

KENTSEL KULLANIM ALANINDA GELİŞEN HEYELANLAR VE JEOTEKNİK ANALİZİ: KIRKDEĞİRMENLER (ERZURUM) ÖRNEĞİ

Hamit ÇAKICI^a, Şule TÜDEŞ^b, Fikri BULUT^a

^a Atatürk Üniversitesi, Deprem Araştırma Merkezi Müdürlüğü, 25170, Palandöken-Erzurum

^b Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dekanlığı, 06570, Maltepe-Ankara

hcakici@atauni.edu.tr, studes@gazi.edu.tr, fbulut@ktu.edu.tr

(Geliş/Received: 15.03. 2011 ; Kabul/Accepted:14.08.2012)

ÖZET

Kentsel yerleşim alanlarında gelişen kütle hareketleri yaşayan nüfus için, can kaybı ve maddi hasara yol açabilen önemli bir jeorisk oluşturur. Bu sebeple, aktif ve pasif heyelan alanları belirlenmeli, bu alanların jeoteknik incelemeleri ve duraylılık analizleri gerçekleştirilerek alınacak önlemler tespit edilmelidir. Ayrıca arazi kullanım kararları verilirken heyelanlı sahalara, açık ve yeşil alanlar dışında kentsel yapılaşma izni verilmemelidir. Bu bağlamda Erzurum Kenti Kırkdeğirmenler Mahallesi'ndeki potansiyel ve aktif heyelan sahalarının, jeoteknik açıdan incelemesi ve duraylılık analizleri yapılmıştır. Çalışma alanı ve çevresindeki 20 km² lik bir alanın 1/10.000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası yapılmış, ayrıca yapılan sondaj ve laboratuvar jeoteknik deneyleri ile malzemelerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. K1, K2, K3 ve K4 no'lu heyelanların geliştiği yamaçların 1/1000 ölçekli topoğrafik haritaları arazi çalışmalarıyla hazırlanmış ve jeolojik birimler hazırlanan harita üzerine işlenerek jeolojik kesitler çıkarılmıştır. Araziden alınan zemin örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile yamaç molozunun fiziksel ve mekanik özellikleri; Efektif içsel sürtünme açısı (ϕ°) 37.5°-42.5°, Efektif kohezyonu (c') 0.1-0.38 kg/cm², Maksimum kuru birim hacim ağırlık 1.67-2.05 g/cm³, Doygun birim hacim ağırlık 1.90-2.23 g/cm³, Doğal birim hacim ağırlık 1.66-2.05 g/cm³, Kuru birim hacim ağırlık 1.57-2.0 g/cm³, Tane birim hacim ağırlığı (γ_s) 2.37-2.60 g/cm³, Permeabilite katsayısı 2×10^{-4} - 3.1×10^{-4} cm/s, olarak belirlenmiş ve ayrıca dane dağılım deneyleri yapılmıştır. Yamaçların hazırlanan jeolojik kesitlerinde, geçirilen deneme kayma yüzeylerine göre malzemenin belirlenen jeoteknik özellikleri de kullanılarak Fellenius, Bishop, Janbu ve Hoek-Bray yöntemleri aracılığı ile güvenlik katsayıları belirlenmiş ve hesaplanan değerlere göre K1, K2 ve K4 no'lu yamaçların duraysız oldukları K3 no'lu yamacın ise duraysızlığa yakın durumda olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Erzurum Kenti, jeoteknik özellikler, yamaç duraylılık analizleri

GEOTECHNICAL ANALYSIS OF THE LANDSLIDES DEVELOPING IN THE URBAN USAGE AREA: CASE STUDY KIRKDEĞİRMENLER (ERZURUM)

ABSTRACT

The mass movements developed at urban settlement areas are substantial georisks for the population by giving way to loss of lives and material damages. For this reason active and passive landslide areas should be defined and necessary measures should be taken by realizing geotechnical analysis and stability analysis of the areas. For landslide-prone areas, construction and housing should not be allowed except for the land-use purposes of open and green space. In this context, the researches and stability analysis have been made in terms of geotechnical points at the potential and active landslide areas at Kırkdeğirmenler Mahallesi in Erzurum province. By making engineering geology map in 1/10.000 scale of an area of 20 km² at the reasearch area and surrounding it the engeering characteristics of the outcropped units have been defined. Topographical maps in 1/1000 scale of the slopes on which the landslides No. K1, K2, K3 and K4 have been developped and by processing the geological units on the map the geological sections have been made. By laboratory tests that have been made on the

samples taken from the land the physical and mechanical characteristics of the slope rubble, effective internal friction angle (ϕ') 37.5° - 42.5° , effective cohesion (c') 0.1 - 0.38 kg/cm^2 , maximum dry unit weight 1.67 - 2.05 g/cm^3 , saturated unit weight 1.90 - 2.23 g/cm^3 , natural unit weight 1.66 - 2.05 g/cm^3 , dry unit weight 1.57 - 2.0 g/cm^3 , specific gravity of solids (γ_s) 2.37 - 2.60 g/cm^3 , permeability coefficient 2×10^{-4} - 3.1×10^{-4} cm/s have been defined and grain size distribution tests have been made as well. By way of Fellenius, Bishop, Janbu and Hoek-Bray methods, safety coefficient has been defined by using geotechnical characteristics of the materials according to the testing sliding surfaces and according to the values calculated the slopes no K1, K2 and K4 have been fixed as unstable and the slope no K3 been stable.

Key words: Erzurum town, geotechnical characteristics, slope stability analysis.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

(Erzurum ili Kırkdeğirmenler mahallesi ve çevresindeki alanın jeolojik haritası yapılarak, yüzeylenen birimlerin mühendislik jeolojisi özellikleri belirlenmiş ve yamaçların büyük ölçekli topografik haritalarının üzerine jeoloji haritası işlenerek bölgedeki ilk heyelan çalışmalarından biri olmuştur. Yamaçların mühendislik özelliklerinin belirlenmesiyle, gelecekte kış turizm alanlarından biri olacak olan bölgede, heyelanların önemi ve alanın jeolojisine dikkat çekilmesi amaçlanmıştır.)

Heyelan, dağlık bölgelerde eğimli yamaçlardaki büyük toprak kütlelerinin veya kayaların yerçekimi, eğim, su, iklimsel faktörler, tektonizma, ayrışma gibi olayların etkisiyle yamaç aşağı kaymasıdır [1]. Kitle hareketlerini tetikleyen başlıca faktörler yerçekiminin yanı sıra, kayan malzemenin jeolojisi, yağışlar, erozyon, deprem ve bitki örtüsü yoksunluğu olarak sıralanabilir. Heyelan tehlikesinin belirlenmesinde ve gelecekte oluşabilecek heyelanların tahmin edilebilmesinde limit gerilme ve denge analizleri doğru sonuçlar vermektedir [2].

Her yıl yaklaşık 78 milyon insan dünya nüfusuna eklenir (UNFPA; Birleşmiş milletler nüfus fonu). Yüksek tehlike içeren alanlarda, artan nüfus yoğunluğu ile, heyelan ve ilişkili olaylar oransal olarak artacaktır. Bu heyelanların süreçlerinden doğan riskleri elimine etmek ve azaltmak çok zordur. Bu gibi doğal olayların karakterini daha iyi anlamaya ve daha tahmin edici araçlar geliştirmeye acil ihtiyaç vardır.

