
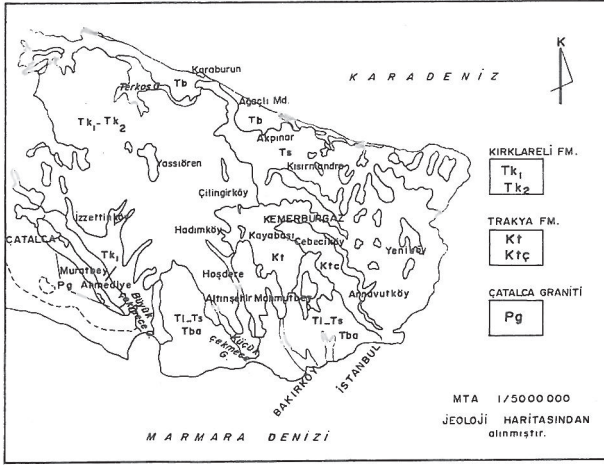


SİLİ	DEVONİYEN	KARBONİFER	KRETASE	TERSİYER			KUVATERNER						
				EOSEN	OLİGOSEN	MIYOSEN	Belgrad	Yapay dolgu					
				Kırklareli Tk ₂ Tk ₁	Gülpınar Tg	İkitelli Süleymaniye Ti	Süleymaniye Ts	Bakırköy Tba Tb	Qal Qd	100-200 m. 80-120 m. 2-20 m. 10-20 m. 10-25 m. 10-25 m.	2.40 m. 2.40 m. 2.40 m. 2.40 m. 2.40 m. 2.40 m.		Çakıl, kum, silt, kil, moloz, tuğla ve kiremit parçaları
													Kum, silt, kil
													Kum, silt, kil
													Kil aratabakalı kireçtaşı
													Silt arakatlı çoğun siyah-mavi kil
													Sarı kum, silt ve çakıl
													Kumtaşı-kiltaşı
													Killi kireçtaşı, marn (Tk2)
													Resifal kireçtaşı (Tk1)
													Bazalt
													Andezit, tuf
													Kumtaşı, silttaşı, kiltaşı Şeyl (Çamurluhan) Kireçtaşı (Cebeciköy)
													Tabakalı çört, silisli şeyl
													Kireçtaşı, yumru kireçtaşı
													Kireçtaşı mercekli, kumtaşı, silttaşı kil-şeyl ardalanması
													Kumtaşı arakatmanlı, mercanlı kireçtaşı ve şeyl
													Mercanlı kireçtaşı, yumru kireçtaşı
													Çatalca graniti
													Gnays, şist, fillat, kuvarsit

Ölçeksiz

Şekil 1. Genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.
Figure 1. Generalized stratigraphic section.



Şekil 2. İstanbul'un Avrupa yakasına ait jeoloji haritası.
Figure 2. Geological map of European part of İstanbul.

kaya birimleri Paleozoyik'e ait Çatalca graniti, Trakya formasyonu, Cebeciköy kireçtaşı ve Tersiyer'e ait Kırklareli formasyonudur. Diğer Paleozoyik'e ait Temel karmaşığı, Dolayoba, İstinye, Kartal, Büyükkada, Baltalimanı formasyonları ve Tersiyer'e ait Gürpınar, İkitelli, Süleymaniye Bakırköy, Belgrat formasyonu birimleri, yoğun yerleşim alanları içerisinde kaldığından veya boğazın ön görünüm bölgesinde bulduklarından kullanım olanakları kalmamıştır.

Çatalca granit intrüzyonları, Ahmediye köyünün güney batısındaki yamaçlarda, aralı mostralarda şeklinde temel karmaşığının şistlerini keser. İntrüzyonların sınırına yakın, 15-20 metrelik kesiminde, çoğu mikrogranit bulunmaktadır.

Trakya formasyonu, İstanbul Paleozoyik arazisinin üst birimini oluşturur. Karbonifer yaşlı Trakya formasyonu genellikle kumtaşı, siltaşı, kiltası ve bu birimlerde yanal ve düşey geçişli Cebeciköy kireçtaşından oluşmuştur. Bu kırıntılı istif içerisinde yer yer andezit veya diyabaz türünden damarlar veya siller sokulmuştur. Yaklaşık 2000 m., kalınlıktaki bu tortul istif, ileri derecede tektonik deformasyona uğramış, şiddetle kıvrılmış, devrilmiş ve çok sayıda çatlak yüzeyleri ve kayma düzlemleriyle kırılmış ve parçalanmıştır (Ketin vd. 1989).

İstanbul'un kuzey batısında bulunan, Eosen yaşlı Kırklareli Formasyonu, başlıca kireçtaşı, marn, kiltası ve şeyl düzeylerinden oluşur. Trakya formasyonu ve temel karmaşığı birimleri üzerine pelesipod olarak gelen bu istif yer yer bir taban konglomeratı ile başlamaktadır. Temelin paleotopografyasındaki bazı yüksek yerlerde resifler oluşmuştur. Resif çekirdekleri beyaz, sarımsı beyaz, sıkı, sert, bol fosillidir. Diğer kısımlar ise katmanlı killi kireçtaşı, marn ve kiltaslarından oluşur. Bu birimler aynı zamanda yanal ve düşey geçişlidir. İstifin kalınlığı çok değişmektedir. Belirlenen ortalama kalınlığı 80-100 m kadardır.

Bölgedeki Çatalca graniti ve Trakya formasyonuna ait temel kayaları değişken süreksizlik yönelimine sahiptir. Başlıca yapısal gidişleri de kuzey - güney veya doğu - batı doğrultuludur. Bölgenin güneybatı kesiminde geniş alanlar kaplayan Eosen'e ait Kırklareli formasyonu ise genellikle geniş kıvrımlı veya yataya yakın az eğimlidir.

İSTANBUL BATISINDAKİ YAPI GEREÇİ OCAKLARININ DAĞILIMI

İstanbul'un batısı, yapı gereci bakımından geniş bir potansiyele sahiptir (Erdoğan 1993). Bu potansiyel yeni kaynak alanlarının geliştirilmesi ile uzun yıllar hizmet verecek niteliktedir. Günümüzde ise İstanbul batısında, İl Özel İdare Müdürlüğüne bağlı olarak çalışan 124 yapı gereci ocağı bulunmaktadır. Bu ocağın 56'sı taş ocağı, 68'i kum çakıl ocağıdır. Taş ocağının büyük çoğunluğundan da kırma taş olarak yararlanılmaktadır.

Taş ocağları Çatalca, Bakırköy, Eyüp, Gaziosmanpaşa, Silivri ve Şişli ilçelerinde bulunmaktadır. Çatalca ilçesine bağlı olarak işletilen 15 yapı taşı ocağı Tepecik ve Muratbey köyü dolaylarında bulunur. Bu ocağın büyük çoğunluğu Eosen yaşlı Kırklareli kireçtaşı içerisinde açılmıştır. Gaziosmanpaşa ilçesine bağlı 13 tane taş ocağının tamamı Cebeciköy'de bulunmaktadır. Taş ocağlarında, Trakya formasyonunun Cebeciköy kireçtaşı üyesi işletilmektedir. Şişli ilçesine bağlı 12 taş ocağı ise Ayazağa köyü dolaylarında yer alır. Diğer taş ocağları ise Eyüp, Bakırköy, Sarıyer ve Silivri ilçelerine dağılmıştır.

Kum çakıl ocağları ise İstanbul'un batısında bulunan Neojen yaşlı sedimenter birimlerde, alüvyonlarda ve birikinti konilerinde açılmıştır. İstanbul'un kum, çakıl tüketimi fazla olduğundan, ocağın ihtiyacı karşılayamamaktadır. Bu nedenle, İstanbul batısının kum ve çakıl ihtiyacını karşılayabilmek için, taş ocağlarından kırma taş olarak yararlanma yoluna gidilmektedir. Ayrıca, Marmara ve Karadeniz'deki güncel kum ve çakıllardan da yararlanılmaktadır. Fakat, bu çökeller güncel Pelesipod ve gastropod kavrıkları içermesinden dolayı betonda kullanılan agrega standartlarına uymamaktadır. Ya da kumlarda kuvars oranı çok yüksek ve homojen olduğundan beton katkı malzemesi olarak ekonomik olmamaktadır. Çünkü bu kumlar zenginleştirme ile cam sanayinde kullanılmaktadır.

JEOTEKNİK DEĞERLENDİRME

İstanbul'un batı yakasına doğal taş ve kırma taş (agrega sağlamak için işletilen ve/veya işletilebilecek kaya birimleri Çatalca graniti, Trakya formasyonu ve Kırklareli formasyonudur. Bölgede daha önceden doğal taş ve kırma taş olarak kullanılan Dolayoba, İstinye, Kartal ve Büyükkada kireçtaşları, Ortaköy ile Tarabya arasında Boğazın ön görünüm bölgelerinde bulunmaları, yoğun yerleşim alanları içerisinde kalmaları ve aynı zamanda sebep olabilecekleri çevre sorunları nedeniyle taş ocağı olarak işletmelerine olanak kalmamıştır. Benzer durum, İstanbul'daki birçok cami ve tarihi

Numunenin Alındığı Yer	Numunenin Litolojisi	Δ (gr/cm ³)	δ (o)	P %	K %	Sa %	Sh %	D %	k (cm ² /sn)	e %	Schmid Sayısı (S)
Ahmediye	Granit	2.58	2.61	2.0	98.0	0.19	0.49	24.5	3.18*10 ⁹	2.04	60
Ahmediye	Mikrogranit	2.57	2.63	3.0	97.0	0.54	1.38	46.0	7.95*10 ⁸	3.09	37
Mahmutbey	Silttaşı Kiltası	2.68	2.69	1.0	99.0	0.18	0.48	48	3.18*10 ¹¹	1.01	36
Cebeciköy	Kireçtaşı	2.67	2.74	3.0	97.0	0.32	0.85	28.33	1.59*10 ⁸	3.0	43
Hoşdere	Kireçtaşı	2.54	2.63	4.0	96.0	1.54	3.91	97.79	4.2*10 ⁷	4.16	31
Kayabaşı	Killi Kireçtaşı	2.17	2.63	17.0	83.0	6.66	14.46	85.05	9.27*10 ⁶	20.48	25
Altınşehir	Killi Kireçtaşı	2.00	2.49	20.0	80.0	8.44	16.92	84.6	1.69*10 ⁵	25.0	20

Tablo 1. İnceleme alanındaki taşların fiziksel özellikleri.
Table 1. Physical properties of rocks of the study area.

yapılarda doğal taş olarak kullanılan (Erguvanlı 1989) Miyosen yaşlı, Bakırköy formasyonu için de geçerlidir.

Doğal taş ve kırma taş olarak kullanılan veya kullanılabilir olan, Çatalca graniti, Trakya formasyonu ve Kırklareli formasyonuna ait kaya birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri tablolarda sunulmuştur (Tablo 1, 2, 3, 4). Bu değerler petrografik özellikleri ile birlikte, doğal taş ve betonda agrega olma özelliği yönünden değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen Schmidt sayısı değerleri, De Beer (1967); Elastisite modülü ile tek eksenli basınç değerleri Deer (1966)'a göre sınıflandırılmıştır (Dalgıç 1988).

Çatalca graniti

Çatalcanın güneyindeki Ahmediye köyü dolaylarındaki granit intrüzyonları bej-gri, orta-iri taneli, çok sert-sert, sık çatlaklı, çatlak açıklığı 1-2 mm ve dolusuz, köşeli kırıklı, masif yapılı, çizgisel-yer yer düzlemsel akıntı unsurludur.

Granitler, kuvars, plajiyoklas, alkali feldspat biyotit, klorit minerallerini içerirler. Plajiyoklaslar özşekilsiz, iri fenokristaller halinde ve çoğun antipertitik dokuludur. Alkali feldspatlar ise iri özşekilsiz fenokristaller halindedir ve yaygınca serizitleşme daha az oranda kaolenleşme göstermektedirler. Ayrıca, kayada zayıf derecede kataklastik deformasyon izleri bulunmaktadır.

Granitler doğal taş olarak değerlendirildiğinde, birim ağırlık (Δ) değeri ile özgül ağırlık (δ) değerlerinin birbirine yakın olduğu görülür. Bu durum, örneklerde boşlukların az oranda olduğunu göstermektedir. Porozite (p), boşluk oranı (e) ve kapilerite katsayısı (k) değerleri de boşlukların az oranda olduğunu destekler

niteliktedir. Doyma derecesi (D) birimin dona karşı dayanımlı olduğunu göstermektedir. Schmidt sayısı (S) değerleri ile çok sert kaya sınıfındadır (Tablo 2). Granitlerin serbest basınç dayanımının (σ_b) düşük saptanması, içindeki minerallerin ayrılmış olmaları ile ilgilidir (Tablo 3). Çatalca granitleri tek eksenli basınç değeri (σ_b) ile tanjant elastisite modülü (E_{tg}) değerlerine göre orta direnç-düşük modül oranı kaya sınıfına girmektedir. Doğal granitler için saptanan fiziksel ve mekanik değerler, bunların amaca göre kaba taş, moloz taş, yontma taş ve boyutlu taş olarak değerlendirilebileceğini gösterir.

Granitler kırma taş olarak değerlendirildiğinde fiziksel özellikleri beton agregaları için kullanılan standart değerlerin tanı aralığı içerisinde kalmaktadır (Tablo 3). Kırma taşların yüzey pürüzlülüğü ve hacimsel sıkışma katsayısı (H) değerlerinin yüksek oluşu da kaliteli beton üretimi için uygun değerler göstermektedir (Tablo 4). Granit agregalarından alınan numuneler üzerinde yapılan petrografik değerlendirmelere göre, feldspatların yaygınca serizitleşme, daha az oranda kaolenleşme ve zayıf derecede kataklastik deformasyon göstermesi beton için kullanılacak granit agregalarının tek dezavantajını oluşturmaktadır.

Mikrogranitler

Granit intrüzyonlarının kenar zonunu, 15-20 genişliğinde dairesel olarak saran mikrogranitler bulunmaktadır. Bu kayalar koyu gri, sert, ufak taneli, az çatlaklı, çatlak yüzeyi pürüzlü ve az ayrılmıştır.

Mikrogranitler, kuvars, alkali feldspat, plajiyoklas, biyotit, klorit ve epidot minerallerini içerir. Kayada feldspatlar epidota, biyotitler ise klorite dönüş

Numunenin Alındığı Yer	Numunenin Litolojisi	σ_b (Kg/cm ²)	σ_c (Kg/cm ²)	c (Kg/cm ²)	φ^o	ϕ^o	Etg (Kg/cm ²) *10 ³	σ_3 (Kg/cm ²)	σ_1 (Kg/cm ²)
Ahmediye	Granit	778	97	145	52	26	148	100	1727
Ahmediye	Mikrogranit	483	61	83	49	20.5	91	50	897
Mahmutbey	Silttaşı Kiltası	430	59	75	49	19.5	97	50	830
Cebeciköy	Kireçtaşı	650	-	-	-	-	-	-	-
Hoşdere	Kireçtaşı	406	56	73	49	20.5	93	50	795
Kayabaşı	Killi Kireçtaşı	193	25	34	50	20	-	20	332
Altınşehir	Killi Kireçtaşı	106	21	24	42	24	-	20	278

Tablo 2. İnceleme alanındaki taşların mekanik özellikleri.
Table 2. Mechanical properties of rocks of the study area.

başlamışlardır. Kuvars oranı % 20 kadar ve kuvarlar diğer mineral tanelerine göre küçük kristaller halinde boşlukları doldurmaktadır. Kaya zayıf kataklastik deformasyona uğramıştır. Bu durum özellikle alkali feldspat ile plajiyoklasların aşırı çatlaklanmasına ve biyotitlerin deformasyona uğramasına neden olmuştur.

Granit intrüzyonlarının kenar zonlarında bulunan mikrogranitlerin, doğal taş örneklerinde özgül ağırlık (δ) ile birim ağırlığı (Δ) arasındaki küçük fark mikrogranit örneklerindeki minerallerin ayrışmasından ileri gelmiş olmalıdır (Tablo 1). Doyma derecesinin (D) % 80'den küçük olması dona dayanıklılığı göstermektedir.

Kılcılık değerinin (k) düşük bulunuşu rutubetlenme olayını gerçekleştirmediğini belirtmektedir. Schmidt sayısına (S) göre sert kaya; tek eksenli basınç dayanımı (σ_b) ile elastisite modülü değerine (Etg) göre düşük direnç- orta modül oranı kaya sınıfı içerisinde yer almaktadır (Tablo 2). Doğal mikrogranitler yukarıda belirtilen özellikleri göz önüne alınarak amaca göre doğal taş olarak kullanılmalıdır.

Mikrogranitlerden üretilen kırma taşların fiziksel özellikleri beton üretimi için kullanılacak agrega standartlarına uygunluk göstermektedir (Tablo 3). Kırılma yüzeyinin pürüzlülüğü ve hacimsel katsayı değerleri

Numunenin Alındığı Yer	Numunenin Litolojisi	$\Delta_{Gev.}$ (gr/cm ³)	$\Delta_{Sıkı}$ (gr/cm ³)	δ [o]	$K_{Gev.}$ [o]	$K_{Sıkı}$ [o]	γ (gr/cm ³)	Pa %	Da %	Ma %
Ahmediye	Granit	1.40	1.68	2.61	0.53	0.64	2.61	1.98	4.1	0.95
Ahmediye	Mikrogranit	1.34	1.65	2.62	0.51	0.62	2.62	4.28	8.3	1.35
Mahmutbey	Silttaşı Kiltası	1.37	1.68	2.60	0.52	0.64	2.60	1.64	5.2	0.81
Cebeciköy	Kireçtaşı	1.42	1.60	2.74	0.51	0.58	2.64	2.71	6.00	0.71
Hoşdere	Kireçtaşı	1.33	1.61	2.49	0.53	0.62	2.49	6.31	22.0	0.73
Kayabaşı	Killi Kireçtaşı	1.18	1.64	2.40	0.48	0.68	2.36	6.76	87.55	0.80
Altınşehir	Killi Kireçtaşı	1.25	1.58	2.49	0.50	0.63	2.35	23.49	90.1	0.83
İkitelli	Orta-İnce Kum	1.27	1.59	2.65	0.44	0.60	2.52	-	-	-

Tablo 3. İnceleme alanındaki kırma taşların fiziksel özellikleri.
Table 3. Physical properties crushed rocks of the study area.

kaliteli beton üretimi için diğer avantajları oluşturur (Tablo 4). Ancak, petrografik bakımdan mikrogranitler granitlere oranla daha fazla ayrılmış mineraller içermektedir. Örneğin feldspatlar epidota, biyotitler klorite dönüşmüştür. Kuvars oranının da az olması ve kuvarların plajyoklas, alkali feldspat ve biyotitlere nazaran daha küçük kristaller halinde bulunması, mikrogranitlerin serbest basınç dayanım değerlerinin düşük çıkmasına neden olmuştur. Dolayısıyla mikrogranitler ile üretilen betonun mukavemeti düşük olacaktır. Sonuç olarak mikrogranit örnekleri, petrografik özellikleri bakımından yüksek kaliteli beton üretimi için uygun koşullar taşımamaktadır.

Trakya formasyonu

İstanbul'un batı yakasında, Boğaz kıyısından başlayarak Küçükçekmece gölüne kadar geniş bir alanda mostra verir. Başlıca kumtaşı, silttaşı ve kiltasından oluşur. Bu birimlerin arasında mercerler şeklinde kireçtaşı, karbonatlı şeyl ve konglomeralar ile yer yer diyabaz ve andezit daykaları bulunmaktadır. Trakya formasyonu litoloji farklarına göre iki üyeye ayrılmıştır. Bunlar Cebeciköy kireçtaşı üyesi ile Çamurluhan şeyl üyesidir. Yapı gereği olarak Trakya formasyonu ile Cebeciköy kireçtaşı üyesi değerlendirilmektedir.

