri; M.T.A Dergisi, S.66, 20-34, Ankara.
- 48-Ketin, İ., (1972), Yapısal Jeoloji; İ.T.Ü yayın no. 869, İstanbul.
- 49-Ketin, İ., (1983), Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış; İ.T.Ü Kütüphanesi, 1259, 158-162, İstanbul.
- 50-Korkmaz, S., Baki, Z., (1984), Demirözü (bayburt) Güneyinin Stratigrafisi; T.J.K Bülteni, S.5, 107-115, Ankara.
- 51-Kuntel, A., (1977), tünel desteği projeleri için kaya kütlelerinin mühendislik sınıflaması; Çeviri, D.S.İ Jeoteknik I, Ankara.
- 52-Lahn, E., (1939), Karasu ile Çoruh nehri (Erzurum Vilayeti) arasındaki mınıtkada yapılan jeolojik tetkikata dair rapor; M.T.A rapor no. 838, Ankara.
- 53-Merritt, A.H., (1972), Geological Prediction for Underground Excavations; Proceedings, rapid Excavation and Tunneling Conference, American Institution of mining Engineers, pp.115-132, New York.
- 54-Norman, T., (1976), Bayburt güneyindeki Alt Tersiyer havzasında paleo-akıntı yönleri; T.J.K Bülteni, C.XIX, S.1, 23-30, Ankara.
- 55-Özer, E., (1984), Bayburt (Gümüşhane) yöresinin jeolojisi; K.Ü. dergisi, C.3, S.1-2, 77-89, Trabzon.
- 56-Postacıoğlu, B., (1987), Beton; Agregalar-beton, C.2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- 57-Roberts, A., (1981), Geotechnology; Pergamon Press, Great Britain.

- 58-Soyer, H., (1986), Beton Mukavemeti ve Kalite Kontrol Semineri; D.S.İ XVIII. Böl.Md.Jeot.ve Lab. Baş Mühendisli liği, Isparta.
- 59-Tarakçı, M., (1984), Tünellerin Tanımı ve Tünel Terminolojisi; E.İ.E, Tünelcilik Semineri, 1-20, Ankara.
- 60-Tarhan, F., (1981), Artvin Baraj yerinde Nokta Yük Aleti Bir Uygulama; K.T.Ü Yerbilimleri Dergisi, C.1, S.2, 165-173, Trabzon.
- 61-Tarhan, F., (1984), Artvin Granitinin Mühendislik Özellikleri; K.T.Ü. Dergisi, C.3, S.1-2, 33-46, Trabzon.
- 62-T.S.E., (1975), Kayaçların Çekme Dayanımlarının Tayini; TS.2027, UDK.622.02, Ankara.
- 63-T.S.E., (1975), Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımlarının Tayini; TS.2028, UDK.622.02, Ankara.
- 64-T.S.E., (1975), Kayaçların Üç Eksenli Basınç Dayanımlarının Tayini; TS.2029, UDK.622.02, Ankara.
- 65-T.S.E., (1975), Kayaçların Elastisite Modülünün ve Poisson Oranının Tek Eksenli Basınç Deneyi ile Tayini; TS.2030 UDK.622.02, Ankara.
- 66-T.S.E., (1978), Doğal Yapı Taşlarının Muayene ve deney Metodları; TS.699, UDK.691.2, Ankara.
- 67-T.S.E., (1985), Beton Karışım Hesap Esasları; TS.802, UDK.666.97.031, Ankara.
- 68-Türk-Japon Proje Elemanları, (1979), Report on geological survey of Tunceli and Kop area Eastern Turkey; PhaseII, Kopdağ Area, M.T.A rapor no. 6548, Ankara.
- 69-Unay, G., (1975), kaya Mekaniği İlkeleri ve Tünel Jeolojisi Çeviri, E.İ.E Bülteni, S.58, 9-19, Ankara.
- 70-Unay, G., (1978), kayadaki Süreksizliklerin Saptanması; Çeviri, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, S.6, 49-54, Ankara.
- 71-Vardar, M., (1978), Mühendislik Jeolojisi-Yeraltı Kaya Mekaniği İlişkisi; T.J.K, Müh. Jeol. Milli Kom., Müh. Jeol. Simp., 29-36, Ankara.
- 72-Vardar, M., (1979), İleri Kaya Mekaniği;İ.T.Ü Maden Fakültesi, İstanbul.
- 73-Vardar, M., (1982), Tünel Projelerinde Kaya Mekaniği Çalışmaları; kaya Mekaniği Bülteni, S.1, Ankın Kitabevi, İstanbul.

- 74-Wickham, G.E., Tiedemann, H.R., and Skinner, E.H., (1972), Support determination Based on Geologic Predictions; Proceedings, Rapid Excavation and Tunneling Conference, American Institution of mining Engineers, pp.43-64, New York.
- 75-Yüzer, E., (1973), Yerkabuğunun Sığ Derinliklerindeki Gerilmeler ve Bunların Mühendislik İşlerindeki önemi; İ.T.Ü Dergisi, C.30, S.3, İstanbul.
- 76-Yüzer, E., Zambak, C., (1974), Jeolojide Deneyssel Kaya Mekanığı; Çeviri, İ.T.Ü yayını, no.998, İstanbul.