Yoğun yağışlar, sismisite, yer altı su seviyesinde yaşanan değişimler, erozyon, iklim, ayrışma gibi süreçler, topoğrafyası keskin alanlarda heyelanları tetikleyici doğal parametreleri oluşturur. Bu etkiler kayma gerilmesini artırır veya yamaç malzemesinin kayma direncini düşürür [3]. Heyelanı tetikleyen diğer önemli parametre kentsel faaliyetlerdir. Nüfusun artması ve yeni yaşam alanları oluşturmak gayesi zaman zaman insanları jeolojik tehlike arzeden yamaçlara yerleşmeye zorlamıştır. Yamaçlarda gelişen kentleşmenin getirdiği, konut, ticaret, sosyal donatı vb alanların yaratılması ve alt yapı faaliyetleri gerçekleştirilmesi gibi kentsel kullanımların hayata geçirilmesi duraylılığı bozabilmekte ve heyelanları tetikleyen insan aktivitelerini oluşturmaktadır.

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, dağlık alanlardaki arazi topolojiye uygun olarak kullanılmamakta ve yanlış arazi kullanımı heyelan gelişme olasılığını arttırmaktadır. Bu sebeple, ilgili alanın fiziksel çevresi, değişimi ve verimliliği açısından sürdürülebilirlik sağlanamamaktadır.

Global ölçekte her yıl yüzlerce yaşam kayıplarına sebep olan, yarattıkları maddi hasar ise milyonlarca doları bulan heyelanlar dünyada olduğu gibi Türkiye’de de en önemli jeotekniklerden birisidir [3]. Ülkede son yıllarda gelişen önemli heyelanlar, araştırmacılar [4] tarafından farklı yöntem ve metodlarla araştırılmakta ve jeoteknik karakterleri ve oluşum süreçleri belirlenmektedir.

Benzer jeoteknik şartlara sahip alanlar için araştırmacıların iki temel teorisi vardır [5]. Birisi, heyelanlar, geçmişte olduğu gibi aynı jeolojik, jeomorfolojik, hidrojeolojik, iklimsel şartlarda oluşurlar. Bir diğeri ise, heyelanların tipleri ve özellikleri de aynı olacaktır. Bundan dolayı geçmiş heyelanların mekanizmasını ve özelliklerini bilmek, gelecekte, komşu bölgelerde veya jeoteknik olarak benzer alanlarda gelişebilecek heyelanları değerlendirmek için önemli bir klavuzdur.

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, dağlık alanlardaki arazi topolojiye uygun olarak kullanılmamakta ve yanlış arazi kullanımı heyelan gelişme olasılığını arttırmaktadır. Bu sebeple, ilgili alanın fiziksel çevresi, değişimi ve verimliliği açısından sürdürülebilirlik sağlanamamaktadır. Heyelanların sebep olduğu veya olabileceği ekonomik ve sosyal kayıpların, can kayıplarının en aza indirilebilmesi için yamaçların jeolojik ve jeoteknik analizinin detaylı araştırılması gereği vardır. Bu bağlamda, Erzurum (Şekil 1) kentsel kullanım alanı içerisinde, kentin güneyinde ve merkeze 8 km mesafede olan Kırkdeğirmenler Mahallesi’nde gelişen heyelanların bulunduğu yamaçların jeoteknik özellikleri incelenerek duraylılık analizleri 4 farklı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Palandöken kış turizmi projesi kapsamında kentsel kullanıma açılacak olan çalışma alanı ve çevresini kapsayan 20 km^2 ’lik alanda $1/10.000$ ölçekli mühendislik jeolojisi haritası arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda hazırlanmış ayrıca kutupsal koordinat sistemi kullanılarak arazi çalışmalarıyla her dört yamaca ait topografik harita oluşturulmuştur.

Yamaç molozları, Kırkdeğirmen Deresinin güneyinden (Şekil 2) çalışma alanı sınırına kadar uzanır. Arazi gözlemleri ile yamaç molozlarının spilitik bazalt lavlardan oluştuğu belirlenmiştir. Kalınlıkları son derece değişkendir [11]. Arazide yamaç eğiminin azaldığı yerlerde nispeten daha az mostra verirler [12].

3. ARAZİ İNCELEMELERİ VE ZEMİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ (FIELD STUDY AND GEOTECHNICAL PROPERTIES OF THE SOIL)

Arazi Çalışmaları (Field Study)

Andezitik-Bazaltik lavlardan oluşan, ve lav üyesi olarak adlandırılan (İmik, Timur ve Kocaman) Palandöken Volkanitlerinin mikroskobik incelemesinden bazaltların spilitik bazalt olduğu tespit edilmiştir. Arazide yaklaşık 12 km²'lik alan kaplayan volkanitler çatlak sistemlerine bağlı olarak değişik derecelerde ayrılmıştır. Çalışma alanının Kırkdeğirmenler mevkinin kuzeydoğu kesiminde ve güneybatıdaki Kireçlinin Sırtlarında kayacın orta derecede ayrılmış olmasından dolayı ayrışmanın kaya içine doğru önemli derecede ilerlediği ve büyük parçaların direncinin fazla olduğu, kaya oranının % 50-90 arasında değiştiği gözlenmiştir. Buradaki kayaların çatlak yüzeylerinde kahverengi ve siyahimsi renk hakimdir [13]. Çalışma alanının Kible, Mezarlık tepe, Kırkdeğirmen deresi (Şekil 2) boyunca uzanan vadide orta derecede ayrılmış kısımdan, yüksek derecede ayrılmış ve tamamen ayrılmış kesime doğru bir geçiş görülmektedir. Bu kesimlerde ayrılmış kesimin üzerine yamaç molozlarının geldiği görülmüştür.

Eski Alüvyonlar inceleme alanında Kırkdeğirmenler mahallesinden başlayıp kuzeye doğru yelpaze şeklinde bir yayılıma sahip olup, DSİ tarafından 350 m' ye kadar yapılan sondajlarda eski alüvyonun devam ettiği belirlenmiştir [9]. Boyutları orta ve iri arasında değişen çakıllar genellikle yuvarlak olup az köşelidir.

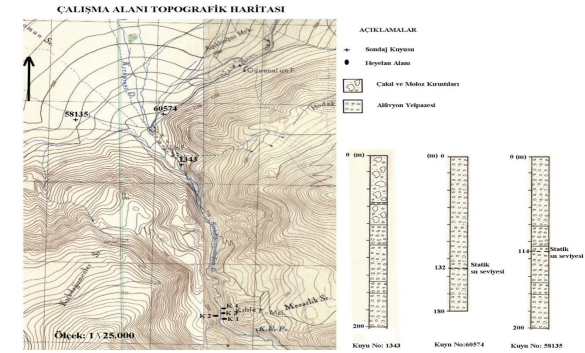
İnceleme alanında Kırkdeğirmenler Mahallesi'nden başlayıp Evren Mahallesi (Şekil 2) güneyine kadar gözlenen yeni alüvyon birikintilerinin yüzeylemeleri kahverenkli. Bu kısım genel olarak siltli toprak ile kaplı olup bazı kesimleri ise kumlu çakıllı ve killi zonlardan ibarettir. DSİ tarafından 350 m' ye kadar yapılan sondajlarda yeni alüvyonun devam ettiği belirlenmiştir [9].

Yamaç Molozları, inceleme alanında Kırkdeğirmen Deresinin güneyine doğru, yerleşmiştir. Tane boyları iri çakıl ile iri kum arasında değişir.