Trakya formasyonu istifinin üst kesimleri kahverengi-gri, az sert-yumuşak, çatlak araları kil ve FeO dolguludur. Ayrışma derinliğine bağlı (7-10 m) olarak alt kesimleri koyu gri, sert-çok sert, çatlak araları kalsit ve kuvars dolgulu, orta ince katmanlıdır.

Kumtaşı düzeyleri litarenit-sublitarenit türde gelişmiştir. bu kayalar % 70-75 kuvars, % 20 feldspat, % 5 kadar muskovit, serizit ve kaya kırıntuları içermektedir. Silttaşları % 40-50 kadar şekilsiz silt boyutunda kuvars, % 50 kil ve opak mineral taneleri karbonatlı hamur içerisinde yer almaktadır.

İstifin alt kesimlerinden alınan doğal taşlar üzerinde yapılan deneylerde birim ağırlığının (Δ) özgül ağırlık (δ) değerlerine yakın olması boşluk oranının (e) ve porozitenin (p) çok az olduğunu göstermektedir. Kılcallık katsayısının (k) düşük değerinde bulunuşu rutubetlenmeye karşı engel teşkil eder. Doyma derecesinin (D) % 80 den düşük oluşu dona dayanıklılığını göstermektedir. Schmidt sayısı (S) değeri sert kaya sınıfındadır (Tablo 1). Mekanik deney sonuçlarına göre düşük direnç-orta modül oranı kaya sınıfına girmektedir (Tablo 2).

Beton üretiminde kullanılacak kırma taşların fiziksel özellikleri, organik madde ve siltli kil bulunmaması, hacimsel katsayı değerleri (H), birimden elde edilebilecek kırma taşların yüksek kaliteli beton malzemesi olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Cebeciköy kireçtaşı

Trakya formasyonu içindeki Cebeciköy kireçtaşları, gri-siyah, sert, sıkı, masif-kalın katmanlı yaygın sparitik damarlıdır. Cebeciköy'deki mostrası 2-3

Tablo 4. Kırma taşların yüzey karakteri, kırılma yüzeyi ve tane biçimi.

Table 4. Surface characteristics, fracture surfaces and shape of grains of crushed rocks.

Grup No	Numunenin Alındığı Yer	Numunenin Cinsi	Yüzey Karakteri	Kırılma Yüzeyi	Tane Biçimi (H)
1	Ahmediye	Granit	Kristalli	Köşeli Kırıklı	0.26
2	Ahmediye	Mikrogranit	Kristalli	Pürüzlü Kırıklı	0.22
3	Mahmutbey	Silttaşı Kiltası	Düzensiz	Kırıklı	0.16
4	Cebeciköy	Kireçtaşı	Hafif	Kırıklı	0.18
5	Hoşdere	Kireçtaşı	Boşluklu	Kırıklı	0.19
6	Kayabaşı	Killi Kireçtaşı	Çok Boşluk ve Pürüzlü	Ufanır	0.09
7	Altınşehir	Killi Kireçtaşı	Çok Boşluk ve Pürüzlü	Ufanır	0.77

km genişliğinde, 4-5 km uzunluğunda ve uzun ekseni GD-KB doğrultulu, elips şeklindedir, Cebeciköy kireçtaşının bulunduğu alanlarda örtü kalınlığı yaklaşık 15 m dolayındadır. Örtü kalınlığının altındaki birimler doğal yapıtaşı ve kırma taş olarak değerlendirilmektedir. Bu düzeydeki kayaların mikroskopik incelemesinde, esas itibarıyla mikritik hamurun yaygın olduğu, ancak rekristalizasyon sparlarının çok geliştiği saptanmıştır. Az miktarda dolomit kristalleri gözlenmiştir.

Doğal taşlarda özgül ağırlığın (δ) birim ağırlığına (Δ) yakın olması boşluk oranı (e) ve porozitenin (p) düşük olduğunu göstermektedir. Saptanan düşük porozite (p) değeri de taş içerisindeki sparitik dolgularla ilgili olmalıdır. Kılcallık katsayısının (k) düşük oluşu rutubetlenmeye karşı engel teşkil eder. Doyma derecesinin (D) % 80'den düşük oluşu dona dayanıklılığını gösterir. Schmidt sayısı (S) değerleri de sert kaya sınıfını göstermektedir (Tablo 1).

Beton agregası olarak birimin fiziksel özellikleri uygundur. Organik madde deneyinde fosil kapsamadığı, kil-silt ve sağlam olmayan elemanların bulunmadığı saptanmıştır. Hacimsel katsayı değeri (H) beton üretimi için uygundur. Örneklerin kırılma yüzeyi düzensiz olarak tespit edilmiştir (Tablo 4). Cebeciköy kireçtaşı saptanan bu özellikleri ile yüksek kaliteli beton üretimi için elverişli bulunmaktadır.

Kırklareli formasyonu

Birim, Trakyanın kuzey batısında geniş yayılımlar sunar. İstanbul'a en yakın mostraları İkitelli,

Kayabaşı, Altınşehir, Ahmediye ve Tepecik köyü dolaylarıdır. Kırklareli formasyonu resifal kireçtaşı, killi kireçtaşı-marn ardalanması ve kil-marn düzeylerinden oluşmaktadır. Doğal ve kırma taş temininde bu birim içindeki resifal kireçtaşlarından günümüzde yaygın olarak yararlanılmaktadır. Resifal kireçtaşları bej-beyaz, orta sert, karstik, boşluklu, kırılma düzeyi pürüzlü kırıklı, katmanlanması belirsiz, bol foraminifer, mercan ve pelesipod fosillidir. Resifal kireçtaşları yanal ve düşey olarak killi kireçtaşı ve marnlara geçişlidir. Killi kireçtaşı-marn ardalanması beyaz, orta sert-yumuşak, ince-orta katmanlıdır. Kil-marn düzeyleri ise sarı-bej-beyaz, yumuşak, katmanlanması belirsiz, ufalanır, az siltli kumludur.

Resifal kireçtaşları % 80-90 fosil, % 10-20 mikrit tutturucudan oluşmuştur. Killi kireçtaşı düzeyleri % 15-20 kadar fosil, % 30 intraklast ve % 40-45 mikrit tutturucu kapsamaktadır.

Resifal kireçtaşı

Resifal kireçtaşları doğal taş olarak değerlendirildiğinde, birim ağırlık (Δ) ile özgül ağırlıkları (δ) arasındaki fark, numunelerin içerisinde bulunan kavki boşluklarından ileri gelmektedir. Doyma derecesinin (D) % 80'den fazla oluşu resifal kireçtaşlarının dona dayanıklı olmadığını göstermektedir. Bu nedenle resifal kireçtaşları don tehlikesi olan yerlerde kullanılmamalıdır. Kılcallık katsayısının (k) düşük değerinde bulunması rutubetlenme olayını gerçekleştirmediğini göstermektedir (Tablo 1). Schmidt sayısına (S) göre sert kaya sınıfındadır. Jeomekanik değerlendirmeye göre düşük direnç-orta modül oranındadır (Tablo 2).

Beton agregası olma yönünden, dona dayanıklılık dışındaki resifal kireçtaşlarının tüm jeoteknik değerleri uygundur (Tablo 3). Organik madde tayininde çözelti renginin belirli kırmızı renk aldığı gözlenmiştir. Bu özelliğiyle resifal kireçtaşlarından üretilen kırma taşlarda organik maddenin var olduğu ve beton için zararlı olabileceğini göstermektedir. Kırma taşlarda az miktarda kil katkısında bulunmaktadır. Sağlam olmayan elemanlara ise deneylerde rastlanmamıştır. Agregaların yüzey durumunun pürüzlü kırıklı oluşu, çimento hamuru ile kuvvetli bir aderans kuvvetini oluşturabilmektedir (Tablo 5). Hacimsel katsayı (H) değerleri de beton üretimi için uygunluk göstermektedir. Resifal kireçtaşları genellikle killi kireçtaşları, marn, kil ve silt ardalanmalarının bulunduğu kesimlerde kalitesinin bozulması ve dona dayanıklılık değerinin yüksek oluşu ile organik madde kapsamı sorunu mevcuttur.

Killi kireçtaşı-marn

Kırklareli formasyonunun killi kireçtaşı, marn ardalanmasından oluşan kesimleri doğal yapı taşı olarak değerlendirildiğinde özgül ağırlık (δ) ile birim ağırlıkları (Δ) arasındaki fark karstik boşluklardan ileri

gelmektedir (Tablo 1). Porozite (p) değerinin yüksek oluşu kayanın tek eksenli basınç (σ_b) değerinin düşük çıkmasına nedendir. Doyma derecesi (D) % 80'den fazla olduğundan dona karşı tehlikelidir. Kılcallık katsayısı (k) yüksek değerinde olduğundan, binalarda kaplama taşı olarak kullanılırken özellikle temele yakın rutubetli kısımlarda su emerek dağılabilecekleri, parçalanıp dökülebilecekleri göz önüne alınmalıdır. Schmidt sayısına (S) göre çok yumuşak kaya sınıfındadır. Jeomekanik özellikleri resifal kireçtaşlarına göre düşük değerdedir (Tablo 2). Birim bu özellikleriyle, ancak uygun alanlarda doğal malzeme olarak kullanılmalıdır.

Killi kireçtaşı, marn ardalanmasından oluşan kırma taşların organik madde tayininde çözelti renginin çok hafif sarı olması, çok az organik maddenin varlığını göstermektedir. Birimlerin litolojik özelliklerinden kaynaklanan kil ve silt miktarı fazladır. Hacimsel katsayı (H) değeri düşük ve kırma taş taneleri de ufalanmaktadır. Birim bu özellikleriyle zaman don olayından etkilenmesi, ufalanır ve killi olması nedeniyle, beton yapımına elverişli değildir (Tablo 3,4).

SONUÇLAR

- İstanbul'un batısında il özel idaresine bağlı 124 yapı gereci ocağı bulunmaktadır. Bu ocakların 56'sı taş ocağı, 68 tanesi kum-çakıl ocağıdır. Taş ocakları, başlıca Çatalca, Bakırköy, Eyüp ve Silivri ilçelerinde, kum-çakıl ocakları ise Çatalca, Eyüp ve Silivri ilçelerinde yer almaktadır. Bu araştırma kapsamında da 6 taş ocağı çalışmaya konu olmuştur.

- Önceki yıllarda işletilen Baltalıman ve İstinye derelerindeki kireçtaşları, boğazın ön görünüm bölgesinde veya yoğun yerleşme alanlarında kaldığı için artık işletme olanağı kalmamıştır.

- Doğal yapı taşı ve beton agregası olarak, işletilebilirlik, litolojik özellikleri, rezerv, fiziksel ve mekanik özellikleri dikkate alınarak potansiyel taşıyan dört birim saptanmıştır. Bu birimler Çatalca graniti, Trakya formasyonu, Cebeciköy kireçtaşı ve Kırklareli formasyonudur.

- Bu birimler fiziksel ve mekanik özelliklerine göre amaca göre kaba taş, moloz taş, yontma taş ve boyutlu taş olarak değerlendirilebilir.

DEĞİNİLEN BELGELER

Collis, L., Fox, R.A., 1985, Aggregates : sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes; Printed in the United Kingdom by the universities press (Belfast).

Dalgıç, S., 1988, İstanbul batısının yapı malzemesi ocaklarının jeoteknik incelemesi; İ.Ü. Fen Bilimleri, Yüksek Lisans Tezi, 99 s.

De Beer, J.H., 1967, Subjective classification of the hardness of rock and the associated shear strength; proc. 4. th. Reg. Cong. Afi. Soil Mech. Found. Eng. 396-398 Capetawn.

- Deere, D.U., Miller R., P., 1966, Classification and index properties of intact rock tech. report AFWL-TR 65-116, AF special weapons center, Kirtland Air Force Base, New Mexico.
- Erdoğan, M., 1993, İstanbul ve dolayının yapay agrega potansiyeli; Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, No : 14.
- Erguvanlı, K., Ahunbay, Z., 1989, Mimar Sinan'ın İstanbul'daki kullandığı taşların mühendislik jeolojisi ve mimari özellikleri, Mühendislik jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, Sayı 11, sayfa 109-114.
- Ketin, İ., Güner, G., 1989, İstanbul bölgesinde Karbonifer yaşlı Trakya formasyonu'nun yapısal özelliği, Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, sayı 11, sayfa 13-17.
- TSE, 1974, Doğal yapı taşlarının muayene ve deney metodları; TS 699, UDK 691.2, Ankara.
- TSE, 1975, Kayaçların tek eksenli basma dayanımlarının tayini, TS 2028, UDK 622.02, Ankara.
- TSE, 1980, Beton agregaları, TS 706, Ankara.
- TSE, 1980, Beton agregalarından numune alma ve deney numunesi hazırlama yöntemi, TS 707, Ankara.

MERMERLERDE YÜZEY PARLAKLIĞININ GÖRÜNTÜ ANALİZ YÖNTEMİ İLE ÖLÇÜLMESİ

Measurements of surface gloss on marbles by image analysis method

Alper OZULOĞLU . İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, 80626, İstanbul
Mustafa ERDOĞAN İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, 80626, İstanbul

ÖZ : Mermer ürünlerinden biri olan plakalar, çoğu kez parlatıldıktan sonra pazara sunulmaktadır. Plaka yüzeyine uygulanan parlatma işleminin başarısı, iç ve dış pazar taleplerini de o oranda arttırmaktadır. Parlatma işlemi, farklı bileşim ve sertlikteki aşındırıcılar ile kimyasal eriticilerin amaca uygun bir şekilde sıralı ve ortak kullanımı sonucu sağlanmaktadır. Geçmiş yıllarda, cilalama teknolojisi geliştirilirken, o dönemde kullanımı yaygın olan karbonatlı taşların özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Karbonatlı taşlara göre daha sert ve çok mineral bileşimli mağmatik taşların kullanıma sunulmasının arkasından, parlatma teknikleride bu yönde geliştirilmiştir. Karbonatlı ve silikatlı olmak üzere iki ayrı taş kümesi için piyasa sunulan cila maddeleri, genellikle patentli olup karmaşık bileşimli taşların yüzey işlemlerinde başarılı sonuç vermemektedir. Mermer plakalarında optimal parlaklığa ulaşabilmek için, taş özelliklerine uygun polisaj (cila) maddelerinin ve cilalama işlemlerinin uygulanması gerekir. Yüzey parlaklığının ölçümü konusundaki araştırmalar daha çok, boyalı yüzeyler ile seramik karolar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mermerlerin yüzey parlaklıkları ise "mat", "parlak" ve "çok parlak" gibi nitel tanımlarla açıklanmaya çalışılmıştır. Bu bildiride, tarafımızdan gerçekleştirilen ve mermer plakalarda yüzey parlaklığının belirlenmesinde çok başarılı sonuçlar veren, "görüntü analiz yöntemiyle parlaklık ölçüm düzeneği" tanıtılmıştır. Ayrıca, bu dzenekle Türkiye mermerleri üzerinde gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına yer verilmiş ve parlaklığı etkileyen taş özelliklerine kısaca değinilmiştir.

ABSTRACT : Plates which are one of the marble products are offered to the market usually after being polished. The quality of the polishing of the surfaces effected directly demands of the domestic and international markets. The polishing procedure includes using orderly and a mixed order of different hardnesses of abrasive material and chemical dissolution. In the past, the polishing technology was developed for the characteristics features of carbonate rocks since they had been widely used. The polishing technology has been developed a different way since the introduction of magmatic rocks in use, which are harder than carbonate rocks and richer in mineral content than carbonate rocks. The products for polishing are for two different rock types, Carbonates and silicates, which have been usually licensed and they do not give a good result for mixed composition rocks. To obtain best result for the gloss on marble plates, suitable polishing products and application methods should be chosen. The research on the measurements of the surface gloss have been focused on painted surfaces and ceramic plates. On the other hand, the gloss of the marbles have been described as "mat", "glossy" and "very glossy". In this talk, we introduce measurements of surface gloss on marbles by image analysis method which has been applied by us which has given very successful results for the definition of the surface gloss of the marble plates. Additionally, we presented the results obtained from Turkish marbles and the features which effect the gloss of the rock.

YÜZEY PARLAKLIĞININ TANIMI

Bir yüzeyin ışığı yansıtma kapasitesi olarak tanımlanan parlaklık, o yüzeye belirli bir açıda gelen ışık demetinin yansıma oranına göre farklılıklar göstermektedir. Gelen ışığın yansıma oranı ışıktan etkilenen düzlemin yüzey özelliklerine bağlıdır. Işık düzen yüzeyin pürüzlülük derecesine göre gelen ışığın bir kısmı yüzey tarafından yansıtılırken, diğer bir kısmı yutulmakta ya da yüzey içinde kırılarak arka tarafa geçmektedir. Yüzeyin yansıtma kapasitesi (parlaklık),

yüzeyden yansıyan ışığın yüzeye gelen ışığa oranı şeklinde değerlendirilmekte ve ışığın düştüğü düzlemdeki yüzey özürleri azaldıkça parlaklık artmaktadır. Tam yansıma ya da ayna yansıması denilen durumda ışık demeti, yüzeye çarptıktan sonra geldiği açıda yön değiştirdiğinden o yüzey maksimal parlaklıkta görülmektedir. Bunun tersine mikropürüzler içeren bir yüzeye gelen ışık pürüzlere çarparak farklı yönlerde değişik açılarda yansıdığından pürüzlü yüzey donuk (mat) görünmektedir.

PARLAKLIK ÖLÇÜMÜNÜN AMACI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Yüze parlaklığının ölçülerek sayısal hale getirilmesinin temel amacı; mermerlerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik farklılıklarını gözönünde bulundurarak yeni cila maddelerinin ve cilalama işlemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamak, yüze parlaklığına etki eden etmenlerin belirlenmesine yardımcı olmaktır. Böylece, cilalama işleminde güçlük çekilen, başarısız olunan ya da dış mekan kaplamalarında kısa sürede matlaşan sorunlu taşların ayrıntılı olarak araştırılması ve bunlara ilişkin önerilerin geliştirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca bu ölçümler sonucu her tür taşın optimal parlaklık değeri sayısal olarak belirleneceğinden otomatik cilalama hatlarında parlaklığın kalite kontrolü, benzeri bir optik okuyucu yardımıyla denetlenilebilecek ve plakalar robotik sistemlerle sınıflandırılabilir. Parlaklık üzerine yapılan çalışmalar 1936 yılına dek uzanmaktadır. Özellikle fizik ve kimya ile uğraşan araştırmacılar, çeşitli metaller, kağıt, plastik, boyalı ve kaplanmış yüzeyler üzerinde deneyler yapmışlardır. 1936-1964 yılları arasında Hunter, Judd, Wetlaufer, Scott, Hammond, Nimeroff, Horning ve Mors gibi araştırmacılar bu konuda çalışmalar yapmışlardır. Bu araştırmalarda, parlaklığın sayısal hale getirilmesi için düzenekler geliştirmişlerdir (ASTM E 97). Yüze parlaklığının 45° ve 60° lik açılarda gelen ışık altında ölçülmesinin doğru olacağı vurgulanmıştır.

Bu çalışmalar 1978'de ASTM (American society for testing and materials) tarafından derlenerek gonyofotometri ile yüksek derecede parlak yüzeylerin parlaklığının ölçülmesi (ASTM E 430) adıyla bir deney metodu olarak yayınlanmıştır. Bu standart özellikle otomotiv sanayiinde ve mimari amaçla kullanılan metallerin parlaklığının ölçümünü amaçlamıştır.

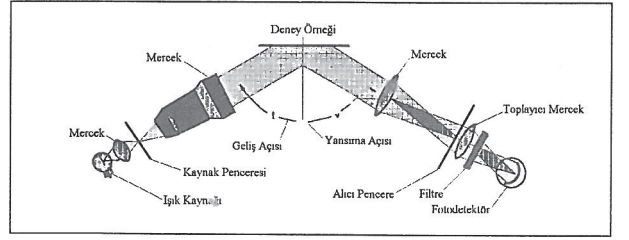
Malzeme parlaklığı ile ilgili çalışmaların bir standart altında toplanmasından sonra, parlaklığın değişik malzemelerde ölçümleriyle ilgili yeni standartlar 1978-1982 yılları arasında yayınlamaya başlamıştır.