Boylanma ve derecelenme görülmeyen molozların kalınlıkları 10-35 m arasında değişir [9]. Yamaç molozlarında görülen aktif ve potansiyel heyelan sahaları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

3.1. Jeoteknik Özellikler (Geotechnical Properties)

Aktif ve potansiyel heyelan alanlarında yüzeylenen zeminlerin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde Türk Standartları (TS 1900) [14] ve Amerikan Standartları (ASTM 3080) [15] esas alınmıştır. İnceleme alanındaki heyelanların ve burada yapılan sondajların içeriklerinin gösterimi Şekil 3 te verilmiştir. 1343 nolu kuyu 1958 de, 58135 nolu kuyu 2003'de 60574 nolu kuyu ise 2009 yılında açılmıştır.



Şekil 3. İnceleme alanının topografik haritası ve DSİ tarafından açılan kuyular (Topographical map of the study area and the wells drilled by General Directorate of State Hydraulic Works)

İnceleme alanındaki heyelanlı bölgelerde yamaç molozunun ince taneli kısımlarından örselenmemiş ve örselenmiş örnekler alınmıştır. Örselenmiş örnekler üzerinde yapılan deneylerde dane dağılım eğrileri, dane birim ağırlık ve kıvam limitleri elde edilmiştir. Örselenmemiş örnekler üzerinde ise kesme kutusu deneyleri yardımı ile örnekler için efektif kohezyon (c') ve efektif kayma direnci açısı (ϕ°) bulunmuştur. Kesme Kutusu deneyinde kullanılan örselenmemiş zemin örnekleri TS 1901 [16] e göre alınmıştır. Ayrıca bu deneylerin yapımı esnasında malzemenin birim hacim ağırlığı, sıkışma miktarı ve boşluk oranı belirlenmiştir.

Plastik ve likit limit deneylerinde elde edilen sonuçlar her bir örnek için Tablo 1'de verilmiştir. Leonard (1962)'in [17] sınıflamasına göre K1 ve K4 no'lu heyelanın içinde olduğu yamaç molozu az plastik ve plastik değil grubundadır, K2 ve K3 nolu heyelanın olduğu yamaç molozunun ise aynı değerlendirmeye az plastik olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Heyelanlı yamaçlardan alınan örnekler üzerinde yapılan geoteknik deneylerden elde edilen sonuçlar (Results which are obtained from the geotechnics experiments that are conducted on the examples from landslided slope)

Örnek no	Örnekleri n alındığı Kot (m)	Wopt %	c' (kg/cm ²)	φ'	L ₁ (%)	P ₁ (%)	Ip (%)	γ _s g/cm ³	Birleştirilmiş Zemin sınıflaması	γ _{doğgun} g/cm ³	γ _{doğal} g/cm ³	γ _{kuru} g/cm ³
K11	2275	15,9	0,37	40	28,0	18,0	10,0	2,37	SP (Kum ve çakıllı kum)	1,92	1,68	1,58
K12	2214	12,9	0,10	42,50	15,0	14,0	10,0	2,50	SW (Kum ve çakıllı kum)	1,94	1,67	1,57
K13	2258	10,8	0,30	42,50	26,0	18,0	8,0	2,49	SW-SC (Kum ve çakıllı kum,Siltli kum)	2,09	1,89	1,82
K21	2215	19,0	0,12	41	20,0	13,0	7,0	2,41	SW (Kum ve çakıllı kum)	2,01	1,81	1,73
K22	2250	15,8	0,38	40,50	28,0	18,0	9,0	2,37	SP-SC (Kum ve çakıllı kum, Siltli kum)	1,92	1,68	1,58
K31	2240	12,3	0,20	42	23,0	14,0	10,0	2,59	SP (Kum ve çakıllı kum)	2,23	2,10	2,00
K32	2225	13,8	0,15	37,50	36,0	25,0	11,0	2,44	GW (Çakıl, Çakıl kum karışımları)	2,14	2,05	1,93
K41	2160	13,9	0,35	42,0	32,0	20,0	11,0	2,60	SP (Kum ve çakıllı kum)	2,16	1,99	1,88
K42	2180	15,9	0,36	39,50	29,0	19,0	10,0	2,37	SP (Kum ve çakıllı kum)	1,90	1,67	1,58
K43	2215	12,8	0,11	41,50	14,0	14,0	10,0	2,50	SW (Kum ve çakıllı kum)	1,93	1,66	1,57

Tablo 2. Proktor ve permeabilite deney sonuçları (Proctor and permeability test results)

Örnek no	K11	K12	K13	K21	K22	K31	K32	K41	K42	K43
γ _{k max} g/cm ³	1,68	1,89	1,93	1,93	1,67	2,05	1,98	1,90	1,69	1,88
W _{opt} %	15,9	12,9	10,8	19,0	15,8	12,3	13,8	13,0	15,9	12,8
Permeabilite (k) (cm/s)	5,63*10 ⁻⁴	13*10 ⁻⁴	2*10 ⁻⁴	24,4*10 ⁻⁴	5,65*10 ⁻⁴	16*10 ⁻⁴	31,8*10 ⁻⁴	13,3*10 ⁻⁴	5,62*10 ⁻⁴	13,1*10 ⁻⁴

Zeminlerde atterberg limitlerinin zemin tane yüzeyine çekilen su ile ilişkili olduğu ilkesinden yola çıkarak tane boyutu küçüldükçe özgül yüzeyin toplam hacme oranı artacağından zemindeki su içeriği, kil oranından önemli ölçüde etkilenecektir. Zeminin içindeki kil yüzdesine göre değerlendirildiğinde zemin örnekleri kohezyonsuz veya az kohezyonlu özellik göstermektedir.

Heyelanların bulunduğu sahalardan alınan örnekler üzerinde yapılan deneylerle elde edilen tane birim hacim ağırlıkları Tablo 1'de gösterilmiştir. Tane boyutuna göre zemin cinslerinin belirlenebilmesi için, dane dağılım deneyi gerçekleştirilmiş ve sonuçları değerlendirilerek birleştirilmiş zemin sınıflamasındaki adları ve yerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Zeminin geçirgenliğini tespit etmek amacıyla sabit seviyeli geçirimsizlik deney aleti kullanılmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesiyle zeminin geçirimsizlik derecesi tesbit edilmiştir (Tablo 2). Tablo 2 incelendiğinde K1, K2, K3 ve K4 nolu yamaçların geçirimsiz zemin sınıfına girdiği görülmektedir.

Heyelanlı sahalardan alınan zemin örnekleri üzerinde yapılan Proktor deneyleri sonucunda elde edilen γ_{k max} ve W_{opt} değerleri Tablo 2 de verilmiştir. Bu deneyle birlikte zemindeki optimum su muhtevası ve

maksimum kuru birim hacim ağırlık belirlenerek, yamaçların duraylılık hesaplamalarında kullanılmaktadır. Doğal bir şevin stabilitesini sıkıştırma parametreleri etkilemez. Çünkü bu parametreler istenilen şekilde sıkıştırılan zemine ait parametrelerdir. Yapay şevlerde sıkıştırma parametreleri doğrudan kullanılır. Doğal bir şevde heyelan tehlikesi varsa, sıkıştırma yapılması durumunda bu parametreler kullanılarak stabilize analizleri karşılaştırılır. Heyelan tehlikesine karşı alınacak önlemlerde şev önüne sıkıştırılmış dolgu yapılabilir veya şevde kademeli şev eğimi yapılabilir.

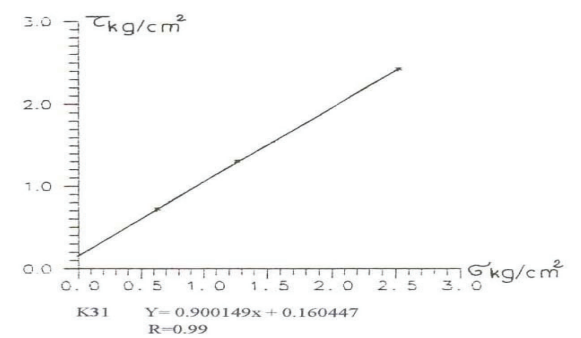
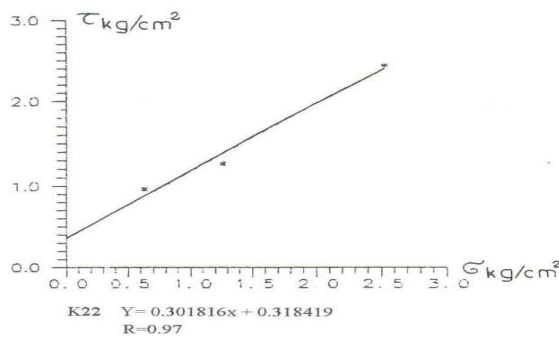
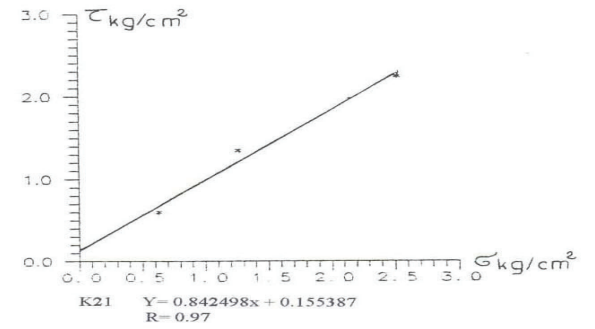
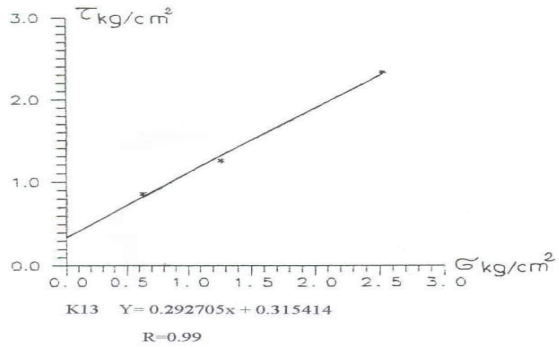
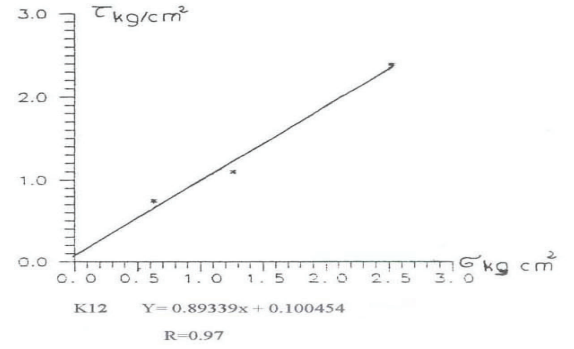
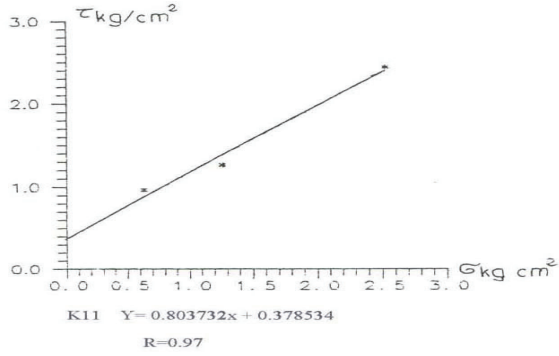
Aynı zamanda doğal zemin bir miktar kazılarak tekrar sıkıştırma parametrelerine göre sıkıştırılır. Bu durumda stabilize analizlerinde sıkıştırılmış zemine ait parametreler kullanılabilir.

Dört ayrı yamacın farklı noktalarından alınan örneklerin, kayma direnci parametrelerini belirleyebilmek için kesme kutusu deneyi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonunda c' ve φ' değerleri bulunmuştur. Ayrıca Tablo 3 de Heyelanların güvenlik katsayısı değerlerinin Fellenius, Bishop ve Jambu ya göre hesaplanması verilmiştir. Fellenius yöntemi; Bu metod da kayma yüzeyi dairesel silindriktir. Kayan kütle mümkün olduğu kadar eşit aralıklarda dilimlere ayrılır [18]. Dilimler arası kuvvetlerin aynı doğrultuda fakat zıt

Tablo 3. Kırkdeğirmenler yerleşim biriminde gelişen heyelanların, Fellenius, Bishop ve Janbu yöntemleriyle hesaplanan güvenlik katsayısı değerleri (Safety factor values obtained from Fellenius, Bishop and Janbu techniques of the landslides occurred in Kırkdeğirmenler settlement)

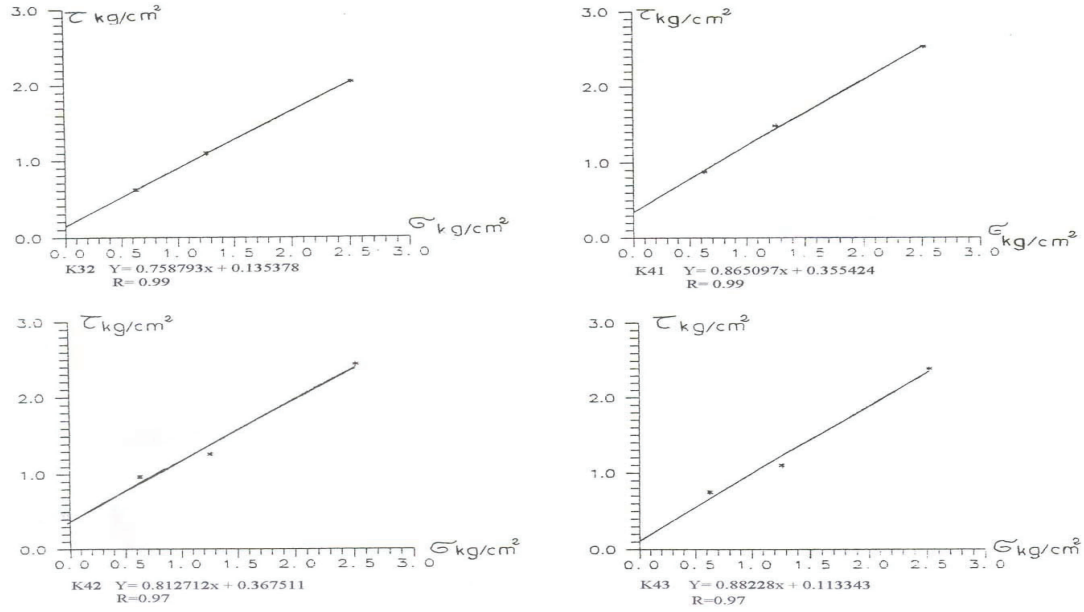
Heyelan no	K1				K2				K3				K4				
Yöntem adı/Örnek No	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Fellenius	γ_k	1,290	1,200	1,342	1,345	1,341	1,442	1,684	2,423	2,130	2,351	2,781	2,423	1,320	1,350	1,480	1,530
	γ_d	1,263	1,185	1,310	1,316	1,322	1,413	1,632	1,466	2,120	2,330	2,698	2,385	1,300	1,330	1,440	1,490
Bishop	γ_k	1,348	1,249	1,374	1,373	1,350	1,458	1,746	1,591	2,161	2,394	2,847	2,498	1,346	1,402	1,550	1,620
	γ_d	1,320	1,222	1,331	1,466	1,330	1,418	1,634	1,543	2,144	2,346	2,757	2,453	1,325	1,381	1,490	1,578
Janbu	γ_k	1,352	1,247	1,379	1,372	1,352	1,456	1,750	1,584	2,152	2,391	2,845	2,497	1,345	1,410	1,548	1,624
	γ_d	1,325	1,225	1,336	1,327	1,328	1,417	1,635	1,537	2,134	2,345	2,758	2,450	1,326	1,390	1,481	1,580