Bu standartlarda parlaklık ölçümleri porselen, kağıt, fiber paneller, boyanmış yüzeyler ve vernikli yüzeyler üzerine yapılmış, ölçümlerden kalite kontrol amacıyla yararlanılmaya başlanmıştır. "Parlaklığın ölçülmesi ile ilgili basılan son standart Göreceli Parlaklığın Ölçülmesi için Test Metodu (ASTM D 523)" adıyla 1989 yılında yayınlanmıştır. Bu standartta parlaklık ölçümleri ile ilgili özet bilgiler verildikten sonra, ölçümlerde kırılma indisi 1.567 olan düz camların kalibrasyon malzemesi olarak kullanılmasının gerektiği vurgulanmıştır.

Yukarıda tanımlanmış referans camın özelliklerini uzun süre koruyaması nedeniyle aynı standartta, (ASTM) kırılma indisi belli olan herhangi bir camın düzeltme faktörü olarak kullanılabilirliği belirtilmektedir. ASTM ye göre, referans camın kırılma indisi ile parlaklık değeri doğru orantılıdır. Bu oran, ölçümün geometrisine göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin 20° lik geliş açısıyla gerçekleştirilen bir ölçümde; refe-

rans cama göre kullanılan camın kırılma indisindeki 0.001 lik bir artış, parlaklık değerinde 0.27 lik bir artışa karşılık gelmektedir. Şayet ışık geliş açısı 60° ise, 0.16 lik parlaklık artışı oluşmaktadır. ASTM D 523 farklı şekilde ölçüm yapılabileceğini açıklamıştır. Birinci sistemde ışık yüze parlaklığı ölçülecek obje üzerine doğrudan, diğer sistemde ise gelen ışığın araya yerleştirilen bir başka cisimden dolayı olarak yansıtılarak gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir. Bu standarta bağlı kalarak çeşitli parlaklık ölçerler (glossmetre) imal edilmiştir (Şekil 1). Genellikle ticari amaçlı imal edilen parlaklık ölçerlerden biride Japon Horiba firmasının ASTM ve konuyla ilgili Japon standartlarına bağlı kalarak ürettiği Gloss-Checker adlı parlaklık ölçeridir.

Yukarıda, zaman içinde gelişimi verilen parlaklık ölçerler, sadece aydınlatılan yüzeyin ortalama parlaklık değerini vermektedir.

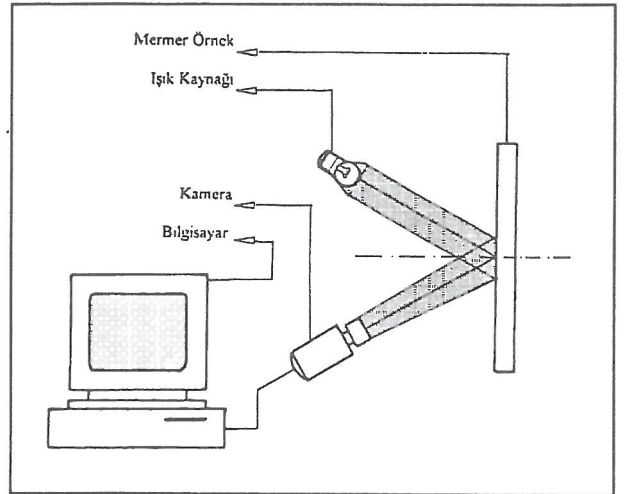


Şekil 1. Paralel glossmetre.

Figure 1. Parallel glossmetre.

TARAFIMIZDAN GELİŞTİRİLEN PARLAKLIK ÖLÇME DÜZENEGİ VE ÖLÇÜM İLKELERİ

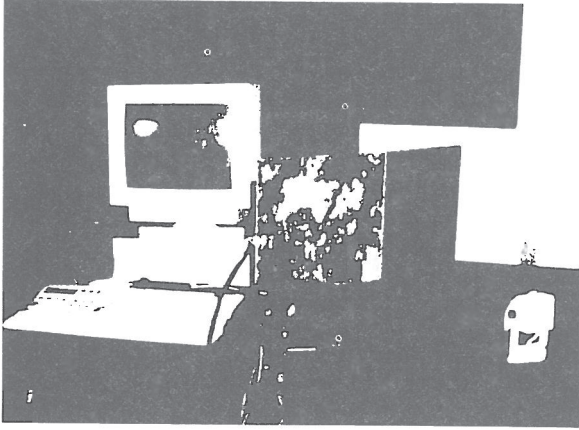
Tarafımızdan geliştirilen parlaklık ölçüm sisteminin, ASTM D 523 te olduğu gibi yüzeye 60° lik bir açı ile sabitlenmiş ışık kaynağı ile bu ışık kaynağına tam yansıma açısından (60°) konuşturulmuş ölçüm düzeneğinden oluşmaktadır. (Şekil 2). ASTM D 523 ten



Şekil 2. Tarafımızdan geliştirilen parlaklık ölçüm düzeneği.

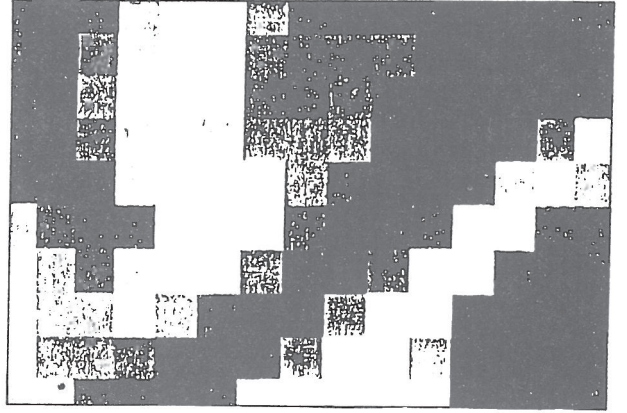
Figure 2. Developed glossness measurement system.

farklı olarak, ışık kaynağında 100 wattlık tungsten lamba; ölçüm ünitesinde ise yüksek çözünürlükte bir video kamera ile buna bağlı bilgisayar bulunmaktadır. Şekil:3 te görüldüğü gibi ışık kaynağından çıkan ışık demeti 60°lik bir açı ile mermer yüzeyine çarpmakta ve buradan yansıyan ışık video kamerya uyaştıktan sonra görüntü bilgisayara kaydedilmektedir. Bu bilgisayar yüksek işlem hızına ve geniş bir belleğe sahiptir. Ayrıca bu sistem, bilgisayara yerleştirilen bir görüntü işleme kartı yardımıyla (V Blaster), gelen görüntüyü ekrana yansıtmakta, saklamakta, büyütme, arşivi oluşturmakta ve renk kontrolü yapabilmektedir.



Şekil 3. Parlaklık ölçme düzeneğinin genel görünüşü.
Figure 3. A general view of glossness measurement system.

Parlaklık ölçüm aşamasında aydınlatılan alan görüntüsü grid şeklinde piksellere ayırarak her piksel için ayrı bir parlaklık değeri okunabilmektedir. Bir görüntünün bilgisayara işlenebilmesi için onun belli sayıda konum ve parlaklık değeri ile ifade edilebilmesi gerekmektedir. Bu işleme sayısallaştırma adı verilmektedir. Böylece bilgisayar açısından bir görüntü iki boyutlu bir vektör dizisi oluşturmaktadır. Her bir görüntüde oluşan bilgi matrisinin elemanları, karşı geldiği alanın yansıma değerinden oluşabilmektedir. Görüntü analizlerinin sayısallaştırılmasında her bir boyut (8 bit) $2^8=256$ parlaklık düzeyini göstermektedir. Genellikle sıfır (0) en karanlık, 255 ise en parlak seviyeyi göstermektedir. Düşük parlaklık düzeyindeki noktalar grinin tonları ile açıklanmaktadır (Şekil:4,5). Çalışma ilkesi yukarıda açıklanan bu düzenek yardımıyla parlatılmış mermer yüzeylerinden ışık altında alınan görüntüler tarafımızdan hazırlanan iki ayrı programla siyah-beyaz görüntüye dönüştürülmekte ve gerektiğinde piksellerin aritmetik ortalaması alındıktan sonra ışık düşürülen yüzeyin ortalama parlaklık değeri bulunabilmektedir. Ayrıca piksel sıklığındaki parlaklık ölçümlerinden yararlanarak, aydınlatılan yüzeyin eş parlaklık düzeyinde kontrolması yapılabilmektedir. Böylece bu sistem aracılığı ile parlatılan bir mermer plakasının ortalama parlaklık değeri ölçülebildiği gibi, aynı plakanın parlak ve mat



Şekil 4. Bilgisayarda Piksellere ayrılmış bir görüntü.
Figure 4. A view divided into pixels.

54	40	31	27	27	28	39	51	52	50	45	25	24	24	23
55	37	37	35	31	27	26	35	58	66	38	13	17	21	19
56	40	39	45	39	32	27	26	36	52	50	28	14	13	14
52	39	33	42	49	48	36	31	26	33	51	51	31	16	16
42	34	24	30	60	67	49	33	27	28	31	47	51	35	24
26	29	26	44	76	76	49	37	33	30	29	29	44	52	44
14	31	36	50	85	70	36	37	38	30	25	29	28	40	52
20	31	39	51	72	56	35	35	37	35	31	27	29	31	36
21	26	36	46	58	49	37	35	36	37	34	33	26	29	30
21	20	29	43	54	53	40	31	30	32	30	29	24	22	27

Şekil 5. Piksellere karşılık gelen sayısal parlaklık değerleri.
Figure 5. Quantitative glossness value corresponding to pixels.

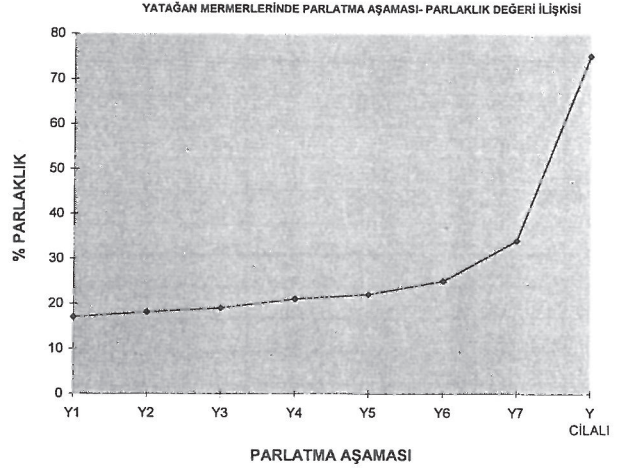
kalan kesimlerinde ortaya konulabilmektedir. Ölçülen parlaklık değerlerinin karşılaştırılabilmesi için bir referans sayısına göre düzeltilmesi zorunludur. ASTM D 523 te, 60° lik bir yansıma açısında kırılma indisi 1.567 olan camın parlaklık değeri 100 e eşit kabul edilmektedir. Sözü edilen referans camın gerçekte ölçülen parlaklık değeri 92.16 ya karşılık gelmektedir. Tarafımızdan yapılan ölçümlerde, kırılma indisi 1.567 olan cam referans alınmış ve saptanan parlaklık değerleri düzeltilerek sonuçlar yüzde parlaklık şeklinde ifade edilmiştir.

TÜRKİYE MERMERLERİ ÜZERİNDE YAPILAN PARLAKLIK ÖLÇÜMLERİ

Geliştirilen parlaklık ölçüm setini denemek amacıyla Yatağan ve Süpren yöresi mermerlerine ait plakalar üzerinde ölçümler yapılmıştır. Yüzeyle uygulanan işlem farklılığının (katraktan çıkan plaka ve farklı boyuttaki aşkındımcılardan geçen plaka) parlaklık

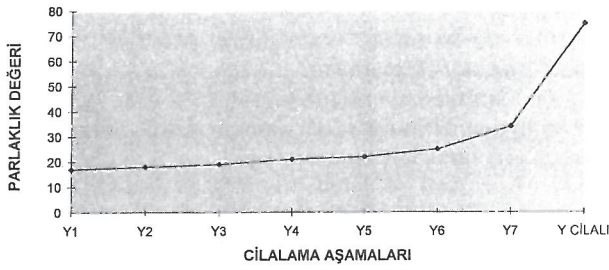
CİLALAMA AŞAMASI	KULLANILAN ABRESİF NUMARASI
Y 1-S 1	180
Y 2-S 2	180,200
Y 3-S 3	180,200,220
Y 4-S 4	180,200,220,280
Y 5-S 5	180,200,220,280,360
Y 6-S 6	180,200,220,280,360,400
Y 7-S 7	180,200,220,280,360,400,600
CİLALAMA AŞAMASI	CİLA TAŞI

Çizelge 1



Şekil 7. Süphen mermerinde farklı yüzey işlemlerinden (aşındırma) sonra ölçülen parlaklık değeri değişimi.
Figure 7. Change of glossness value of Süphen marble after different polishing procedure (abrasion).

YATAĞAN MERMERLERİNDE CİLALAMA AŞAMASI-PARLAKLIK DEĞERİ İLİŞKİSİ



Şekil 6. Yatağan mermerinde farklı yüzey işlemlerinden (aşındırma) sonra ölçülen parlaklık değeri değişimi.
Figure 6. Change of glossness value of Yatağan marble after different polishing procedure (abrasion).

üzerindeki etkisini belirlemek için aşamalı ölçümler gerçekleştirilmiştir (Çizelge:1). Şekil 6 ve Şekil 7 de görüldüğü gibi, ölçülen parlaklık değerleri, yüzey düzeltmede kullanılan aşındırıcıların tane boyutu küçüldüğüce artmakta ve cilalama işleminden sonra maksimal düzeye çıkmaktadır. Sistemin kalibrasyonu tamamlandıktan sonra eşit koşullarda cilalanmış farklı mermerler üzerinde parlaklık ölçümleri yapılmıştır. Çizelge: 2,3,4 ve 5 te ülkemizin farklı bölgelerine ait değişik litolojili ticari mermerleri üzerinde yapılan ortalama parlaklık ölçüm sonuçları görülmektedir. Bu çizelgelerden de izlendiği gibi, metamorfizma geçirmiş kayalar içinde en yüksek parlaklık değerleri Kırşehir beyazında (%75), Ykatağan beyazında (%75) ve Süpren Bordo grizu mermerinde (%76) ölçülmüştür. Kireçtaşlarında ise Bilecik beji (%73) ve Ege kahve (%71) parlaklık değerleri vermişlerdir. Yüzeylerindeki gözenekler nedeniyle travertenlerde parlaklık değeri

ÖRNEK ADI	PARLAKLIK DEĞERİ (%)
Vize Pembe	64
Vize Platin	54
Şükürpaşa Beyaz	67
Sazara Sedef	67
Kurudere İnci	47
Kırşehir Beyaz	75
Manyas Beyaz	68
Milas Leylak	55
Edirne Yeşil	53
Seben Beyaz	41
Yatağan Beyaz	75
Süpren Bordo	76
Süpren Salome	70
Uşak Beyaz	45

Çizelge 2

düşük bulunmuştur. Benzer yolla farklı litolojideki magmatik taşlarda gerçekleştirilen ölçümlerde en yüksek parlaklık değeri Dursunbey yöresinden sağlanan gabroda (%71) sapkandırılmıştır.

Yüzey parlaklık verilerinden yararlanılarak bazı mermer plakalarındaki parlaklığı olumsuz etkileyen heterojeniteyi belirlemek için piksel düzeyindeki küçük alansal parlaklık değerleri bilgisayar yardımıyla kontrol edilmiştir.

Kozaklı traverteninde ışık altında çekilen fotoğraf ile aynı yüzeyin kontrol edilmiş eş parlaklık haritasının görüntüsü karşılaştırıldığında, doğal olarak, makro ve mikro porların buldukları kesimlerin parla-

ÖRNEK ADI	PARLAKLIK DEĞERİ (%)
Haymana Beji	69
Bilecik Bej-Pembe	56
Söğüt Beji	42
Bilecik Gül Kuruşu	65
Bilecik Gülümbe	63
Bilecik Rosa	69
Bilecik Rosa	73
Ege Kahve	71
Ege Bordo	51
Karacabey Siyahı	63
Kayseri Siyahı	58
Adapazarı Siyahı	56
Harput Beji	55
Elazığ Vişne	62

Çizelge 3

ÖRNEK ADI	PARLAKLIK DEĞERİ (%)
Kozaklı Traverteni	66
Eskipazar Traverteni	36
Denizli Traverteni	37
Paşa Onix (Balıkesir)	58
Bal Onix (Balıkesir)	63
Gül Onix (Balıkesir)	56

Çizelge 4

ÖRNEK ADI	PARLAKLIK DEĞERİ (%)
Çankırı Serpantini	59
Kaman Graniti	55
Topçam Siyeniti	60
Dursunbey Gabro	71
Eşrefli Siyeniti	58
Harşit Granadioriti	56

Çizelge 5

madıkları ve mat (karanlık) kalkdıkları izlenmektedir. Bazen şekilde Süpren mermerinde yapılan uygulamada fotoğraf ve parlaklık kontur haritası birlikte incelendiğinde koyu (mat) noktaların demirli çatlak dolgusuna ya da dolomit kristallerine karşılık geldiği anlaşılmaktadır. Kırşehir beyaz mermerinden alınan iki görüntünün karşılaştırılmasında, eş parlaklık haritasında

gözlenen mat (koyu) bölgelerin kristal optik eksenine ile kesme düzlemi arasındaki açısal farktan kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Diğer yandan Eşrefli Kaman granitlerinin aydınlatılmış yüzeylerinden yapılan uygulamalarda izlenen koyu noktalar kayaç bünyesindeki biyotitleri göstermektedir. Bu granitlere ait konturlanmış eş parlaklık haritalarında ise mat (parlamayan) görülen noktaların tamamı mika minerallerinin saçılım alanlarına karşılık gelmektedir. Söz konusu minerallerin yapraklı yapıları nedeniyle yüzey düzeltme işlemleri sırasında kolayca ayrılıp çukurlar oluşturduklarından, ışığı dağınık yansıtmakta ve yüzey yansıma katsayısının bu alanlarda düşmesine neden olmaktadır. Eş kontur haritaları bu durumu açıkça göstermektedir.

SONUÇLAR

* ASTM D 523 ilkeleri esas alınarak tarafımızdan geliştirilen ölçüm sistemi görüntü analizi esasına göre çalışmaktadır.

* Bu düzeydeki ölçüm sistemi ve gerçekleştirilen araştırma dünyada ilk kez mermerler üzerinde denmiştir.

* Ölçüm sistemi başarılıdır ve doğru ölçümler yapmaktadır.

* Araştırmada, taş renginin parlaklık üzerinde etkili olmadığı saptanmıştır.

* Birincil süreksizliklerin (kristal sınırı, gözenek) ve kimyasal bileşimi farklı ikincil çatlak dolgularının parlaklığı olumsuz yönde etkiledikleri belirlenmiştir.

* Kristal yönelimi ile plaka kesme düzlemi arasındaki açı, farklı yansıma neden olmaktadır.

* Mermerlerin kimyasal ve mineralojik bileşimlerini gözönünde bulundurarak taş cinslerine özgü yeni cila maddelerinin geliştirilmesi bu ölçüm düzeneği yardımıyla olanaklı hale gelmiştir. Böylece yeni parlatıcıların üretilmesiyle, parlatılmada sorun çıkaran mermerlerin polisajı olanaklı hale gelebilecektir.

* Bu ölçüm düzeneğinden yararlanılarak otomatik mermer karo hatlarında, bilgisayara o mermerin optimal parlaklık değeri yüklenerek, parlaklığa göre plaka seleksiyonu yapmak otomatik hale getirilebilecektir.

DEĞİNİLEN BELGELER

ASTM (1983), Method for Measurement of Gloss of High Gloss Surfaces by Goniophotometry (E430)

ASTM (1987), Directional Reflectance Factor, 45 deg, 60 deg., of opaque Specimens by Broad Band Filter Reflectometry (ASTME 97)

ASTM (1989), Standart Test Method for Specular Gloss (D 523)

Beauchamp W, (1940) How do we use Reflected Light, Everyday Problems in science pp 618-621

Horiba, (1993) Gloss checker, Product Outline
Pucci, R. (1990) Stone Finishing Tecniques, Marble in
the World pp 182-187
Racomant, T. (1982) Granite and its Polishing, Industrie
Minerale, pp 241- 247
Thilbaut, S.A., (1982) Stone Polishing Technics,

Industrie Minerale, pp 233-239
Ozulođul, A., (1994) Süphen Mermerlerinin
Mühendislik Jeolojisi ve Yüzey Parlaklığının
Saptanmasında Yeni Bir Yaklaşım Y. Lisans Tezi,
İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul

KIZLAÇ TÜNELLERİNİN GİRİŞ-ÇIKIŞ KESİMİ ŞEVLERİNDEKİ VE TAVANLARINDAKİ SÜREKSİZLİK DENETİMLİ DURAYSIZLIKLARIN KİNEMATİK İNCELEMESİ

Kinematical assesment of discontinuity controlled instabilities at the portals and roofs the Kızlaç tunnels

Tamer Yiğit DUMAN
İlyas YILMAZER

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara.
Spektra Jeotek A.Ş., Ankara.

ÖZ : Eklemlili kaya kütleleri içinde açılan şevlerin ve yer altı kazılarının duraylılığı süreksizliklerin denetimi altındadır. Kaya şevlerinde yaygın olarak gözlenen düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklar, tünellerde ise tavan ve yan duvarlarında oluşan kaya bloklarının kazı boşluğuna doğru olan kayma riski, süreksizlik sistemleri üzerinde ayrıntılı şekilde çalışılarak sağlanacak verilerin ve süreksizliklerin içsel sürtünme parametrelerinin esas alındığı kinematik analizlerle araştırılmaktadır. Bu analizlerin sonuçları tasarım aşamasında yapılacak daha ayrıntılı limit denge analizleri ve nümerik analizler için ön bilgiler sağlamaktadır.

Bu çalışmada Devoniyen yaşlı metakırıntılı bir istif içerisinde açılan Kızlaç Tünellerinin giriş ve çıkış ağzlarındaki şevlerin duraylılığı ve tünel tavanlarında ortaya çıkması olası kama tipi kaya bloklarının yaratacağı risk kinematik analizlerle incelenmiştir. Çalışılan kaya istifi içerisinde yaygın olarak gözlenen litolojik birimler; hematit, şist, klorit şist, serizit şist, kayraktaşı ve fillit olup bu birimler genelde yüksek dayanımlı kaya grubunda yer alırlar. Devoniyen yaşlı birimleri uyumsuzlukla örten Kuvaterner çökelleri, yamaç molozu, alüvyon ve kolüvyon şeklinde ayrılanarak haritalanmıştır. İçerisinde güncel kayma alanları geliştiği için kolüvyonal malzeme ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışma bölgesi tek yönlü (monoklinal) bir yapıya sahiptir. Buna bağlı olarak yapısal unsurlar genelde kuzey-batıya eğimlidir. İnceleme alanı yoğun kıvrımlanma geçirmiş bir bölgedir.

Yaklaşık 2.5 km uzunluğundaki Kızlaç tünelleri boyunca 350 adet eklem, tabakalanma ve şistozite ölçümleri alınarak, bunlar arazide mühendislik veri tutanaklarında tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında süreksizliklerin özellikleri (türü, eğim ve yönü, aralık, açıklık, pürüzlülük, dayanıklılık, eklem takım sayısı, su durumu), dolgu ve kayaç tanımlaması (dolgu tipi, dayanım, ayrışma, çözünme) standartlarına göre yapılmıştır. Süreksizlik içsel sürtünme açısı parametreleri, deney olanağı olmaması nedeniyle süreksizliklerin yüzey özelliklerine göre hazırlanmış çizelgeler yardımı ile tahmin edilmiştir.

Kinematik analizlerin sonuçlarına göre açılan tünellerin giriş-çıkış bölgesindeki şevlerde, sınır koşullarında da olsa, küçük ölçekli düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların, ayrıca tünellerin tavanlarında blok düşmesi riskinin olası olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte tabakalanma yüzeylerinin başkalaşım esnasında kaynaşması, şistozitenin tabakalanma ile kesilmesi ve eklemlerin kapalı ve/veya mineral dolgu olması süreksizlik sistemlerinin duraylılık üzerindeki olumsuz etkisini azalttığı çalışma alanında gözlenmiştir. Gelişebilecek duraysızlıkların büyük boyutlarda olmaması nedeniyle kazı sırasında bulonlama ve püskürtme betonu kullanılarak duraysızlıkların minimum düzeyde tutulabileceği düşünülmüştür.

ABSTRACT : *Stability of slopes and underground excavations in jointed rock masses is under the control of discontinuities. Modes of instabilities, such as plane wedge and toppling failures commonly occurred in rock slopes, risk of block movements from and walls of tunnels toward the opening are assessed by methods of kinematical analyses based on data obtained from detailed discontinuity surveys and internal friction angle of discontinuities. The results of the analyses provide preliminary information which can be evaluated for more detailed limit equilibrium analyses and numerical analyses.*

In this study, stability of slopes at both portals of the Kızlaç tunnels which are constructed in Devonian aged metadetrictic rock sequence and the risk due to probable rock blocks at the roof to the tunnels are assessed by means of kinematical techniques. Major litological units commonly observed in the investigated rock sequence are hematite-schist, chlorite-schist, sericite-schist, slate and phyllite, which represents high-strength rocks. Quaternary deposits unconformably overlying the Devonian aged rocks are mapped in three parts, as slope debris, alluvium and colluvium. Studied area has a monoclinal structure. Therefore, structural elements generally dip towards northeast and it is highly folded region.

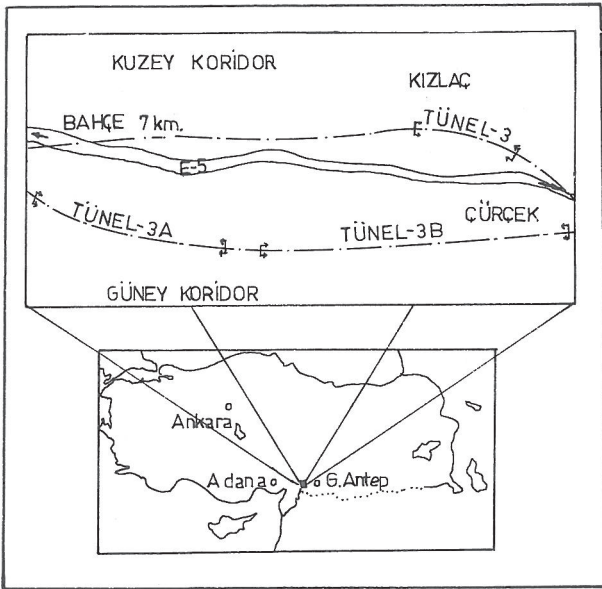
Along the Kızlaç tunnels, approximately 2.5 km long, orientation of 350 joint, bedding and schistosity planes was measured and recorded on field data sheets.

During the sites investigation, characteristics of discontinuities (type, orientation, spacing, roughness, wall strength and water condition), properties of rock types (infill material, strength, weatering, solution) are described based on the international standarts. The internal friction angle of discontinuity surfaces could not be experimentally determined, and therefore, this parameter is estimated from tables based on surfaces feature of discontinuity planes.

The results of kinematical analyses revealed that small scaled plane, wedge and toppling failures at limit equilibrium condition, and block movements from the roof of the tannels are possible. However, closure of the bedding planes during metamorphism, intersection of the schistosity by bedding planes and closed and/or filled joints decrease the negative influence of discontinuities on stability. Because probable instabilities are in small scale, the movements can be tolerated by bolting and shotcreting applications.

GİRİŞ

Kızlaç tünelleri; TARSUS-ADANA-GAZİANTEP (TAG) otoyolu Nur Dağı kesimi, Kızlaç geçidinde Tünel 3A (950 m) ve Tünel 3B (1400 m) olarak yer alır (Şekil 1). Kızlaç geçidi TAG otoyolunun en tartışmalı yerlerinden biridir. Bu geçit, projenin ilk aşamasında E5 devlet karayolunun kuzey tarafından geçecek biçimde, toplam 3 adet viyadük ile beraber Tünel 3'ün yapılması şeklinde projelendirilmiştir. Güney koridorda büyük ölçekli (kalınlığı 60 m'lere ulaşan) kaymaların olduğunun düşünülmesi, kuzey koridorun seçilmesine neden olmuştur. Durumun düşünülmesi gibi olmadığı, güneydeki büyük kayma alanları içerisinde yer alan yüzer blok görünümündeki kaya bloklarının, gerçekte yerli kaya yüzlekleri olduğu ve Çürçek mevkiisindeki küçük ölçekli (kalınlığı 15 m'yi geçmeyen) bir kayma alanından, bir defada gelen fazla malzeme ile örtülü olduğu daha sonraki ayrıntılı süreksizlik çalışmalarıyla ortaya çıkarılmış ve bu sonuçla kuzey koridor terk edilip güney koridor tercih edilmiştir (Duman, 1993, Yılmaz ve diğ., 1992b).



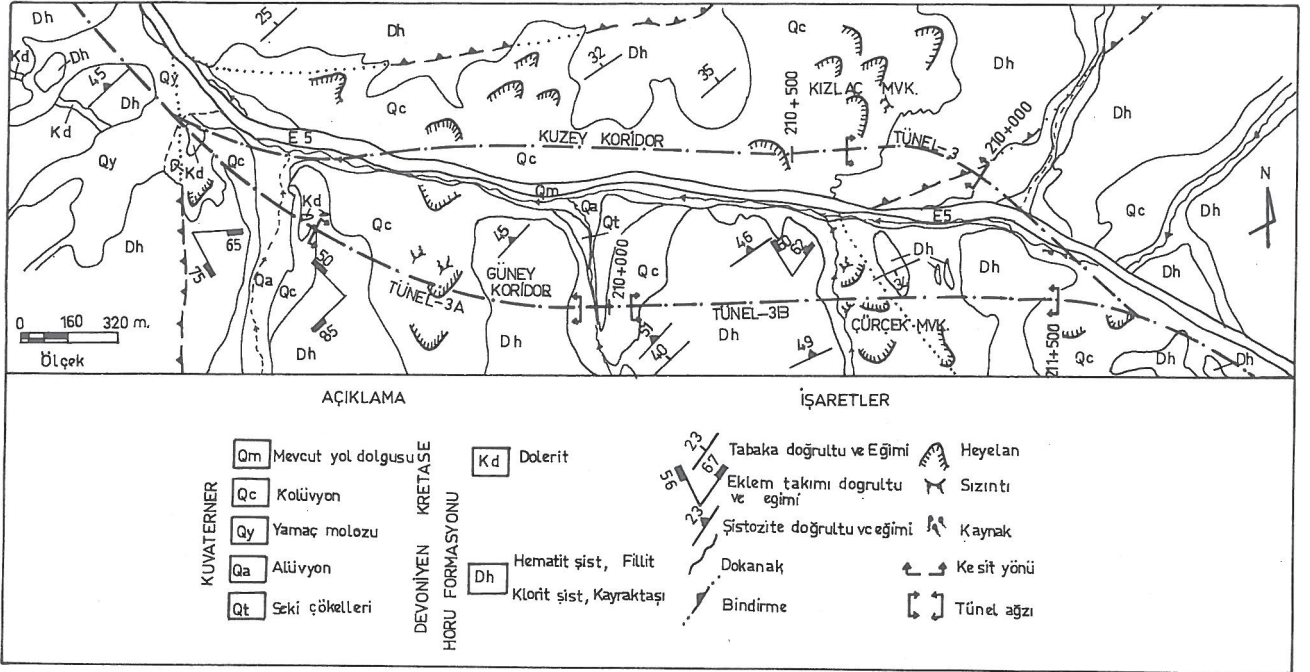
Şekil 1. Çalışma alanı ve tünel seçenek yerleri

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

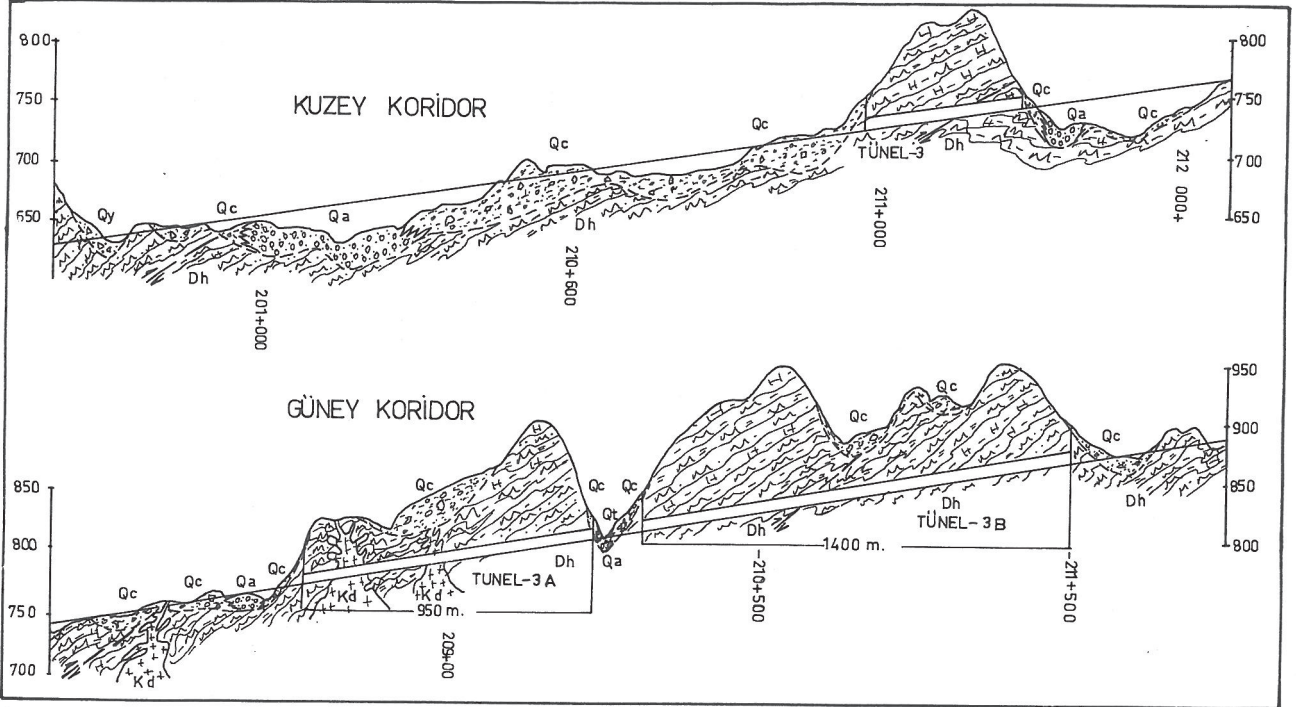
Kızlaç tünelleri Devoniyen yaşlı metakirintili bir birim içerisinde yer alır. Horu formasyonu (Dh) olarak adlandırılan birim, ardışık katmanlı filiz karakterindeki çökellerin düşük derecede başkalaşması sonucu oluşmuş metakirintili bir istiftir. İstif içerisinde yaygın olarak gözlenen kaya birimleri; hematit şist, serizit şist, klorit şist, fillit ve kayraktaşıdır. Bunların yanı sıra metakonglomera, metakumtaşı ve metakuvarsitler arazide izlenebilmektedir. Ayrıca bu istifleri kesen Kretase (?) yaşlı dolerit sokulumları mevcuttur. Kuvaterner birimleri kolüvyon, yamaç molozu, alüvyon ve seki çökelleri şeklindedir. Çalışma alanındaki bu birimler ayrıntı olarak haritalanmış ve tünel boylarınca kesitleri hazırlanmıştır (Şekil 2, 3).

Dolerit sokulumlarının ve fayların fillitleri kestiği kuşaklar hariç diğer kaya birimlerinin iyi, fillitlerin ise yer yer zayıf -çok zayıf dayanımlı kaya grubunda yer aldıkları saptanmıştır.

Nur Dağında yapısal unsurlar ofiyolit bindirmesine bağlı olarak tek yönlü (monoklinal) yapı sunarlar. Genelde hepsi kuzeybatıya eğilimlidir. Buna bağlı olarak yeraltı suyunun beslenme alanı (Nur Dağı batı yamaçları için) yağış alanından daha büyüktür. Oldukça sıkı kıvrımlanma geçirmiş bir bölgedir. Sürüklenme kıvrımları ve bakışsız kıvrımlar (devrik ve yatık kıvrımlar) arazide kolayca görülebilen kıvrımlardır. Bindirme, ters ve tabakalanma ters fayları oldukça yaygındır. Şistozite ve tabakalanma, dağ oluşturan kuvvet yönünde (+20 KB'ya eğimli) eğim kazanmışlardır (Yılmaz ve Demirkol, 1992 ve Yılmaz ve diğ. 1992c). Tabakalanma, başkalaşma sırasında kaynaştığı ve şistozite de tabakalanma ile kesildiği (farklı litolojideki tabakalarda farklı şistozite gelişmesi) için duraysızlık açısından pek önemli değildir. Fayların daha az dayanımlı (fillit gibi) seviyeleri kestiği kuşaklarda kolüvyonal malzeme gelişmiş ve suyun da etkisi ile bu bölgelerde potansiyel güncel kayma alanları gelişmiş ve halen de gelişmektedir. Sıkı kıvrımlanmanın mühendislik bakımından bazı olumlu yanları çalışma alanında gözlenebilmektedir. Antiklinal ve senklinal dış bükeylerinde beklenen gerilme çatlakları (yüksek P ve T şartları altında kayalar viskoelastik özellik taşıdığından) kolay farkedilebilir oranda gelişmemektedir. Oluşan eklemler de genelde kapalı



Şekil 2. Çalışma alanı mühendislik jeolojisi haritası



Şekil 3. Kuzey ve güney koridor

ve/veya mineral (kalsit veya kuvars) dolguludurlar (Duman, 1993).

Çalışma bölgesi dünya çapında bilinen kırık hatlarının (sol yönlü Doğu Anadolu Fayı, Ecemiş Fay Koridoru ve Ölü Deniz Fay Zonu; Atan, 1969, Arpat ve Şaroğlu, 1975) etki alanları içerisinde yer almasına bağlı olarak depremselliği oldukça yüksek (% 40) bir bölge içerisinde yer almaktadır.

SÜREKSİZLİK SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yaklaşık uzunlukları 2.5 km olan Tünel 3A ve Tünel 3B boyunca 350 adet süreksizlik ölçümü yapılmıştır. Her bir süreksizlik sistemi arazi mühendislik veri tabosunda işlenip tanımlanmıştır. Tanımlanan bu özellikler; süreksizlik tanımlaması (türü, eğimi ve yönü, aralık, açıklık, pürüzlülük, pürüzlülük

şekil, dayanımlılık, eklem takım sayısı ve su durumu), dolgu ve kaya tanımlaması (dolgu tipi, dayanım, ayrışma ve çözünme) şeklindedir. Daha sonra steografik iz düşüm yöntemi ile (Schmit neti-alt yarımküre projeksiyon yöntemi) ortalama eğim ve doğrultu yoğunlaşmaları bulunmuştur. Herbir süreksizlik sistemi için bulunan bu yoğunlaşmalar daha sonra kinematik incelemelerde kullanılmıştır.

Araştırılan süreksizliklerde; pürüzlülüğün düzgün-dolgulu pürüzlü, pürüzlülük şeklinin dalgalanmalı-düzensiz-süreksiz, aralıklarının değişik ölçelerde olduğu (bazen 15-20 cm'lerle bazen de 10 m'lere ulaşan değerlerde), açıklıklarının fay ve tabakalanma yüzeyleri hariç kapalı ve mineral dolgulu olduğu, süreksizlik yan yüzeylerinin dayanımlılığının zayıf-orta dayanımlı, su durumunun kuru olduğu, dolgu malzemesinin genelde olmadığı, orta derecede günlenmiş-az günlenmiş, eklem takım sayısının iki eklem takımı + gelişmiş güzel eklem ve üç eklem takımından oluştuğu, ayrıca süreksizliklere ait içsel sürtünme açısının 30° ile 35° arasında olabileceği çizelgeler kullanılarak değerlendirilmiştir.