Şekil 4. Heyelanların geliştiği zeminlere ait normal gerilme (σ kg/cm²), kesme gerilmesi (τ kg/cm²) grafikleri (Normal stress (σ kg/cm²) and shearing stress (τ kg/cm²) graphics of the landslided surfaces)



yönde ve birbirine eşit olduğu kabul edilirse, bunlar analizde hesaba girmezler [19]. Geride sadece dilim ağırlığı, zemin reaksiyonu, kohezyon, sürtünme mukavemeti ve varsa, sızıntı kuvvetleri ile dilim

dengededir [20]. Kısmen suya doymun zeminlerde drenajsız koşullarda yapılan dayanım testleriyle tayin edilen kırılma zarfı bir noktadan sonra normal gerilim eksenine paralel olmaz ve zemin hem kohezyonlu



Şekil 4'ün devamı: Heyelanların geliştiği zeminlere ait normal gerilme (σ kg/cm²), kesme gerilmesi (τ kg/cm²) grafikleri (Normal stress (σ kg/cm²) and shearing stress (τ kg/cm²) graphics of the landslided surfaces)

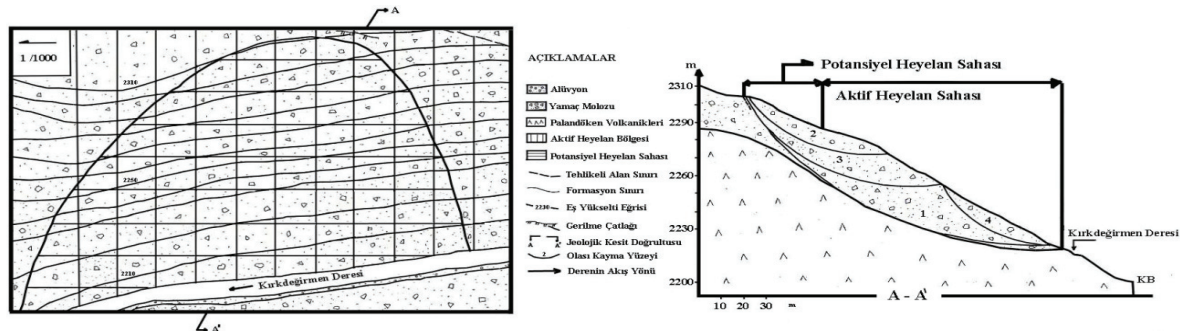
hem de içsel sürtünmeli olarak davranır [21]. Toplam gerilim analiz yöntemi, bu koşulda kapsayacak şekilde ve kayan kütle belirli sayıda düşey dilimlere ayrılarak stabilitenin incelenmesi amacıyla uygulanabilmektedir [22].

Bishop metodu; Bütün stabilite problemlerinde olduğu gibi bu metot ta' da başlangıç kayması bir postula olarak alınmakta ve şev limit dengedeymiş gibi kabul edilerek denge denklemleri çıkartılmaktadır [18], Bishop, toplam gerilme yerine efektif gerilmelerle analizi yapmaktadır [19]. Bu haliyle metot Taylor ve Fellenius'un getirdiği metotlardan daha ileridir [20]. Janbu Metodu; Bu yöntem dairesel olsun olmasın her tipteki kayma yüzeyi için kullanılabilir [19]. Şev stabilite analizlerinde homojen yarma ve dolgularda meydana gelen dairesel kaymalarla, dairesel olmayan daha genel tipteki kaymaların stabilite analizleri için dilimler arası kuvvetleride göz önüne alan bir metottur [22]. Herhangi bir şevdeki zeminin, çok zayıf kaya kütlelerinin veya pas malzemesinin özellikleri şev boyunca çok sık olarak değişkenlik gösteriyorsa, ayrıca zemin-kayaç dokanağı gibi yapısal bir özellikten dolayı veya kütle içinde, düşük makaslama

dayanımlı düzlemsel seviyelerin varlığı halinde dairesel kayma analiz yöntemlerinin uygulanabilirliği ortadan kalkmaktadır [20]. Bu tür koşullarla kaymalar; dairesel olmayan veya şev tepesine yakın kesimlerde dairesel olarak başlayan derinlerde düzlemsel olarak devam eden yüzeyler boyunca gelişmektedir [18]. Duraysızlıkların bu tür kayma yüzeyleri boyunca geliştiği veya gelişebileceği şevlerin stabilitesinin incelenmesi amacıyla kullanılan bir yöntemdir.

Tablo 3 incelendiğinde; 4 yamaçta yapılan güvenlik katsayısı hesaplamalarında K1, K2 ve K4 nolu yamaçların güvenlik katsayıları ortalama 1.35 ve altında çıkmıştır. Bu durumda bu 3 yamaç için TS 8853 ' de verilen en fazla direnç değerlerine göre güvenlik katsayısı 1.35 sınır değeri alındığında duraysız olduğu sonucuna gidilmiştir. K3 nolu yamaç'ın güvenlik katsayısı değeri ortalama 2.5 olduğu için duraylı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kayma direnci parametreleri olan c' ve ϕ' değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde korelasyon katsayısı değerlerinin 3

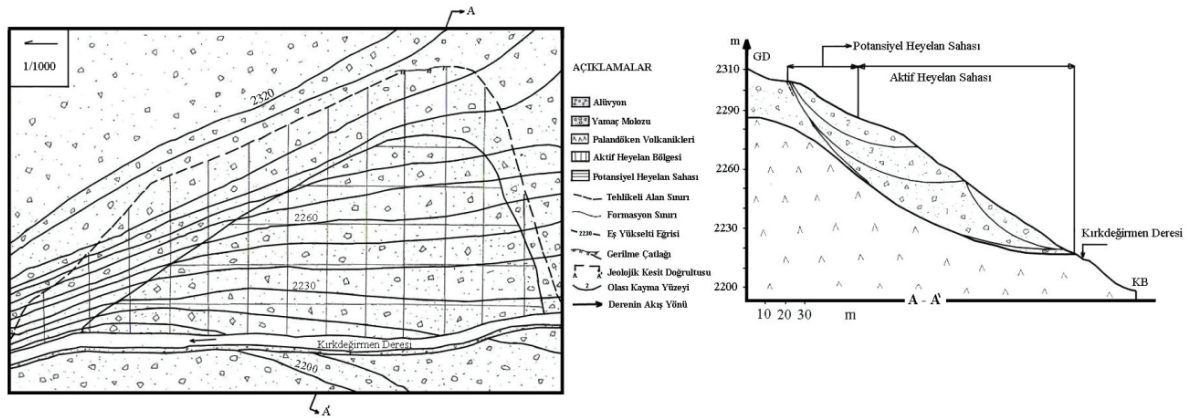


Şekil 5. K1 nolu heyelanın geliştiği yamaçın jeolojik harita ve kesiti (Geological map and section of the slope which K1 numbered landslide occurred on)