YARMA ve TÜNELLERDE OLUŞABİLECEK HAREKETLERİN KİNEMATİK İNCELEMELERLE ARAŞTIRILMASI

Çalışma alanındaki tünel ve yarmalarda süreksizlik sistemlerine bağlı olarak gelişebilecek kaya düşmeleri, kaya devrilmeleri, düzlemsel ve kama tipi kaymalar için, kinematik incelemelerle tehlikeli bölge sınırları içsel sürtünme açısına bağlı olarak oluşturulup, hareketler değerlendirilmiştir.

Tünel giriş-çıkış ağzı yarmalarında duraylılık araştırmaları

Tünel 3A

- Tünel 3A Batı girişi; alın yarması.

Düzlemsel ve kama tipi kaymalar beklenmektedir. Şev eğimi ve yönü: 63/312; şev yüksekliği: 23 m'dir (Şekil 4A).

- Tünel 3A batı girişi; sol yamaç yarması.

B1-J3 süreksizlikleri tarafından oluşturulacak bir kama tipi kayma beklenmektedir. Şev eğimi ve yönü: 145/222; şev yüksekliği 23 m'dir (Şekil 4B).

- Tünel 3A batı girişi; sağ yamaç yarması.

J1-J3 eklemeleri tarafından ancak sınır koşullarında oluşturulacak bir kama tipi kayma beklenmektedir. Şev eğimi ve yönü: 63/042; şev yüksekliği 23 m'dir (Şekil 4C).

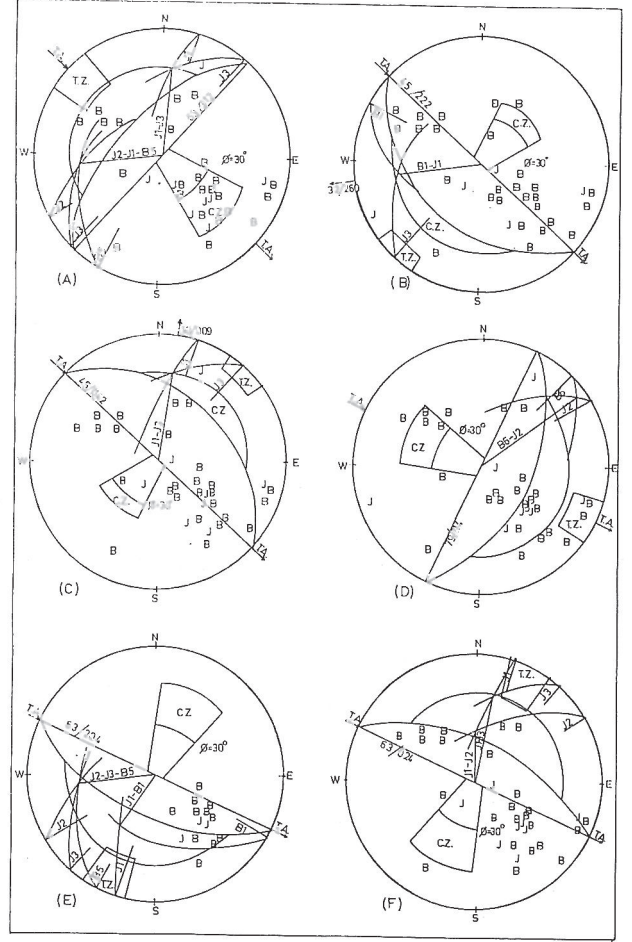
- Tünel 3A doğu çıkışı; alın yarması.

79° olarak düzenlenen yamaçlarda çok küçük ölçekli düzlemsel kaymalar ve devrilme durumları beklenmektedir. Şev eğimi ve yönü: 79/114; yüksekliği 20 m'dir (Şekil 4D).

- Tünel 3A doğu çıkışı; sol yamaç yarması.

J2-J3-B(süreksizlikleri tarafından oluşturulacak kama tipi kaymalar beklenmektedir. Şev eğimi ve yönü: 63/204; yamaç yüksekliği 18 m'dir (Şekil 4E).

- Tünel 3A doğu çıkışı; sağ yamaç yarması.



Şekil 4. Tünel 3A'nın giriş-çıkış ağzı yarmalarında duraysızlık araştırmaları

J1-J2 ve J1-J3 eklem sistemlerince oluşturulacak kama tipi kaymalar beklenmektedir. Şev eğimi ve eğim yönü: 63/024; Şev yüksekliği 28 m'dir (Şekil 4F).

Tünel 3B

-Tünel 3B doğu girişi; alın yarması.

Herhangi bir duraysızlık sorunu beklenmemektedir. Şev eğimi ve yönü: 79/267; şev yüksekliği 17 m'dir (Şekil 5A).

- Tünel 3B doğu girişi; sağ yamaç yarması.

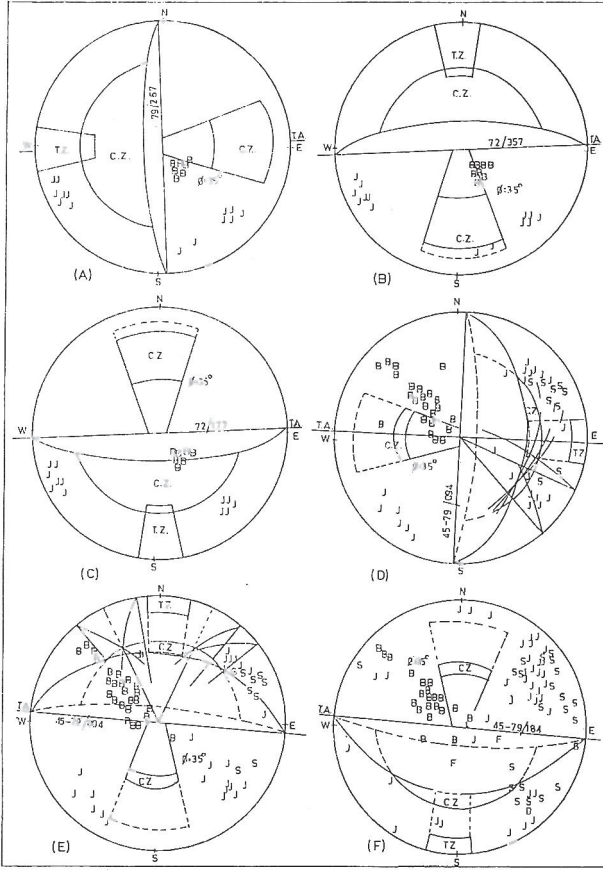
Eklem sistemlerince oluşturulabilecek çok küçük ölçekli kaymalar beklenmektedir. Şev eğimi ve yönü: 72/357; şev yüksekliği 10 m'dir (Şekil 5B).

- Tünel 3B doğu girişi; sol yamaç yarması.

Herhangi bir duraysızlık sorunu yoktur. Şev eğimi ve yönü: 72/357; şev yüksekliği 12 m'dir (Şekil 5C).

- Tünel 3B batı çıkışı; alın yarması.

Kama tipi kaymalar beklenmektedir. Ancak sınır koşullarda küçük ölçekli düzlemsel kaymalar olabilir. Şev eğimleri ve yönü: 79-45/094; şev yüksekliği; 16 m'dir (Şekil 5D).



Şekil 5. Tünel "B'nin giriş-çıkış ağız yarmalarında duraysızlık araştırmaları

Tünel 3B batı çıkışı; sağ yamaç yarması.

Sadece kama tipi kaymalar beklenmektedir. Şev eğimleri ve yönü: 79-45/004; şev yüksekliği 10 m'dir (Şekil 5E).

Tünel 3B batı çıkışı; sol yamaç yarması.

Yamaç eğiminin 79° olarak düzenlenmesi durumunda devrilme durumları olabilecek, fakat yamaç eğiminin 45° olması durumunda herhangi bir duraysızlık sorunu olmayacaktır. Şev eğimleri ve yönü: 79-45/185; şev yüksekliği 9 m'dir (Şekil 5F).

Tünel tavan ve duvarlarında duraylılık araştırmaları

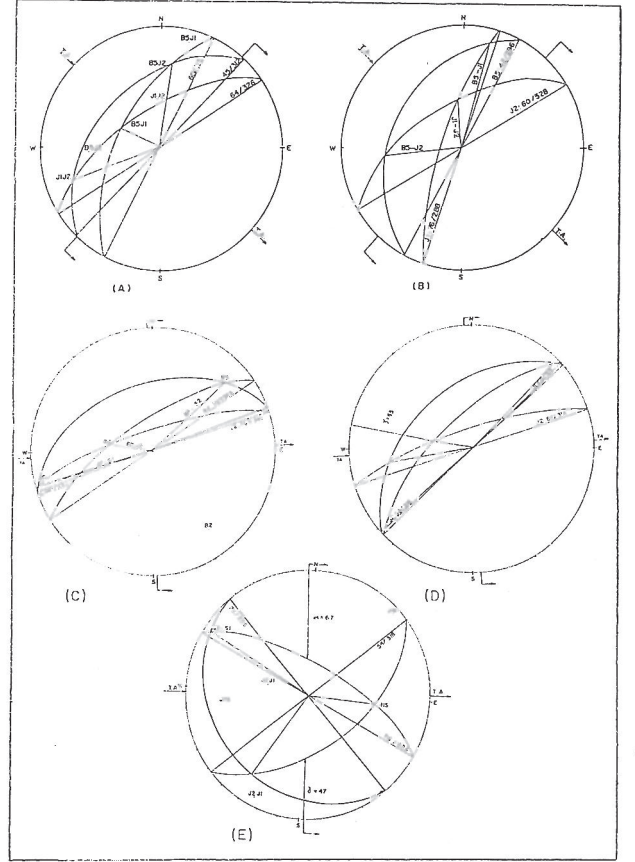
Tünel 3A

Tünel 3A; tavan.

B5-J1-J2 süreksizliklerinin bir arada olmaları durumunda kama tipi bir duraysızlık beklenmektedir (Şekil 6A).

- Tünel 3A; duvar.

Kama tipi kaymalar yan duvarlarda beklenmektedir (Şekil 6B).



Şekil 6. Tünel 3A- tünel 3B'nin tavan ve duvarlarında duraysızlık araştırmaları

Tünel 3B

Tünel 3B; tavan.

Kuzeybatı yönünde tavanda kama tipi kaymalar beklenmektedir. Gözlemler kazı sırasında bu sorunu yaratacak süreksizliklerde yoğunlaştırılmalıdır (Şekil 6C).

Tünel 3B; duvar.

Kama tipi kaymalar küçük ölçekte de olsa beklenmektedir (Şekil 6D).

Tünel 3B;tavan.

J1-S1, J2-S, J2-J1 sistemleri tarafından oluşturulabilecek blok düşmeleri tavanda beklenmektedir (Şekil 6E).

Şekillerde kullanılan simgeler,

TA, Tünelin gidişi

Q, Sürtünme açısı

CZ, Tehlikeli bölge

TZ, Devrilme bölgesi

B, Tabakalanma

J, Eklem

F, Fay

S, Şistozite

SONUÇ

Kızlaç tünellerinin giriş-çıkış ağız yarmalarında ve tavanlarındaki duraysızlık sorunlarının incelenmesi çalışmaları sonucunda süreksizlik sistemlerinin fazla duraysızlık sorunu yaratacak özellikte olmadığı gözlenmiştir. Eklem sistemlerinin çoğunluğu kuvars veya kalsitle dolgulu, pürüzlü ve devamsızdır. Tabakalanma, başkalaşma sırasında genellikle kaynaştığı, ayrıca şistozite de tabakalanma ile kesildiği için duraysızlık yönünden pek önemli değildir. Yaklaşık olarak 350 adet eklem, tabakalanma ve şistozite ölçümleri arazide mühendislik veri tutanaklarına işlenmiştir. Bu süreksizlikler tünel giriş-çıkış ağızlarındaki yarmalarda, tünel tavan ve yan yüzeylerinde kama tipi kayma, düzlemsel kayma, devrilme ve kopma durumları için kinematik incelemelerde kullanılmıştır. Kinematik incelemeler sonunda bazı küçük kama tipi ve düzlemsel kaymaların yanısıra, sınır koşullarında kopma ve düşmeler meydana gelebileceği görülmüştür. Bu duraysızlık sorunları tünel içerisinde kaya bulonları ile tutturulmalıdır. Tünel ağızlarında değişik yamaç eğimleri önerilmiştir. Yarmalardaki yüzey döküntülerini önlemek için de püskürtme betonu kullanılabilirliği düşünülmektedir. Ayrıca çalışma alanının mühendislik jeolojisi haritası ve tünel boylarınca kesitler hazırlanmıştır.

DEĞİNİLEN BELGELER

Arpat, E. ve Şaroğlu, F., 1975, Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar : Türkiye Jeol. Kur. Bült., 18/1, 91-101.

- Atan, O.R., 1969, Eğribucak-Karacaören (Hassa) Ceylanlı-Dazevalari (Kırıkhan) arasındaki Amanos Dağlarının Jeolojisi : MTA yayınları, No : 139, Ankara 85s.,
- Duman, T.Y., 1993, Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) Otoyolu Tünel 2 - Tünel 4 arasının mühendislik jeolojisi : Yüksek Lisans Tezi., Ç.Ü. Fen Bil. Ens., Adana (Yayımlanmamış).
- Yılmazer, İ., Ertunç, A., ve Kaya, Ş., 1992a, Yarma yamaç dizaynı ve kinematik analiz : 3. Müh. Jeol. Semp. Bült. özetleri, Ç.Ü., Adana.
- Yılmazer, İ., Erhan, F., Duman, T.Y., ve Erdal, A., 1992b, Mühendislik çalışmalarında süreksizlik araştırmalarının önemi : 3. Müh. Jeol. Semp. Bült. özetleri, Ç.Ü., Adana
- Yılmazer, İ., İşler, F., ve Duman, T.Y., 1992c, Metamorphism in the Mauntain Range and effect on engineering geology of the region : Geosound., Yerbilimleri., Çukurova University-Turkey. p. 67-77.
- Yılmazer, İ., and Demirkol, C., 1992, About the geology of the Nur Mauntain Range Geosound., Yerbilimleri., Çukurova University - Turkey., p. 313-314.

MAMAK (ANKARA) KATI ATIK SAHASININ DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASINA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN JEOLojİK VE JEOTEKNİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Geological and geotechnical evaluation of transforming Mamak (Ankara) solid waste disposal area into sanitary landfill

Kamil KAYABALI
Nail ÜNSAL

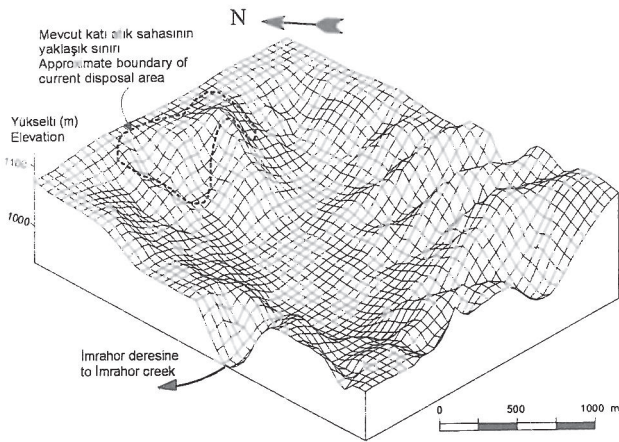
Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendiliği Bölümü, Ankara
Gazi Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZ: Mamak Natoyulu'ndaki (Ankara) katı atık depolama sahasının düzenli atık depolama sahasına dönüştürülebilirliği jeolojik ve jeoteknik açıdan incelenmiştir. Mevcut sahadaki formasyonların mühendislik özelliklerinin (hidrolik iletkenlik, katyon değişme kapasitesi vb.) özellikleri araştırılmıştır. Bölgedeki topoğrafik şartlar da dikkate alınarak bir düzenli depolama dizaynı sunulmuştur. Düzenli depolama için gerekli olan taban izolasyonu, topuk embankmanı, nihai örtü sızıntı suyu ve yüzey suyu drenajı ile emme kuyularının ayrıntıları verilmiştir.

ABSTRACT: Transforming the present solid waste disposal area in Mamak - Natoyolu area into a sanitary landfill (Ankara) was evaluated from the geological and geotechnical aspects. Engineering properties of bedrock and overlying soil formations such as hydraulic conductivity and cation exchange capacity underneath the current disposal area were investigated. A sanitary landfill design was proposed considering topographic conditions in the area. The details of base liner, toe embankment, final cover, leachate and surface water drainage, and gas extraction wells design were presented.

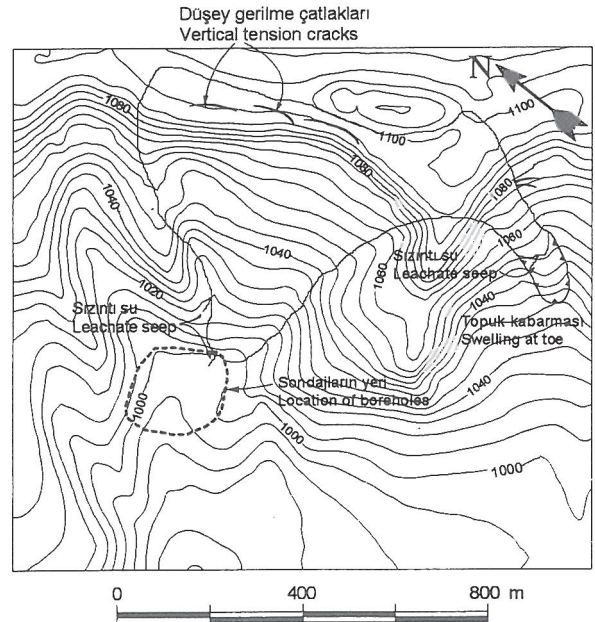
GİRİŞ

Katı atıkların belirli bir alanda depolanması asırlarca önce başlamış bir uygulamadır. Gelişen teknoloji ve hızlı nüfus artışının çevre üzerindeki olumsuz etkileri insanlığın çevre ile olan etkileşimini yeniden



Şekil 1. Mamak katı atık sahasının güneybatısındaki depresyon alanını gösteren blokdiyagram.

Figure 1. Three-dimensional view of the depression area to the southwest of the disposal area.



Şekil 2. Güncel katı atık sahasının sınırlarını, duraysız şev alanlarını, sızıntı suyu çıkış noktalarını ve sondaj yerlerini gösterir harita.

Figure 2. Map showing the boundary of disposal area, unstable slope areas, leachate seeps, and brehole locations.

değerlendirmesi zorunluluğunu doğurmuştur. Geçmişte katı atıklardan türeyen sızıntı suların zemin tarafından temizlendiğine dair bir kanaat yaygındı. 1950-70 yılları arasında yapılan birçok çalışmada katı atık sahalarının yeraltı suyunu kirlettiği tespit edildi. Aynı zamanda, katı atıkların tabanını oluşturan geçirimsiz malzemenin de gerek kalınlığı ve gerekse katyon değişme kapasitesi bakımından sızıntı suyunun temizleme potansiyelinin sınırlı olduğu anlaşıldı (Baghçi, 1990). Günümüzde katı atıkların düzenli depolama alanlarında hemen hemen her tarafından izole edilmiş ve çevreye olan olumsuz etkileri asgariye indirilmiş şekilde depolanması yönüne gidilmektedir.

Ankara'da üretilen kentsel atıklar 1960-1979 yılları arasında Mamak ilçesi Tuzluçayır evkiinde depolanmıştır. 1979'dan günümüze yine Mamak ilçe sınırları içinde ve eski deponi alanının güneydoğusunda yer alan Natoyolu mevkiinde depolanmaktadır ve depolama gelişigüzel olarak yapılmaktadır. Mevcut katı atık depolama sahasının başlıca Metropol sınırları içinde kaldığı gerekçesiyle yakın bir gelecekte son verilecektir.

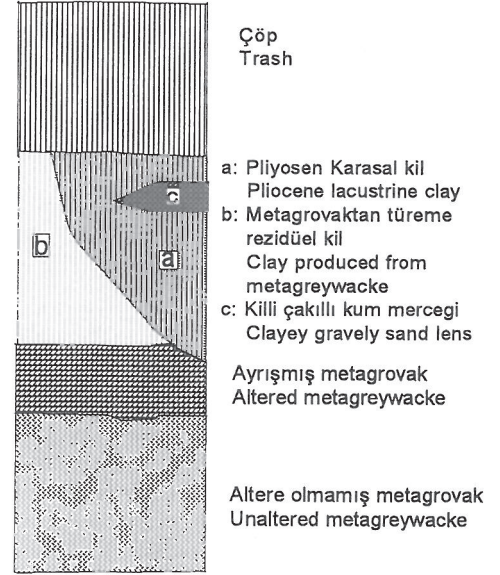
Ankara'da üretilen katı atıklar üzerinde yapılan çalışmaların tarihçesi oldukça yenidir. Uluata vd. (1984) başkentte üretilen katı atıkların zararsız hale getirilmesi ve değerlendirilmesi üzerinde yaptığı çalışmada katı atıkların yakılabilirliğini ve kompostlaşabilirliğini araştırmıştır. Sonuçta Ankara katı atıklarının kalori değerinin düşük oluşu, benzer şekilde karbon / azot oranı ile pH değerlerinin de gerekli sınırların altında olması nedeniyle katı atıkların yakma ve kompostlama seçeneklerinin cazip olmadığı anlaşılmıştır. Bunların yerine Ankara kenti atıklarının düzenli depolama ile depolanmasının en uygun seçenek olduğu belirtilmiştir. Bununla beraber, aradan geçen 10 yıldan fazla zaman içerisinde katı atıkların bileşiminin oldukça değişmiş olabileceği düşünülmektedir. Özellikle ısınmanın doğal gazla sağlanmaya başlanmasından sonra katı atıkların kül içeriği önemli ölçüde azalmıştır. Bu bağlamda, katı atıkların yakılabilirliği veya kompostlaşabilirliği yeniden değerlendirilebilir.

Son birkaç yıl içerisinde Ankara Büyükşehir Belediyesi ve Çevre Bakanlığı tarafından Mamak katı atık sahasının rehabilitasyonuna yönelik bir çok rapor da hazırlanmıştır.

Mamak katı atık sahası üzerinde yapılan ön araştırmalar mevcut katı atık sahasının jeolojik, hidrojeolojik ve topoğrafik olarak düzenli depolanmaya elverişli olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, Mamak'ta halen gelişigüzel depolanmakta olan katı atıkların bulunduğu yerde düzenli depolama şeklinde depolanabilmesi jeolojik ve jeoteknik açıdan araştırılmış ve düzenli depolama dizaynının ayrıntıları verilmiştir.

MAMAK KATI ATIK SAHASININ BUGÜNKÜ DURUMU

Mamak katı atık depolama sahasında evsel, tıbbi, ticari ve endüstriyel atıkların herhangi bir ayırıma tabi tutulmaksızın depolandığı söylenebilir. Katı atık



Şekil 3. Katı atık sahasının kolon kesiti (ölçeksiz).
Figure 3. Columnar section of the disposal area (not to scale).

sahasının çevre üzerindeki etkileri başlıca görüntü kirliliği, oluşan gazların nahoş kokusu, sızıntı suyu, yangın ve duman, şev duyarsızlığı ile hastalık taşıyıcı vektörler olarak sıralanabilir.

Saha şehir merkezinden 11 km uzaklıkta ve yaklaşık 231 hektarlık bir alana yayılmış bulunmaktadır. Büyük bir topoğrafik depresyon alanının kuzeydoğu yamacında yayılmış vaziyette yer alır (Şekil 1). Katı atık birikimi en derin yerinde 50 m. ye ulaşmaktadır (Ankara Büyükşehir Belediyesi, 1994a). Katı atık sahasının sınırlarını ve çevresindeki morfolojiyi ortaya koymak amacıyla plançete ile büyük ölçekli bir harita yapılmıştır (Şekil 2). Katı atıkların yanal uzanımı yaklaşık 800 m ve buna dik yöndeki yamaç aşağı kaymaların gözlemlendiği kesimde 500 m. den daha geniştir. Buldozerler ile yamaç aşağı itilen katı atıklar duraysız şevler oluşturmakta ve yamaç eğimi 30-35 dereceye kadar çıkmaktadır. Sahadaki atıklar içerisinde iki büyük kayma gözlenmektedir. Bunlardan güneydoğuda olanı sürşarj yoluyla doğal yamaç içerisinde şev duyarsızlığına yol açmaktadır. Kayan alanların tepe kısımlarında gelişmiş derin ve geniş tansiyon çatlakları gözlenmektedir.

Kayan kütlelerin eteklerinde üç değişik noktada sızıntı suyu çıkışına rastlanmaktadır. Bunlardan debisi en çok olanının akışı 1-2 lt/sn civarındadır. Atık sahasından çıkan sızıntı sular kısa bir mesafe içerisinde zemin tarafından absorbe edilmektedir. Ancak, yağışı izleyen dönemlerde debi artmakta ve sızıntı sular katı atık sahasının batısındaki Çaylak dere vasıtasıyla yaklaşık 2 km uzaktaki İmrahor deresine kadar erişebilmektedir. Arazi ve hayvan sulamasında kullanılan dere suyu, ağır metallerin bitkisel ve hayvansal besinler yoluyla insan vücuduna girme riski taşımaktadır. Tuzluçayır eski deponi alanından İmrahor

deresine karışan sızıntı sularda üç tip PCB (poliklorobifenil) maddesi tespit edildiği belirtilmektedir (Ankara Büyükşehir Belediyesi, 1994b). PCB'lerin bitki ve hayvanlarda depolanarak gıda zincirine girme riski çok fazla olup insan sağlığı açısından son derece tehlikelidir.

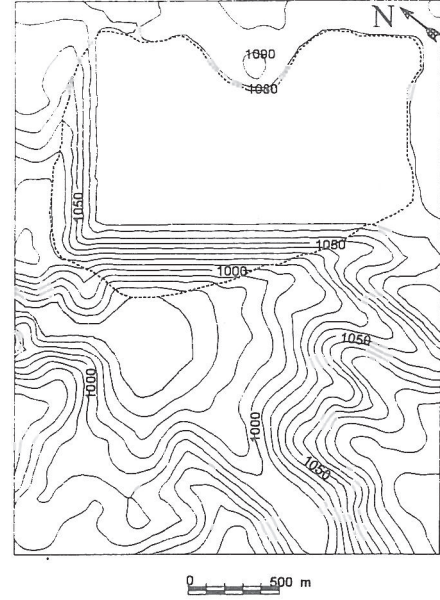
Katı atık sahasından iki sıra halinde yüksek gerilim hattı geçmektedir. Elektrik pylonların stabilitesi, gerek çöpteki oturma ve gerekse gaz patlamasına karşı tehlikelidir.

KATI ATIK SAHASINDA ZEMİN YAPISI VE HİDROJEOLÖJİK DURUM

Mamak katı atık depolama sahasında anakaya çok çatlaklı, orta-ileri derecede ayrılmış metagrovaklardan meydana gelmektedir. Bu tanımlama, metagrovakların en üst kısmı için geçerli olup daha derinde bulunan altere olmuş metagrovakların niteliği hakkında sondaj verisi mevcut değildir. Metagrovaklar üzerine kalınlığı çok değişken olan karasal kil çökelleri gelmektedir (Şekil 3). Ayrıca, metagrovaktan türeme rezidüel killere de yerel olarak rastlanmaktadır. Ankara Büyükşehir Belediyesi'nce mevcut katı atık sahasının güneybatı ucunda yaptırılan sondajlarda (Şekil 2) anakaya topoğrafyasının oldukça engebeli olduğu anlaşılmaktadır. Yaklaşık 150x150 m. lik bir alanda yapılan 6 sondajda kil kalınlığının en az 7 m ve en çok 34.5 m. den daha derin olduğu tespit edilmiştir (Ankara Büyükşehir Belediyesi, 1993). Katı atık sahasını çevreleyen alanda topoğrafik yükseltinin düşük olduğu kesimde mostra veren metagrovaklara da rastlanmaktadır.

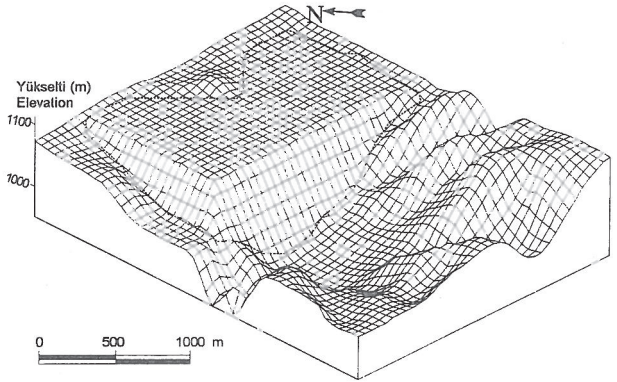
Pliyosen yaşlı karasal çökellerin zemin örneklerinin incelenmesinde bunların genellikle çakıllı kumlu kil, çakıllı kil ve siltli kil bileşiminde olduğu gözlenmiştir. Pliyosen yaşlı killer içerisinde kalınlığı 5m. ye erişen kil çimentolu bir killi çakıllı kum merceğine rastlandığı belirtilmektedir (Çevre Bakanlığı, 1992). Atıkların depolandığı alanın güneybatısında depresyon alanına karışan vadilerden getirilmiş alüvyon yer almaktadır. Burada kum ve çakıl işletmesi yapılan bir tesis bulunmaktadır.

Pliyosen karasal kilinin hidrolik iletkenliği oldukça düşük olup 10^{-7} - 10^{-8} cm/sn mertebesindedir. Kil içerisinde yer yer rastlanan killi çakıllı kum merceklerinin hidrolik geçirgenliği de 10^{-4} - 10^{-5} cm/sn düzeyindedir. Ankara Büyükşehir Belediyesi'nce yaptırılan sondajlarda bu merceklerin birinde 3 m derinlikte yeraltı suyunun varlığı gözlenmiştir. Ayrıca anakayayı oluşturan metagrovakların ayrılmış üst kesiminde yaklaşık 8-9 m derinde yeraltı suyuyla rastlandığı belirtilmektedir. Ancak, katı atık sahası ile ilgili raporlarda verilen bilgilere dayanarak katı atık sahası tabanında ekonomik anlamda bir akifer olduğu söylenemez. Anakayanın ayrılmış üst kesimindeki yeraltı suyunun yanal devamlılığını ve doymun zonun kalınlığını belirlemek için ayrıca sondajlar yapmak gereklidir. Diğer taraftan, yapılan sondajlar anakayanın ayrılmış üst kesimi-



Şekil 4. Dizaynı teklif edilen düzenli depolama alanını sınırlarını gösterir harita.

Figure 4. Map showing the boundaries of the proposed sanitary landfill design.

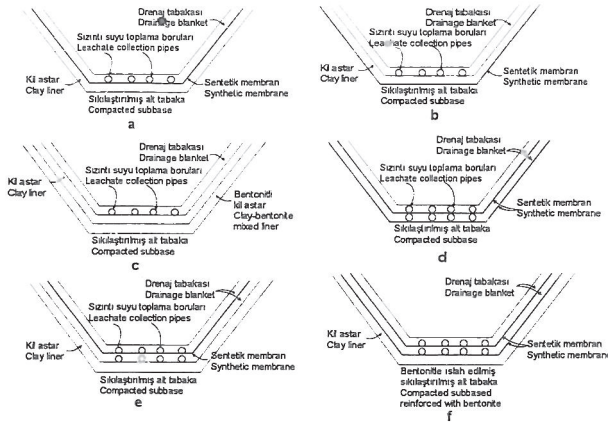


Şekil 5. Dizaynı teklif edilen düzenli depolama sahasının blokdiagramı.

Figure 5. Three - dimensional view of the proposed sanitary landfill design.

mindeki yeraltı suyunun yanal devamlılığını ve doymun zonun kalınlığını belirlemek için ayrıca sondajlar yapmak gereklidir. Diğer taraftan, yapılan sondajlar anakayaya girildikten sonra sona erdirilmiş ve dolayısıyla ayrılmamış taze metagrovakların mühendislik özelliklerine dair veri sağlanmamıştır. Yazarlar, metagrovaklar içinde yapılacak daha derin sondajların buradaki yeraltı suyunun konumunu belirlemede önemli bilgiler sağlayacağını düşünmektedir.

Düzenli depolama sahaslarının dizaynında önemli bir yer tutan tabandaki kil malzemenin katyon değişme kapasitesinin yüksek olması aranan bir özelliktir. Mamak katı atık sahasında zemini oluşturan Pliyosen



Şekil 6. Taban izolasyonu için dizayn çeşitleri:

- Çift tabakalı, tek katlı drenaj sistemi, şema 1;
- Çift tabakalı, tek katlı drenaj sistemi, şema 2;
- Çift tabakalı, tek katlı drenaj sistemi, şema 3;
- Çift tabakalı, iki katlı drenaj sistemi, şema 1;
- Çift tabakalı, iki katlı drenaj sistemi, şema 2;
- Çok tabakalı, iki katlı drenaj sistemi (Baghci, 1990'dan).

Figure 6. Different configurations for base liner: a) Double lined single collection system, scheme 1; b) Double lined single collection system, scheme 2; c) Double lined single collection system, scheme 3; d) Double lined two collection systems, scheme 1; e) Double lined two collection systems, scheme 2; f) Containment landfill with a multiple liner and two collection systems (from Baghci, 1990).

killerinin türünü ve kation değişim kapasitesini belirlemek amacıyla beş değişik lokasyondan zemin örneği alınmıştır. Yapılan X-ray analizlerinde örneklerinin tamamının az miktarda kaolinit içeren klorit-montmorillonit tipi killer olduğu gözlenmiştir. Örneklerin kation değişim kapasiteleri ise 26-48 meq/100 g arasında değişmekte ve ortalama 34 meq / 100 g civarındadır. İllit ve klorit gibi yaygın kil minerallerinin kation değişim kapasiteleri 10-40 meq / 100 g arasında değişmektedir. Katı atık sahasından alınan örneklerde belirlenen ortalama kation değişim kapasitesi değerinin yaygın kil minerallerinin ortalama kation değişim kapasitesinden yüksek oluşu Mamak katı atık depolama sahası içinde bir avantaj teşkil etmektedir.

DÜZENLİ DEPOLAMA DİZAYNI

Mamak katı atık depolama sahasının düzenli depolama sahasına dönüştürülmesinde avantaj sayılan özellikler aşağıda verilmiştir:

- Kil kalınlığının genellikle 25 m. den fazla ve geçirgenliğinin çok düşük olması,
- Ekonomik olarak işletilebilir yeraltı suyunun bulunmaması,
- Zemin kilinin kation değişim kapasitesinin nispeten yüksek oluşu,

- Topoğrafik şartların elverişliliği.

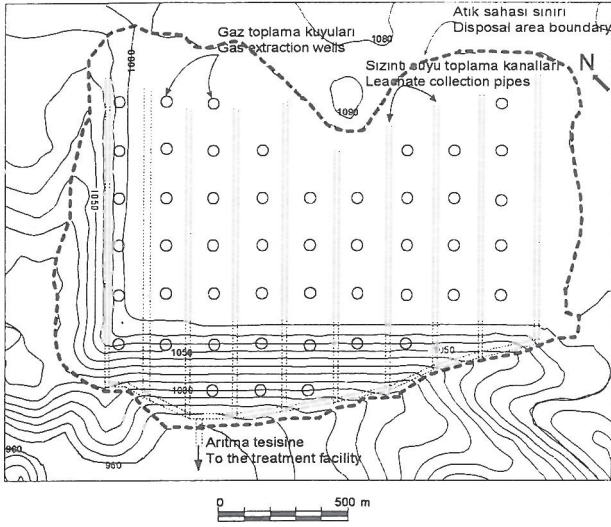
Bunlara ek olarak düzenli depolamada günlük ve daha uzun vadeli örtme işlemlerinde kullanılacak ve toplam depolanmış malzemenin hacimce yaklaşık % 20'sini oluşturacak malzemenin (kil, kum karışımı) çevrede bolca bulunması verilebilir. Ancak, bu malzemelerin miktarını belirlemeye yönelik ilave sondajlara gerek vardır. Yine düzenli depolama sahası inşası için gerekli olan drenaj tabakası oluşturulmasında kullanılacak granüler malzeme topoğrafik depresyonun tabanındaki alüvyondan sağlanabilir. Diğer taraftan, düzenli depolama sahası yer tespitinde uyulması gereken göl akarsu, taşkın ovası, karayolu, milli park, koruma alanları, bataklık, havaalanı ve su kuyusuna uzaklık gibi lokasyon kriterleri de mevcut katı atık depolama sahası için tatmin edicidir.

Mamak düzenli depolama alanının ayrıntıları aşağıda verilmiştir:

- Taban izolasyonu,
- Topuk embankmanı,
- Nihai örtü,
- Sızıntı suyu toplama sistemi,
- Gaz emme kuyuları,
- Yüzey suları drenajı,
- Depolama biçimi.

Bu çalışmada teklif edilen düzenli depolama alanı Şekil 1'de gösterilen alanın kuzeydoğu yarısını dolduracak ve güneybatı kenarı 960-970 kotları arasında bir yerde başlayacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4). Teklif edilen alanın kuzeydoğusu ve güneydoğusu doğal setlerle çevrilidir. Düzenli depolama sahasının güneybatı yamacı 1:3 oranında şevlendirilecek ve 1080 kotuna kadar çıkacaktır (Şekil 4, 5). kuzeybatı kenarındaki şev yaklaşık 1020 kotundan başlayıp 1:3'lük şevlendirme ile 1080 kotuna kadar devam edecektir. Taban izolasyonu için değişik seçenekler Baghci (1990)da verilmiştir (Şekil 6). Bu seçenekler arasında Şekil 6-b'de verilen dizaynın Mamak düzenli depolama sahası için uygun olacağı düşünülmektedir. Bunun nedeni, günümüzde inşa edilen düzenli depolama sahaslarında sentetik membran kullanımının artık zorunlu hale gelmesidir. Ayrıca, düzenli depolama sahası işletimi sırasında araçların faaliyetlerinden dolayı sentetik membrana gelecek hasarı asgariye indirmek amacıyla kil astar tabakası sentetik membran üzerinde tasarlanmıştır. Şekil 6'da verilen diğer dizayn tipleri arasında çift katlı sentetik membranlı olanlar özellikle tehlikeli atıkların (örnek, tıbbi ve radyoaktif atıklar) depolanmasında tercih edilmektedir.

Düzenli depolama en çok tercih edilen sentetik membran tipleri yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve PVC bileşimli membranlardır. Polietilen tipi membranlar kimyasal maddelere karşı dayanıklı, sağlam ve kolayca tutturulabilir özelliklerdedir. Bunların dezavantajları düşük ısalarda iyi performans vermemeleri ve darbelere karşı dayanıksız olmalarıdır. PVC tipi membranlar işçiliği kolay, dayanıklı ve kolayca tutturulabilir özelliklerdedir. Ancak, bunların kimyasal maddelere

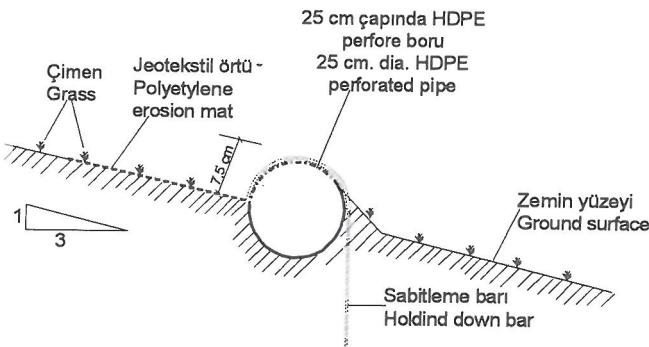


Şekil 7. Dizaynı teklif edilen düzenli depolama sahasının gaz emme kuyuları ve sızıntı suyu toplama borularının yerleşim planı.