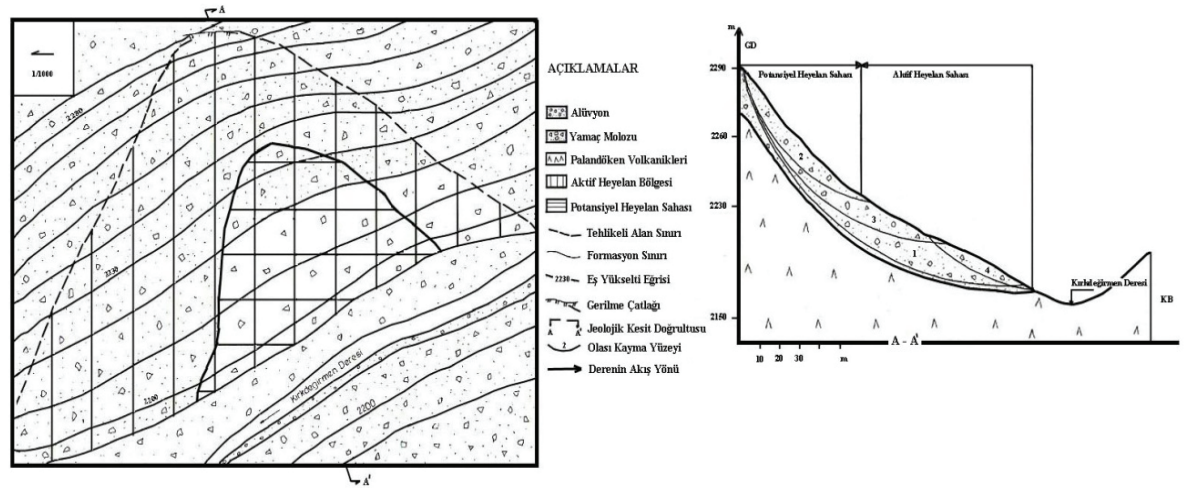
örnekte % 99 olasılıkla 0.97 ile 0.99 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca heyelanlı bölgelerden alınan zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen kesme kutusu deney sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir.

3.2. Yamaç Haritası Alımı (Map of slope Reception)

Jeolojik ve heyelanla ilgili verilerin değerlendirilebilmesi için yamaçların 1/1000 ölçekli topoğrafik haritaları arazi çalışmalarıyla hazırlanmıştır. Harita yapımında kutupsal koordinat sistemi esas alınmış ve Topcon GTS 702 elektronik aleti kullanılmıştır. Yükseklikler 2210 m kotlu tepedeki nirengi noktasına göre verilmiştir.



Şekil 6. K2 nolu yamaçın jeolojik harita ve kesiti (Geographical map and section of K2 numbered slope)



Şekil 7. K3 nolu yamaçın jeolojik harita ve kesiti (Geographical map and section of K3 numbered slope)

4. KÜTLE HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ VE ŞEV DURAYLILIK ANALİZLERİ (MAS MOVEMENTS AND SLOPE STABILITY ANALYSES)

İnceleme alanındaki söz konusu 4 yamaç için hazırlanan topoğrafik haritalar Şekil 5, 6, 7 ve 8 de verilmiştir. Bu 4 yamaçta, duraylılık açısından aktif ve potansiyel alanlar, arazide heyelan üzerinde yapılan yüzey çalışmaları sonucunda ayırtlanmıştır. Yapılan çalışmalara göre heyelanın geliştiği bölgeler

ve çevresindeki göreceli hareketlerin gözlemlendiği alanlar aktif heyelan sahası olarak belirlenmiştir. Göreceli hareketler yüzeydeki gerilme çatlaklarından yararlanılarak belirlenmiştir.

Potansiyel heyelan alanları ise söz konusu aktif sahaların çevresindeki gerilme çatlaklarının bulunduğu ancak göreceli hareketlerin şu an gözlenemediği alanlara karşılık gelmektedir. İnceleme alanında 4 ayrı yamaçtan alınan topoğrafik kesitler üzerine jeolojik yüzeylemeler işaretlenerek jeolojik kesitler hazırlanmıştır.

Yamaçlara ait güvenlik katsayıları limit dege

prensibine göre çizilen değişik kayma yüzeyleri için Bishop, Janbu ve Fellenius yöntemleri ile dairesel kayma diyagramları kullanılmıştır. Güvenlik katsayıları sınırlamalarında TS 8853 [23] esas alınmıştır. Yapılan laboratuvar deneylerinde c' ve ϕ' efektif ve maksimum direnç parametrelerine göre bulunmuştur. Arazide görülen gerilme çatlaklarında zaman içerisinde hareketlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bu durumda kayma yüzeylerindeki



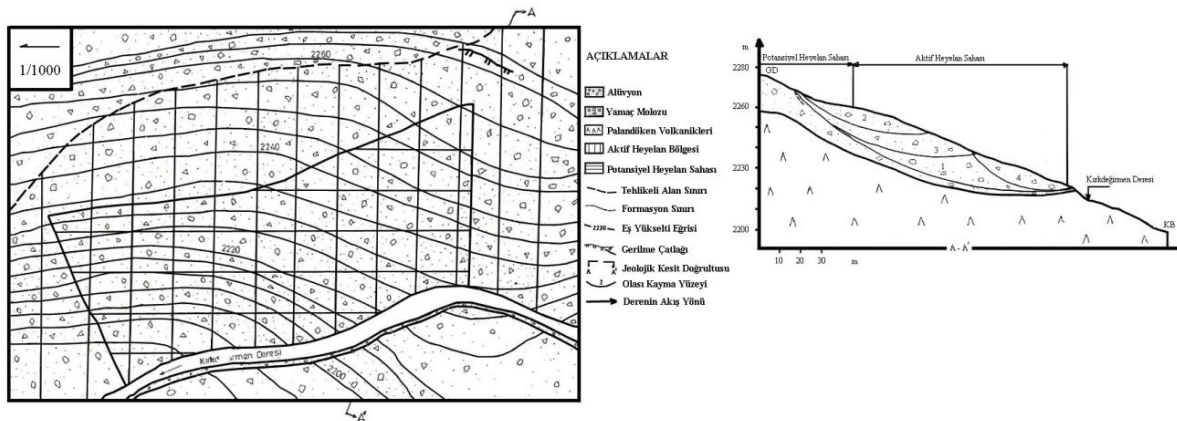
Şekil 9. Kırkdeğirmenler mahallesi K1 nolu yamacın görüntüsü (Image of K1 numbered slope in Kırkdeğirmenler neighbourhood)

içsel parametrelerin laboratuvarlarda bulunanlardan daha küçük çıkacağı başka deyişle kalıcı değerlere daha yakın olacağı açıktır [24]. Bu açıdan sınır güvenlik katsayısı olarak 1.35 değeri alınmıştır.

4.1. K1 Nolu Heyelan (Land slide No. K1)

Kırkdeğirmen deresinin Kible tepe eteğinde bulunan ve birleştirilmiş zemin sınıflamasına (USCS) göre, SP, SW ve SW-SC grubu zeminlerden oluşan K1 nolu heyelanda hareketler kayma ile başlamış olup sonra Kırkdeğirmen Deresinin yol açtığı topuk erozyonu ile sürmüştür. Bölgede meydana gelen tektonik olaylar da, hareketleri tetikleyerek günümüze kadar sürmesine yol açmıştır [25]. Günümüzde yağışlar

Devlet Su İşleri tarafından gerçekleştirilen sondajlardan elde edilen bilgiye göre yamaç molozu kalınlığı 10-30 m değişmektedir. Yapılan incelemelerde K1 nolu heyelanın bulunduğu yamaçta yer altı su seviyesi gözlenmemiştir. K1 nolu heyelanın geliştiği yamaçta yapılan duraylılık hesaplamalarında $c'=0.1 \text{ kg/cm}^2$, $\phi'=40^\circ$, $\gamma_{\text{doğal}} = 1.67 \text{ g/cm}^3$ ve $\gamma_{\text{kuru}} = 1.57 \text{ g/cm}^3$ değerleri kullanılmıştır. γ_{kuru} ve $\gamma_{\text{doğal}}$ a göre ayrı ayrı hesaplanan olası kayma yüzeylerine ait güvenlik katsayısı değerleri Tablo 3' de görülmektedir. Hoek-Bray' a göre güvenlik katsayısı değeri ise 1.35 olarak belirlenmiştir. Tablo 3 incelendiğinde sınır güvenlik katsayısı 1.35 olarak alındığı için 1 ve 2 nolu kayma yüzeylerinin duraysız oldukları kolayca



Şekil 8. K4 nolu yamacın jeolojik harita ve kesiti (Geographical map and section of K4 numbered slope)

sonrasında yamaçta küçük boyutlu hareketlerin olduğu yapılan arazi çalışmalarında gözlenmiştir [26]. K1 no'lu heyelanın geliştiği yamaç, yamaç molozu ile kaplıdır (Şekil 9). K1 nolu heyelanın tepe ve topuk noktası arasındaki maksimum kot farkı 115 m, Yamacın maksimum yüksekliği 110 m, Yamaç yüzeyi eğim açısı ise 33° dir.

görülebilmektedir. 3 ve 4 nolu kayma yüzeyleri ise γ_{kuru} 'ya göre yapıldığında sınır değere çok yakın olduğu, $\gamma_{\text{doğal}}$ a göre incelendiğinde ise duraysız olduğu görülmektedir.

Arazi çalışmaları boyunca bu yamaçta yapılan gözlemlerde Kırkdeğirmen Deresi'nde meydana gelen

debi değişimlerinin heyelanın alt kısmındaki malzemeyi alıp götürdüğü ve yağış sonrası da ufak kopmaların, akmaların meydana geldiği gözlenmiştir. Yamaca ait jeolojik harita ve kesiti ile hesaplamaların yapıldığı yüzeyler Şekil 5'te verilmiştir.

4.2. K2 Nolu Heyelan (Land slide No. K2)

Kırkdeğirmen Deresi'nin Kible Tepe etekleri civarında ve K3 nolu kribin olduğu yamacın karşısında bulunan ve birleştirilmiş zemin sınıflamasına (USCS) göre , SW ve SP-SC grubu zeminlerden oluşan K2 nolu heyelanda hareketler kayma ile başlamıştır. Bölgede görülen tektonik hareketler ve karasal iklim özellikleri hareketlerin günümüze kadar sürmesine yol açmıştır. Ayrıca yapılan arazi gözlemlerinde yamaçta küçük boyutlu hareketlerin olduğu tespit edilmiştir. Yamaçta oluşan hareketler sonucu küçük gerilme çatlakları oluşmuştur. K2 no'lu heyelanın bulunduğu yamacın görüntüsü Şekil 10'da verilmiştir. K2 nolu heyelanın tepe ve topuk noktası arasındaki maksimum kot farkı 110 m, Yamacın maksimum yüksekliği 105 m, Yamaç yüzeyi eğim açısı ise 32° dir.



Şekil 10. Kırkdeğirmenler Mahallesi K2 nolu yamacın görüntüsü (Image of K2 numbered slope in Kırkdeğirmenler neighbourhood)

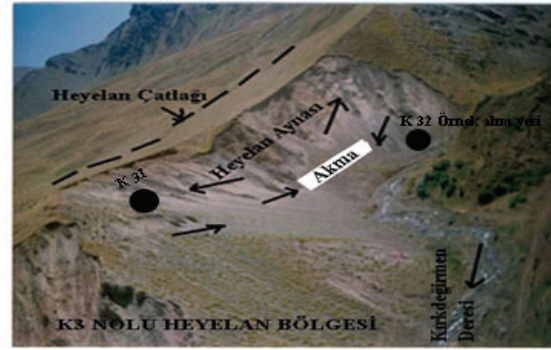
Yamaç molozu kalınlığı 10-30 m (DSİ 14) arasında, yer altı su seviyesi ise 50-100 m arasında değişmektedir. Bu yamaçtan alınan kesitte muhtemel kayma yüzeyleri gerilme çatlaklarının devamı olarak çizilmiştir (Şekil 6). Yamacın topografyasında görüldüğü gibi yüzeyler tamamen dairesel olmayan genel kayma yüzeyleri şeklindedir. K2 nolu heyelanı içeren yamaçta yapılan duraylılık hesaplamalarında, deneylerden elde edilen en düşük değerler olan, $c'=0.12 \text{ kg/cm}^2$ ve $\phi'=40.5^\circ$ kullanılmıştır. Yamaç malzemesinin kuru birim hacim ağırlığı $\gamma_k=1.58 \text{ g/cm}^3$ ve doğal birim hacim ağırlığı $\gamma_{\text{doğal}}=1.68 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. γ_k ve $\gamma_{\text{doğal}}$ a göre ayrı ayrı hesaplanan olası kayma yüzeylerine ait güvenlik katsayısı değerleri Tablo 3'de görülmektedir.

Tablo 3 incelendiğinde sınır güvenlik katsayısı 1.35 olarak alındığı için 1 nolu kayma yüzeyinin duraysız olduğu, 2, 3 ve 4 nolu kayma yüzeylerinin ise duraylı olduğu tespit edilmiştir. Bu yamaçta bölgede meydana gelen yağışlar sonrasında ufak boyutlu kopmalar ve akma olaylarının olduğu yapılan arazi çalışmalarında yoğun bir şekilde gözlenmiştir.

Yamacın 1/1.000 ölçekli jeoloji haritası, kesiti ve hesaplamaların yapıldığı yüzeyler Şekil 6'da verilerek aktif ve potansiyel heyelan sahaları işaretlenmiştir.

4.3. K3 Nolu Akma (Krip) (Land slide No. K3) (Creep)

Kırkdeğirmen Deresinin kible tepe eteğinde (Şekil 2) K1 nolu yamacın güneyinde ve devamında bulunan ve birleştirilmiş zemin sınıflamasına (USCS) göre , SP ve GW grubu zeminlerden oluşan K3 no'lu kribin yer aldığı yamaçta hareketler kayma ile başlamış olup, Kırkdeğirmen Deresinin tabanından malzeme taşınması ile sürmüştür. Yamaç, yamaç molozu ile kaplı olup Kırkdeğirmen Deresinin en çok etkisinde kalan alandır (Şekil 11).



Şekil 11. K3 nolu akma'nın geliştiği yamacın görüntüsü (Image of the slope which K3 numbered creep occurred on)

Yamaç'ın topografyasından da belli olduğu gibi yüzeyler dairesel olmayan genel kayma yüzeyleri şeklindedir (Şekil 7). K3 nolu heyelanın tepe ve topuk noktası arasındaki maksimum kot farkı 75 m, Yamacın maksimum yüksekliği 65 m, Yamaç yüzeyi eğim açısı ise 22° dir.

Yamaç molozu kalınlığı 10-30 m arasında değişmektedir (DSİ). K3 nolu kribin yer aldığı yamaçta yapılan duraylılık analizlerinde, $c'=0.15 \text{ kg/cm}^2$, $\phi'=37.5^\circ$, $\gamma_{\text{doğal}}=2.05 \text{ g/cm}^3$ ve $\gamma_{\text{kuru}}=1.93 \text{ g/cm}^3$ değerleri kullanılmıştır. γ_{kuru} ve $\gamma_{\text{doğal}}$ a göre ayrı ayrı hesaplanan olası kayma yüzeylerine ait güvenlik katsayısı değerleri Tablo 3'te görülmektedir. Tablo 4 incelendiğinde sınır güvenlik katsayısı 1.35 olarak alındığı için 1, 2, 3 ve 4 no'lu kayma yüzeylerinin duraylı oldukları kolayca görülmektedir. Yamaca ait jeolojik harita ve kesiti ile hesaplamaların yapıldığı yüzeyler Şekil 7'de verilmiştir.