Figure 7. Layout of gas extraction wells and leachate collection pipes for the proposed sanitary landfill.

karşı dayanımı az olup düşük ve yüksek sıcaklıklardaki performansları da düşüktür. Bu sebeple daha çok polietilen tipi sentetik membranlar düzenli depolama sahası taban izolasyonunda tercih edilmektedir.

Topuk embankmanının, teklif edilen düzenli depolama sahasının şevlendirilmiş kenarlarının orjinal topoğrafya ile birleştiği yerde ve özellikle güneybatı ve kuzeybatı kenarları boyunca topuk erozyonuna karşı inşa edilmesi önerilmektedir. Embankmanın için 1.5-2 m ve yükseklik ve 1:1.5-2'lik şevlendirilmenin uygun olacağı düşünülmektedir. Embankman inşası için kullanılacak malzemenin mühendislik özelliklerine göre, embankman yüksekliği ve şev açısı uygun şekilde değiştirilebilir.



Şekil 8. Tipik bir gaz emme kuyusu dizaynı (Powell vd., 1992'den).

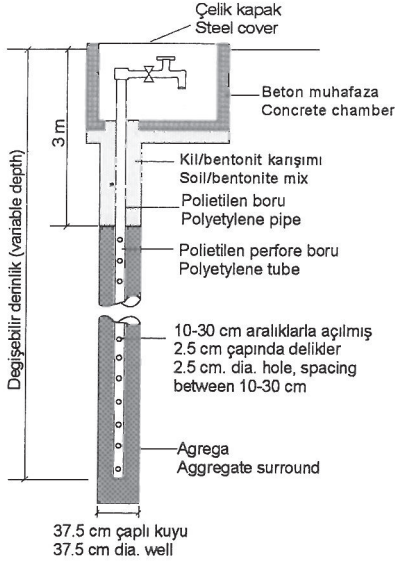
Figure 8. Typical landfill gas extraction well (after Powell et al., 1992).

Nihai örtüyü oluşturacak katmanların bileşimi ve fonksiyonları aşağıdaki şekilde olacaktır:

- Toprak tabakası : Erozyonu önleme ve rekreasyon amacıyla bitkilendirme,
- Koruyucu tabaka: Sentetik membranı muhtemel hasarlardan koruma,
- Sentetik membran: Yağmur suyu infiltrasyonunu önleme,
- Kil astar: Sentetik membrana yastık vazifesi,
- Dengeleyici tabaka: Atıkların düzensiz yüzeyini tesviye etme.

Teklif edilen düzenli depolama sahasının işletilmesi esnasında atıklar içine sızacak olan suların toplanması katı atıkların tabanına sentetik membran üzerindeki drenaj tabakası içerisinde yerleştirilecek drenaj borularıyla mümkün olacaktır (Şekil 7). Yamaç eğimi yönünde ve Şekil 7'de planı verildiği şekilde yerleştirilecek olan drenaj borularının sıklığı sızıntı suyu miktarına bağlı olarak hesaplanmalıdır. Sızıntı suyu drenaj boruları güneybatı uçlarından başka bir toplama sistemine karışacak ve bir kanalla en düşük topoğrafik kottan ya arıtma tesisine verilecek ya da arıtmak üzere başka bir yere nakledilecektir. Teklif edilen düzenli depolama sahasının yüksekliği en derin yerinde 110 m civarına olacaktır. Düzenli depolama sahasında zamanla oluşacak gazların zararsız bir şekilde uzaklaştırılması kaçınılmazdır. Gaz emme kuyularının dizaynı için katı atıkların hidrolik iletkenlikleri ve ne kadar gaz üreteceklerine dair ayrıntılı çalışma gereklidir. Kentel atıkların hidrolik iletkenliklerinin genellikle 10^{-3} - 3×10^{-3} cm/sn düzeyinde olduğu ancak, bu değerlerin katı atıkların yaşı, kompaksiyon derecesi ve bileşimine göre değişebileceği belirtilmektedir (Oweis vd., 1990, Powell vd., 1992). Gaz toplama kuyuları genellikle su kuyularının analogu olup dizayn bakımından tipik bir su kuyusundan farklı değildir (Şekil 8). Gaz kuyularının sıklığı ve derinliği, düzenli depolama sahasında üretilen gazın miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Bu konuda ilave araştırmalara ihtiyaç vardır. Katı atık sahasında üretilen gazların bileşim olarak % 80'den fazlasını metan (CH_4) gazı oluşturmaktadır. Hava ile belirli bir oranda (% 5-15) karışığında patlayan metan gazının gaz kuyularından pompalama yoluyla çekilmesi muhtemel patlamalara karşı gereklidir.

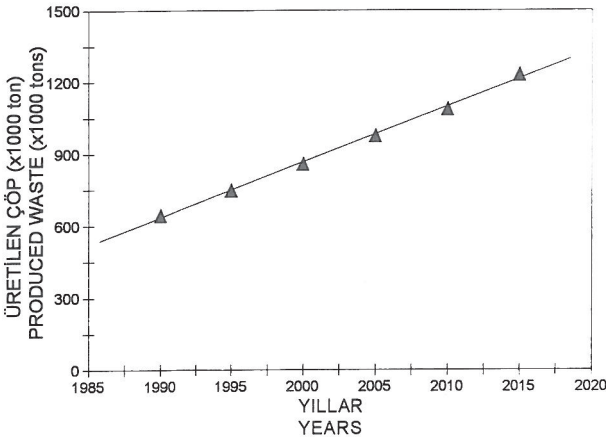
Gerek düzenli depolama sahasının işletilmesi sırasında ve gerekse ömrünü tamamladıktan sonra oluşturulacak nihai şevlerin erozyonuna karşı önlem alma zorunluluğu vardır. Powell vd. (1992) bu amaç için Şekil 9'da verilen dizaynı teklif etmektedirler. Bu sistemde 2/3'ü şev içine gömülü ve 1/3'ü zemin yüzeyinde kalacak şekilde belirli bir kısmı perfore edilmiş borular kullanılmaktadır. Boruların yamaç yukarı kısmı erozyonu asgariye indirmek amacıyla jeotekstil malzemesiyle takviye edilmektedir. Ayrıca, bu dizayn şeklinde yüzey drenaj borularının yamaç yüzeyinde şevron stilinde (boruların genel gidişi şev doğrultusuna paralel) yerleştirilmesi önerilmektedir. Bundan da amaç, katı atıklar içinde meydana gelebilecek oturmalara karşı



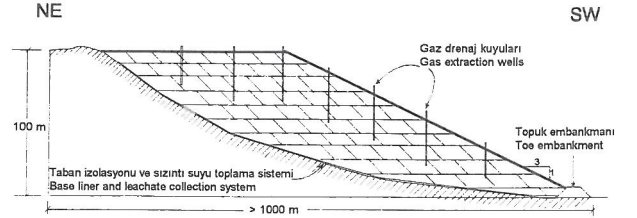
Şekil 9. Yüzeysel drenaj ayrıntıları (Powell vd., 1992'den).
Figure 9. Surface drainage details (from Powell et al., 1992).

yüzeysel drenaj borularının fonksiyonunu sürdürülebilirliğidir.

Bu çalışmada teklif edilen düzenli depolama sahasının yaklaşık hacmi $115 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'tür. Düzenli depolama sahalarında katı atık/periodyk örtü oranı hacimce 4:1'dir. Buna göre toplam düzenli depolama hacminin % 20'si ($=23 \times 10^6 \text{ m}^3$) kil-kum karışımından oluşacak ve net depolama hacmi $92 \times 10^6 \text{ m}^3$ olacaktır. Mamak katı atık sahasında yapılan son çalışmalar bugüne kadar biriken katı atık hacminin yaklaşık $4.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ civarında olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. Ankara'da-gelecek 20 yıl için tahmin edilen atık üretimi grafiği.
Figure 10. Waste production prediction prediction in the next 20 years for the City of Ankara.



Şekil 11. Düzenli depolama alanının tamamlanmış şeklini gösteren enine kesit.
Figure 11. Cross section showing the proposed landfill at its completion stage.

Ortalama katı atık yoğunluğunun $0.75 \text{ ton} / \text{m}^3$ olduğu kabul edilirse dizaynı yapılan düzenli depolama alanında yaklaşık 66×10^6 ton katı atık depolanabilecektir. Yapılan istatistiksel çalışmalarla Ankara'da gelecek 20 yıl içinde üretilecek katı atık miktarı tahmin edilmiştir (Şekil 10) (BELKO Şirketler Topluluğu, 1994). Diyagramdaki yıllık artış trendi göz önüne alındığında dizaynı teklif edilen düzenli depolama sahası 50 yıldan daha uzun bir süre hizmet verebilecektir. Günlük veya daha uzun aralıklı periyotlarda oluşturulacak ara katmanlarıyla birlikte düzenli depolama sahasının nihai şekli Şekil 11'deki gibi olacaktır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yakın bir gelecekte işletimine son verilecek olan Mamak katı atık depolama sahasında yapılan araştırmalar mevcut sahada jeolojik, hidrojeolojik ve topoğrafik şartlar ile beraber diğer lokasyon kriterlerinin düzenli depolama için elverişli olduğunu göstermektedir. Saha civarında kalınlığı 25 m. yi geçen Pliyosen killeri ve sahaya oldukça yakın mesafede yer alan alüvyon, düzenli depolama alanının işletmeye hazırlanması ve işletme esnasında gerekli olacak malzeme kaynakları olarak değerlendirilebilir.

Düzenli depolama sahasının altında yer alan formasyonlarda ekonomik anlamda işletilebilir yeraltı suyu olduğu söylenemez. Ancak, metagrovakların ayrışmış üst kesimlerinde lokal olarak bulunan yeraltı suyunun yanal ve düşey durumunu belirlemek amacıyla ilave sondajlara gerek vardır. Mevcut sondajlarda metagrovakların ayrışmamış taze kısımlarına ait bilgi mevcut değildir. Kaldı ki, anakaya üzerindeki kil tabakasının oldukça kalın olması ve taban izolasyonunda sentetik membran kullanılacak olmasından dolayı işletilebilir yeraltı suyu olsa bile potansiyel kirlenme ihtimali hemen hemen yok denecek kadar azdır.

Son yıllara üretilen kentsel atıklardaki artış miktarı da göz önüne alınarak yapılan istatistiksel çalışmalarla belirlenen verilere göre dizaynı teklif edilen ve 66×10^6 ton katı atık depolama kapasitesine sahip sahanın ömrünün 50 yıldan fazla olduğu hesaplanmıştır.

Metropol sınırları içerisinde kaldığı gerekçesiyle işletimine son verilecek olan Mamak katı atık depolama sahasında düzenli depolama biçiminde ve modern depolama teknikleri uygulanmak suretiyle depolama

yapıldığı takdirde çevre üzerinde olumsuz etki yapan faktörler ortadan kalkmış olacaktır. Yazarlar, endüstrileşmiş ülkelerin bazılarında büyük metropol sınırları içerisinde (Örnek Chicago, Hong Kong) halen işletilmekte olan düzenli depolama sahalarının var olmasından dolayı Mamak katı atık sahasının işletimine son verilmesinde esas rolü oynayan faktörün yeniden değerlendirilmesi gerektiği inancını taşımaktadırlar.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, katyon değişme kapasitesi analizlerinden dolayı Prof. Dr. İlhami Ünver'e (A. Ü. Ziraat Fakültesi), X-ray analizlerinin yapılmasını sağlayan Dr. İsrail Kayabalı'ya (MTA) ve Mamak katı atık sahası ile ilgili verilerin temininde yardımlarından dolayı Ankara Büyükşehir Belediyesi yetkililerine minnettedir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Ankara Büyükşehir Belediyesi, 1992, Mamak katı atık (çöp) depolama alanı jeolojik ve jeoteknik etüdü ön raporu.
- Ankara Büyükşehir Belediyesi, 1994a, Mamak katı atık alanı fizibilite raporu; Ankara Büyükşehir Belediyesi, Fen İşleri Daire Başkanlığı.
- Ankara Büyükşehir Belediyesi, 1994b, Tuzluca'yı eski deponi alanı rehabilitasyon projesi ön araştırmalar final raporu.
- Baghci, A., 1990, Design, construction, and monitoring of sanitary landfill: John Wiley & Sons Publishing Co., 284 p.

- BELKO Şirketler Topluluğu, 1994, Ankara katı atık yönetim sistemi geliştirme projesi, gelişme raporu.
- Çevre Bakanlığı, 1992, Mamak (Ankara) katı atık (çöp) depo sahası rehabilitasyon projesi, jeolojik ve jeoteknik inceleme raporu, Çevre Bakanlığı, Ankara.
- Erdoğan, Ş. Ş., 1976, Bentonitlerin metalurjideki uygulamaları yönünden araştırılması ve Reşadiye bentonitlerinin bu açıdan incelenmesi: İTÜ Maden Fakültesi Matbaası.
- Oweis, I. S., Smith, D. A., Ellwood, R. B., and Greene, D. S., 1990, Hydraulic characteristics of municipal refuse: ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, (116)4, 539-553.
- Powell, G. E., Watkins, A. T., and Manley, B. J. W., 1992, Restoration of a large urban landfill in Hong Kong: Geotechnique, (42)1, 37-47.
- Uluatam, S. S., Yurteri, C. ve Billur, N., 1984, Ankara katı atıklarının etkin biçimde toplanması, taşınması, değerlendirilmesi ve zararsız hale getirilmesi: Doğa Bilim Dergisi, B, (8)1, 100-110.

ANKARA SU TEMİN PROJESİ GEREDİ-ÇAMLIDERE DERİVASYONU IŞIKLI TÜNELİ ALTERNATİF GÜZERGAHLARI JEOTEKNİK İNCELEMESİ

Geotechnical investigation of Işıklı tunnel alternative alignments of Gerede-Çamlidere diversion system of Ankara Water Supply Project

Eray ÖZGÜLER

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı
Ankara

Aziz ERTUNÇ

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

Orhan TANER

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü V. Bölge, Ankara

ÖZ: Ankara Su Temin Projesi içerisinde yer alan Gerede-Çamlidere Derivasyonu Işıklı Tüneli alternatif tünel güzergahlarında yapılan bu çalışma ile kaya kütlesi sınıflamalarının uygulamaları yapılmış ve güzergahlarının jeolojik ve jeoteknik koşulları ortaya konularak alternatifleri karşılaştırılmıştır.

Tünel güzergahlarında kireçtaşı, andezit, bazalt, trakit, tuf, trakiandezitik cam tuf, aglomera kaya birimlerine rastlanacaktır. Bu kaya birimlerinin fiziksel, mekanik ve jeoteknik özellikleri belirlenmiştir. Buna göre andezit, bazalt ve trakit düşük-orta dayanımlı; az bozuşmuş; tıkHz kil dolgulu; orta-sağlam kayadır. Aglomera çok düşük dayanımlı; az bozuşmuş; tıkHz kil dolgulu; zayıf kayadır. Tuf çok düşük dayanımlı; orta-çok bozuşmuş; yumuşak kil dolgulu; zayıf kayadır. Kireçtaşı orta-yüksek dayanımlı; az bozuşmuş; tıkHz kil dolgulu; sağlam kayadır. Yukarıda verilen özelliklere ve yüzey gözlemine dayanarak Terzaghi, RMR ve Q sınıflamaları da en iyi ve en kötü koşullar için saptanmıştır. Bu sınıflamalarda; en kötü koşullarda bazalt, andezit, tuf, trakiandezitik cam tuf ve aglomera çok zayıf kaya; kireçtaşı ve trakit zayıf kaya; en iyi koşullarda bazalt, andezit, trakit ve aglomera orta kaya; tuf zayıf kaya; kireçtaşı iyi kaya olarak saptanmıştır.

ABSTRACT: Geological and geotechnical determination and application of rock mass classifications of alternative tunnel alignments of Işıklı Tunnel which is included in the Ankara Water Supply Project of Gerede-Çamlidere Diversion System, have been studied.

During the the tunnel excavation limestone, andesite, basalt, trachyte, tuff, trachyandesitic vitric tuff, agglomerate will be penetrated. The physical, mechanical and geotechnical properties of these rock units have been determined. According to the determinations andesite, basalt and trachyte have low-medium strength; low alteration; fleshy clay fill and is weak rock. Tuff has very low strength; medium-high alteration; soft clay fill and is hard rock. Using by these properties and field observations. Terzaghi, RMR and Q classifications have been made. As a result of rock mass classifications under the worst condition, basalt, andesite, tuff, trachyandesitic vitric tuff and agglomerate are classified as very weak; limestone and trachyte are classified as weak rock. Under the best condition, basalt, andesite, trachyte and agglomerate are classified as medium; tuff is classified as weak; limestone is classified as hard rock.

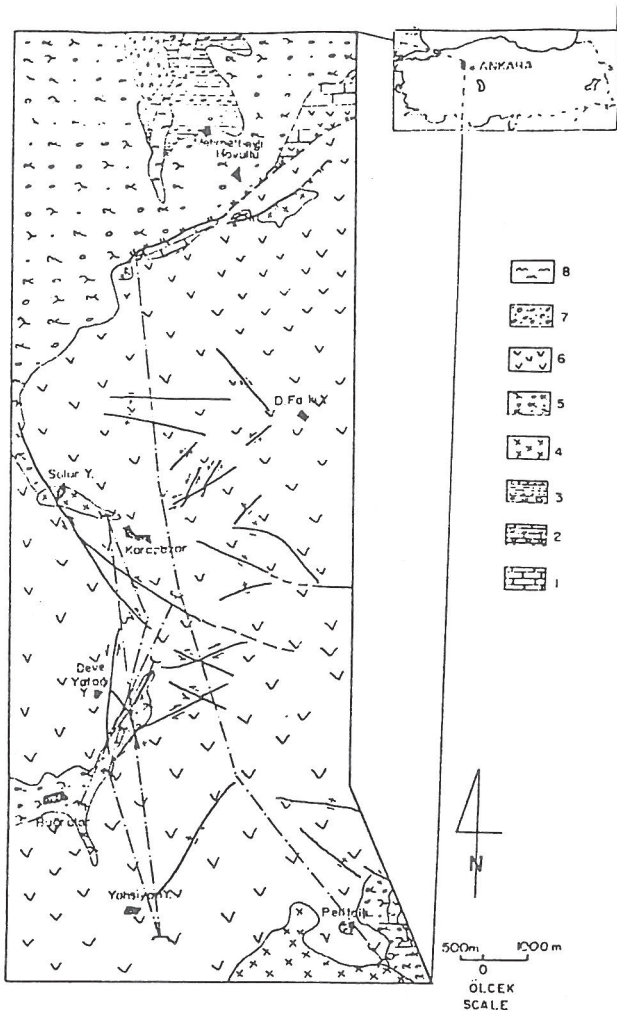
GİRİŞ

Ankara kenti Sakarya Havzası içinde yer almaktadır. Çevre havzalar ise Kızılırmak, Batı Karadeniz ve Konya Kapalı Havzalarıdır.

Günümüzde, Ankara'ya toplam 307×10^6 m³/yıl su sağlanmaktadır. İnşaatı yeni biten ve süren barajlar ile de yaklaşık 140×10^6 m³/yıl suyun Ankara'ya verilmesi planlanmaktadır. Nüfus projeksiyonlarına göre tüm bu tesisler 2002 yılına kadar yeterli olmaktadır. Bu tarihten sonra yeni kaynaklara gereksinim duyulacaktır. Bu amaçla Sakarya Havzası içerisinde yer alan Çamlidere

Barajı rezervuarına Batı Karadeniz (Filyos) Havzası içinde yer alan Gerede Havzasından su derivasyonu fikri ortaya çıkmıştır.

Her iki havza arasında derivasyona olanak veren kot farkı bulunmakla birlikte iki havzayı birbirinden ayıran Köroğlu Dağları nedeniyle tünelsiz ya da pompajsız bir derivasyon olanaksızdır. Planlanan sistemle Batı Karadeniz (Filyos) Havzasından Sakarya Havzasına 323×10^6 m³/yıl su çevrilecektir ve bu miktardaki su kentin 2020 yılına kadar olan gereksinimini karşılayacak durumdadır.



Şekil 1. Ankara Su Temin Projesi Jeoloji Haritası.
Figure 1. Geological map of Ankara Water Supply Project.

Bu amaçla, Ankara Su Temin Projesi içerisinde yer alan Gerede-Çamlıdere derivasyonu Işıkli Tüneli alternatif tünel güzergahlarının 1/25000 ve 1/5000 ölçekli jeoloji haritaları yapılmıştır.

İnceleme alanı, Batı Karadeniz Bölgesi İç Anadolu Bölgesi'nin KB kesimi içerisinde, Bolu iline bağlı Gerede ilçesi ile, Ankara iline bağlı Çamlıdere ilçesi arasında yer alır. Bu çalışmada tünel güzergahlarının jeolojik ve jeoteknik değerlendirilmesi ile kaya kütlesi sınıflamaları ve uygulanacak destekleme tiplerinin saptanması amaçlanmıştır.

GENEL JEOLJİ -

İnceleme alanında yaşlıdan gence doğru Aktaş formasyonu, Bünüş formasyonu, Hacılar formasyonu, Köroğlu volkanitleri ve Geçitler formasyonu yer almaktadır (Özgüler, 1994) (Şekil 1, 2)

Aktaş formasyonu iki fasiyeste izlenir. Her ikisi

TARİH DÖNEMİ	SİSTEM	ÜST	GRUP	FORMASYON	MİCE	KALINLIK (m)	AÇIK AMAÇLI
S	Kuvaterner	Pliosen	Kuvaterner	Alüvyon	Dol	25	İnci ve makiç çakıllı; kum, çakıllı, çakıl; yarımsu tulumlu.
				Çeçenli formasyonu	TDg	100	Yarımsu çakıllı; kum, çakıl, çakıl; yarımsu tulumlu; bağlayıcılığı azdır.
				UTUMSUZLUK			
E	T	O	K	Karapazar lavı	Tlk	200	Anlaşılır; gri, siyah, sarı, kızıl; tulumlu; taş, çakıl, çakıl; yarımsu tulumlu.
				UTUMSUZLUK			
				Samat aglomerasyonu	Tla	150	Aglomerat; lav, çakıl, çakıl; yarımsu tulumlu; kum, çakıl, çakıl; yarımsu tulumlu ve yarımsu tulumlu.
N	E	Ü	Ü	UTUMSUZLUK			
				UTUMSUZLUK			
				UTUMSUZLUK			
O	R	M	S	Salur lavı	Tls	250-300	Anlaşılır; gri, siyah, kızıl; tulumlu; taş, çakıl, çakıl; yarımsu tulumlu; bağlayıcılığı azdır.
				UTUMSUZLUK			
				UTUMSUZLUK			
Z	S	Y	O	UTUMSUZLUK			
				UTUMSUZLUK			
				UTUMSUZLUK			
I	C	A	R	Hacılar formasyonu	Tli	400	Fiy kırmızı; bezel ve bezel; kum, çakıl, çakıl; yarımsu tulumlu; bağlayıcılığı azdır.
				UTUMSUZLUK			
				UTUMSUZLUK			
K	R	E	O	Bünüş formasyonu	lb	300-400	Lav, çakıl, çakıl; yarımsu tulumlu; bağlayıcılığı azdır.
				UTUMSUZLUK			
				UTUMSUZLUK			
M	E	J	U	Aktaş formasyonu	JKa	400	10-15 cm; kalın tabaklı; koyu, sarı, kırmızı; kum, çakıl, çakıl; yarımsu tulumlu; bağlayıcılığı azdır.
				UTUMSUZLUK			
				UTUMSUZLUK			

Şekil 2. Ankara Su Temin Projesi genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.
Figure 2. Generalized Stratigraphic Colunar Section of Ankara Water Supply Project.

1. Aktaş formasyonu (Alt Eosen)
1. Aktaş formation (Upper Jurassic-Upper Cretaceous).
2. Bünüş formasyonu (Üst Eosen)
2. Bünüş formation (Lower Eosen)
3. Hacılar formasyonu (Üst Eosen)
3. Hacılar formation (Upper Eosen)
4. Salur lavı (Orta-Üst Miyosen)
4. Salur lava (Middle-Upper Miocene)
5. Samat aglomerasyonu (Orta-Üst Miyosen)
5. Samat agglomerate (Middle-Upper Miocene)
6. Karapazar lavı (Orta-Üst Miyosen)
6. Karapazar lava (Middle-Upper Miocene)
7. Geçitler formasyonu (Pliyo-Kuvaterner)
7. Geçitler formation (Plio-Quaternary)
8. Alüvyon (Kuvaterner)
8. Alluvium (Quaternary)

arasında yanal ve dikey geçiş mevcuttur. Kalın tabakalı kireçtaşları sahanın genelinde hakimdir. D'ya doğru kireçtaşı-kumtaşı araldanmalı birime geçiş gösterir (Ünlü, 1973).

Bünüş formasyonu taban çakıltaşı ile başlar ve lav-kireçtaşı araldanmasına geçilir. Kireçtaşlarının dış yüzeyi siyahımsı gri ve beyaz, taze yüzeyi grimsi ve beyazdır. Sert fakat kolay kırılır.

İnce tabakalı, yer yer laminalı olup, kırıklıdır. Lavlar genelde çatlak erüpsiyonları şeklindedir.

Hacılar formasyonu da taban çakıltaşıyla başlar. Üste doğru tane boyu inceler. Boylanma ve derecelenme izlenmez. Kumtaşları bazen ince elemanlı ve dayanımlı, bazen de kaba elemanlı, dayanımsız tabakalar halindedir.

Köroğlu volkanitleri yanal ve dikey olarak çok sık litolojik değişiklik gösterir. Genel olarak en altta Salur lavı izlenir. Bu lavlar andezit, bazalt, trakit, tuf, trakiandezitik cam tüfler şeklindedir. Alternatif güzergah seçiminde trakiandezitik cam tuf varlığı en önemli dezavantajı oluşturmaktadır. Hızlı soğuma ile oluşmuş bu birim, altta yer alan Salur lavına aittir. Üste doğru ise bloklu şekilde gelişmiş Karapazar lavı izlenir. Karapazar lavı andezit ve bazalttan oluşmuştur. İki lav arasında ise Samat aglomerası izlenir.

Geçitler formasyonu tutturulmamış, yarı tutturulmuş kum-çakıldan oluşmuş, yatay tabakalıdır.

YAPISAL JEOLJİ

İnceleme alanındaki faylar iki sistemde gelişmişlerdir. KD-GB uzanımlı birinci grup faylar daha yaşlıdır ve daha az uzanımlıdır. Birinci grup fayları dik ve dike yakın kesen ve KB-GD uzanımlı ikinci grup faylar daha gençtir, uzanımları daha fazladır. Yöredeki faylar Kuzey Anadolu Fay Kuşağına bağlı olarak değişik zamanlarda oluşmuşlardır.

Tünel açımında, gerek hava fotoğrafları (Köküöz, 1986), gerekse yüzey gözlemlerine (Özgüler, 1994) dayanarak tespit edilmiş 13 adet fayın yanısıra ardarda gelen volkanik etkinlikler sonucu örtülmüş daha birçok faya rastlanacaktır.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Genel jeoloji ve yapısal jeoloji çalışmalarından elde edilen veriler ışığında alternatif güzergahlar için jeoteknik çalışmalar da yapılmıştır. Bu amaçla sondajlar ve alternatif güzergahlarda rastlanacak kaya birimlerinin fiziksel, mekanik ve jeoteknik özelliklerinin tespitine yönelik deneyler yürütülmüştür. Jeolojik, jeoteknik tüm çalışmalara ve deney sonuçlarına dayanarak alternatifler karşılaştırılmıştır.

Alternatif 1 için açılmış kuyularda trakiandezitik cam tuf adı verilen ve suyla temasta tamamen su

Kaya birimi	Tek eksenli basınç dayanımı (tq/cm ²)	Bozuşma derecesi	Dolgu durumu	Bozuşma derecesine göre kaya sınıfı
Kireçtaşı	Orta-yüksek dayanımlı	(W2) Az bozuşmuş	(S3) Tıkız kil dolgululu	(R4) Sağlam kayac
Tuf	(33-61) Çok düşük dayanımlı	(W3-W4) Orta-çok bozuşmuş	(S2) Yumuşak kil dolgululu	(R2) Zayıf kayac
Trakit	(280-700) Düşük-orta dayanımlı	(W2) Az bozuşmuş	(S3) Tıkız kil dolgululu	(R3) Orta sağlam kayac
Bazalt	(195-840) Düşük-orta dayanımlı	(W2) Az bozuşmuş	(S3) Tıkız kil dolgululu	(R3) Orta sağlam kayac
Andezit	(100-605) Düşük-orta dayanımlı	(W2) Az bozuşmuş	(S3) Tıkız kil dolgululu	(R3) Orta sağlam kayac
Aglomera	(50-175) Çok düşük dayanımlı	(W2) Az bozuşmuş	(S3) Tıkız kil dolgululu	(R2) Zayıf kayac

Tablo 1. Işıklı Tünel alternatif güzergahlarında rastlanacak kaya birimlerinin mekanik ve jeoteknik özellikleri (ISRM, 1978).

Table 1. Mechanical and geological properties of rock units of Işıklı Tunnel alternative alignments

Litoloji	Terzaghi (en kötü-en iyi koşullarda)	RMR (en kötü-en iyi koşullarda)	Q (en kötü-en iyi koşullarda)
Bazalt	6-4	17 (Çok zayıf kaya) 50 (Orta kaya)	0.033 (Çok fazla zayıf kaya) 4.3 (Orta kaya)
Andezit	6-4	7 (Çok zayıf kaya) 50 (Orta kaya)	0.033 (Çok fazla zayıf kaya) 4.3 (Orta kaya)
Kireçtaşı	4-3	39 (Zayıf kaya) 74 (İyi kaya)	4 (Zayıf kaya) 32 (İyi kaya)
Trakit	5-4	34 (Zayıf kaya) 56 (Orta kaya)	1.01 (Zayıf kaya) 5.32 (Orta kaya)
Tuf	9-7	3 (Çok zayıf kaya) 21 (Zayıf kaya)	0.00125 (Son derece zayıf kaya) 0.01 (Çok fazla zayıf kaya)
Trakiandezitik cam tuf	9	3 (Çok zayıf kaya)	0.00125 (Son derece zayıf kaya)
Aglomera	7-4	7 (Çok zayıf kaya) 49 (Orta kaya)	0.016 (Çok fazla zayıf kaya) 4.3 (Orta kaya)

Tablo 2. Işıklı Tüneli alternatif güzergahlarında rastlanacak kaya birimlerinin kaya kütlesi sınıflamaları.

Table 2. Rock mass classifications of rock units of Işıklı Tunnel alternative alignments.

içerisinde dağılan, X Ray analizlerine göre : 50-%100 oranında montmorillonit içeren bir birime rastlanmıştır. Sondajlardan elde edilen bu birime ait karot örnekleri suyunu kaybettiğinde oldukça sert, sağlam görünüşlüdür. Ancak suyla ikinci kez temasta tamamen dağılmaktadır (Taner, 1993).

Tüm kaya birimlerinin fiziksel, mekanik ve jeoteknik özellikler şöyle belirlenmiştir; Andezit, bazalt ve trakit düşük-orta dayanımlı; az bozuşmuş; tıkız kil dolgululu; orta-sağlam kayadır. Aglomera çok düşük dayanımlı; az bozuşmuş; tıkız kil dolgululu; zayıf kayadır. Tuf çok düşük dayanımlı; orta-çok bozuşmuş; yumuşak kil dolgululu; zayıf kayadır. Kireçtaşı orta-yüksek dayanımlı; az bozuşmuş; tıkız kil dolgululu; sağlam kayadır (Tablo 1).

Deneylerden elde edilen veriler ve gözlemler kullanılarak Terzaghi, RMR ve Q sınıflamaları yapılmıştır. Tüm bu sınıflamalara göre kaya birimleri-

Birim Uzalı	En kötü koşullar	En iyi koşullar
Andezit	4 m uzunlukta, 1-1.5 m aralıklı, tel kafes takviyeli, gerdimersiz sistematik bulunlana. 15 cm kalınlıkta püskürtme betonu. Gerekli yerlerde 0.75 m aralıklı orta veya ağır çelik iksa.	Tavanda 3 m uzunlukta, 2.5 m aralıklı, gerdimersiz sistematik bulunlana. Gerekirse 5 cm püskürtme betonu. Duvarda ise destek gerekmez.
Kireçtaşı	5 m uzunlukta, 1-1.5 m aralıklı, tel kafes takviyeli, gerdimersiz sistematik bulunlana. 10 cm kalınlıkta püskürtme betonu. Gerekli yerlerde bulun yerine 1.5 m aralıklı çelik iksa.	Tavanda 3 m uzunlukta, 2.5 m aralıklı, gerdimersiz sistematik bulunlana. Gerekirse 5 cm püskürtme betonu. Duvarda ise destek gerekmez.
Trakit	5 m uzunlukta, 1-1.5 m aralıklı, tel kafes takviyeli, gerdimersiz sistematik bulunlana, 10 cm kalınlıkta püskürtme betonu. Gerekli yerlerde bulun yerine 1.5 m aralıklı çelik iksa.	Tavanda 3 m uzunlukta, 2.5 m aralıklı, gerdimersiz sistematik bulunlana. Gerekirse 5 cm püskürtme betonu. Duvarda ise destek gerekmez.
Trakiandezitik cam tuf	6 m uzunlukta, 0.5 m aralıklı, tel kafes takviyeli, gerdimeli, şerbeli sistematik bulunlana. 50 cm kalınlıkta püskürtme betonu. Gerekli yerlerde 0.75 m aralıklı orta veya ağır çelik iksa.	6 m uzunlukta, 0.5 m aralıklı, tel kafes takviyeli, gerdimeli, şerbeli sistematik bulunlana. 50 cm kalınlıkta püskürtme betonu. Gerekli yerlerde 0.75 m aralıklı orta veya ağır çelik iksa.
Tuf	4 m uzunlukta, 0.5 m aralıklı, tel kafes takviyeli, gerdimeli, şerbeli sistematik bulunlana. 20 cm kalınlıkta püskürtme betonu. Gerekli yerlerde 0.75 m aralıklı orta veya ağır çelik iksa.	4 m uzunlukta, 1-1.5 m aralıklı, tel kafes takviyeli, gerdimersiz sistematik bulunlana. 10 cm kalınlıkta püskürtme betonu. Gerekli yerlerde bulun yerine 1.5 m aralıklı çelik iksa.
Aglomera	4 m uzunlukta, 0.5 m aralıklı, tel kafes takviyeli, gerdimeli, şerbeli sistematik bulunlana. 20 cm kalınlıkta püskürtme betonu. Gerekli yerlerde 0.75 m aralıklı orta veya ağır çelik iksa.	Tavanda 3 m uzunlukta, 2.5 m aralıklı, gerdimersiz sistematik bulunlana. Gerekirse 5 cm püskürtme betonu. Duvarda ise destek gerekmez.

Tablo 3. Işıklı Tüneli alternatif güzergahlarında rastlanacak kaya birimleri için birleştirilmiş destek önlemleri.

Table 3. Combined support system for rock units of Işıklı Tunnel alternative alignments.

nin en kötü ve en iyi koşullarda kaya kütleleri sınıfları belirlenmiştir : (Bieniawski, 1979, 1989), (Barton ve diğ., 1974).

Buna göre en kötü koşullarda : bazalt, andezit, tuf, trakiandezitik cam tuf ve aglomera çok zayıf kaya : kireçtaşı ve trakit zayıf kaya : en iyi koşullarda : bazalt, andezit, trakit ve aglomera orta kaya : tuf zayıf kaya; kireçtaşı iyi kaya olarak saptanmıştır (Tablo 2).

SONUÇLAR

Işıklı Tüneli alternatif tünel güzergahlarında yapılmış jeolojik, jeoteknik tüm çalışmalara ve laboratuvar deney sonuçlarına dayanarak alternatifler karşılaştırılmıştır. Jeoteknik açıdan alternatifler arasında yapılan karşılaştırmalı irdelemeler ile şu sonuçlara varılmıştır:

Alternatif 1 e ait tünelin ilk 3 km si içerisinde rastlanacak killeşmiş trakiandezitik cam tuf biriminin yer yer

tamamen yer yer de % 50 den fazla montmorillonit grubu kil içerdiği, suyunu kaybedince sertleşip, ikinci kez suyla temasta suda tamamen dağıldığı, suya doygunluk açısından şu an dengede olan birimde tünel kazısı ile boşluğa doğru şişme olasılığının yüksek olduğu ortaya konmuştur. Bulunan destek tipi ve kazı şekli oldukça pahalı ve zaman alıcıdır (Kovari, 1991) (Taner, 1993). Ankara'ya su sağlanması söz konusu olduğu için, zaman yönünden kısıtlamalar vardır. Bunun yanı sıra ilk 9 km lik kesimden başka sondajlı çalışma yapılmamıştır, diğer kesimlerde de aynı birime rastlama lasılığı oldukça fazladır. Optimizasyon çalışmalarında tünel boyu kısaltıkça pompaj ve işletme maliyetlerinin artacağı, tünel boyu uzadıkça ise düştüğü ortaya konmuştur. Ancak en uzun, pompaj ve işletme maliyetleri açısından en ucuz görülen Alternatif 1 e ait tünel yukarıda belirtilen sonuçlara göre zaman ve tünel açım maliyeti açısından ek yükler getirecektir. Bu nedenle Alternatif 1 e ait tünel jeolojik, jeoteknik, zaman ve maliyet faktörleri gözönüne alınırsa açma uygun değildir.

Jeolojik araştırmalara dayanarak daha üst kotlardan açılacak bir tünelde Karapazar lavına ait bloklu lavlara rastlama olasılığının yüksek olacağı sonucuna varılmıştır (Taner, 1992). Bu nedenle yüksek pompajlı alternatifler denilen ve daha üst kotlardan açılacak tünellerin araştırmaları yapılmıştır.

Sondajlı araştırmalarda Salur lavına ait trakiandezitik cam tuf birimine rastlanmamış ve karotlar göreceli olarak tünel açımına daha uygun çıkmıştır. Yüksek pompajlı alternatifler olarak adlandırılan Alternatif 2 a ve b. 3 ve 4 e tüneller jeolojik olarak açma uygundur.

Tünel boyu uzadıkça işletme ve pompaj maliyetleri düşmektedir. bu nedenle jeolojik ve jeoteknik olarak açma uygunluğu belirtilen Alternatif 2 a ve b ye ait tüneller daha düşük işletme ve pompaj maliyetine sahip oldukları için Alternatif 3 ve 4 e göre daha ekonomiktir.

DEĞİNİLEN BELGELER

Barton, N., Lien, R., ve Lunde, J., 1974, Engineering Classification of Rock Masses For The Design of Tunnel Support, Rock Mechanics, 6, 4, 183-236, Springer - Verlag.

Bieniawski, Z. T., 1979, Tunnel Design By Rock Mass Classification, US Army Eng. Waterways Experiment Station, Technical Report, 79-19.

I.S.R.M., 1981, Basic Geotechnical Description of Rock Masses, Int. 1, Rock Mec. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 18, 85-110 p, Great Britain.

Kovari, K., 1991, Işıklı Tünel Feasibility Report, DSİ Rapor, Ankara.

Köküöz, E., 1986, Işıklı Tüneli Fotojeoloji Raporu, DSİ Rapor, Ankara.