4.4. K4 Nolu Heyelan (Land slide No. K3)

Kırkdeğirmenler yerleşim merkezine 2.5 km uzaklıkta ve güneyinde yer alan ve birleştirilmiş zemin sınıflamasına (USCS) göre , SP ve SW grubu zeminlerden oluşan K4 No'lu Heyelanda hareketler kayma ile başlamış olup Kırkdeğirmen Deresinin yol açtığı topuk erozyonu ile sürmüştür. Bölgede meydana gelen tektonik olaylar'da hareketlerin günümüze kadar sürmesine yol açmıştır. Günümüzde yağışlar sonrasında yamaçta küçük boyutlu kopmaların ve akmaların olduğu yapılan arazi çalışmaları gözlenmiştir. K4 no'lu heyelanın geliştiği yamaç (Şekil 12), yamaç molozu ile kaplı olup, kalınlığı 10-30 m arasında değişmektedir. K4 nolu heyelanın tepe ve topuk noktası arasındaki maksimum kot farkı 120 m, Yamacın maksimum yüksekliği 90 m, Yamaç yüzeyi eğim açısı ise 29° dir.

Bu yamaçta yapılan duraylılık hesaplamalarında $c'=0.11 \text{ kg/cm}^2$, $\phi'=39.5^\circ$, $\gamma_{\text{doğal}} = 1.66 \text{ g/cm}^3$ ve $\gamma_{\text{kuru}} = 1.57 \text{ g/cm}^3$ olarak alınmıştır. $\gamma_{\text{doğal}}$ a göre ayrı ayrı hesaplanan olası kayma yüzeylerine ait güvenlik katsayısı değerleri Tablo 3' de görülmektedir. Hoek-Bray'e göre güvenlik katsayısı değeri ise 1.52 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3 incelendiğinde 1 nolu kayma yüzeyinde duraylılığın olmadığı görülmektedir. 2 no'lu kayma yüzeyinin ise sınır değerine yakın fakat duraylı olduğu, 3 ve 4 nolu kayma yüzeylerinin ise duraylı olduğu tespit edilmiştir. Arazi çalışmaları boyunca yapılan gözlemlerde kış mevsimi sonunda eriyen karların Kırkdeğirmen Deresi'nin debisini yükselttiği ve yamaç eteğinde biriken malzemeyi alıp götürdüğü tespit edilmiştir. Halen yamaçta ufak akmaların devam ettiği gözlenmiştir.



Şekil 12. K4 nolu heyelanın geliştiği yamacın görüntüsü (Image of the slope which K4 numbered landslide occurred on)

K4 nolu heyelanı içeren yamaca ait jeolojik harita ve kesiti ile hesaplamaların yapıldığı yüzeyler Şekil 9'da verilmiştir.

K1, K2, K3 ve K4 nolu heyelanların geliştiği yamaçlarda henüz küçük boyutlardaki hareketlerin sebebi olarak malzemenin jeolojisi, yağışlar, erozyon ve bitki örtüsünün yoksunluğu gibi sebepler etkin parametrelerdir.. Malzeme heterojen, değişik boyutlarda köşeli kil, kum, çakıl ve bloklardan oluşmaktadır. Böyle bir ortam içerisinde boşluk suyu basınçları son derece farklı olabilir. Böyle bir malzemede suya tamamen doygun seviyenin üstünde bile su akımları moloz elemanları arasında bulunduğu boşluk ve kanallardan süzülerek değişik noktalarda kaynaklar şeklinde yüzeye çıkabilir yada yine doygun kısma ulaşabilir. Bu tip bir malzeme düzensiz gerilme artışlarına ve direnç azalmalarına maruz kalacaktır.

Bir kez başlamış olan hareketlerin sürekliliğinde etkili olan başka bir sebepte topuk erozyonudur. Özellikler K1, K3 ve K4 no'lu heyelanların geliştiği yamaçlarda gözlenen bu etki Kırkdeğirmen Deresinin yol açtığı yamaç eteği aşındırmalarından kaynaklanmaktadır. Bunda da en büyük etki parametresi yörede karların erimesinden meydana gelen debi artışı olmaktadır. Heyelana sebep olan bir diğer faktör de, yamaçların, yörede sık sık meydana gelen depremlerden etkilenmesidir.

5. SONUÇLAR (RESULTS)

Erzurum kentsel alan sınırları içerisinde yer alan Kırkdeğirmenler yerleşim birimindeki 4 ayrı yamacın duraylılıkları ve yamaçlardan alınan zemin örneklerinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri arazi çalışmaları ve laboratuvar deneyleriyle araştırılmıştır.

İnceleme alanını oluşturan jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru, Palandöken Volkanitleri (Üst Miyosen), Eski Alüvyon (Kuvaterner), Yeni alüvyon (Kuvaterner) ve Yamaç Molozları (Kuvaterner) olarak sıralanırlar.

Zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri sonucunda yamaç malzemesinin geçirimli olduğu, kohezyon değerinin 0.1 - 0.38, içsel sürtünme açısının 37.5 – 42.4 arasında değiştiği, birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre yamaç malzemesinin genelde SP, SW ve SC grubu zeminlerden oluştuğu belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında gerçekleştirilen duraylılık analizlerinden, K1, K2 ve K4 nolu yamaçların duraysız olduğu, K3 nolu yamacın ise duraylı olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan arazi incelemeleri sonucunda özellikle Mayıs ve Haziran aylarında karların erimesiyle Kırkdeğirmen Deresi'nde görülen debi artışının yamaçların topuğunda şiddetli erozyon oluşturduğu ve bu etkiyle yamaç duraylılığına olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. 1, 3 ve 4 nolu yamaçlarda etkili olan bu durumun önüne geçilebilmesi için topuğa akarsuyun taşıyamayacağı boyutlarda kaya malzemesinin yığılması veya Kırkdeğirmen Deresi'nin ıslah edilmesi gerekmektedir.

Erzurum Kenti ve çevresi, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre [27] birinci derecede tehlikeli bölge içerisinde yer almaktadır. Bu bölge Doğu Anadolu Fayı ve Kuzey Anadolu Fayının etki alanında kaldığı için yörede sık depremler meydana gelmekte ve bu depremlere bağlı olarak da bazı tektonik hareketler oluşmaktadır. Bu hareketler neticesinde de yamaçların duraylılığı tehlikeye girmektedir. Bu sebeple kentsel kullanıma açılacak yamaçların duraylılıklarının araştırılması gereği vardır.

Bitkiler, yağış sularının kitle içine süzülmesini kolaylaştırmakta ve yüzeysel akışı yavaşlatmakta ve azaltmaktadır. Bu ise kütlelerin erozyona uğramasına engel olmaktadır. Kökleri derine ulaşan bitkilerin kökleri mekanik olarak kütlelerin dengesini artırır. Ayrıca yer altı sularını absorbe ederek kütlelerin kurumasına sebep olurlar bir başka deyişle kayaçların su içeriğini azaltırlar. Çalışma alanının bitki örtüsünden yoksun olması duraylılık açısından olumlu olan bu etkilerden faydalanmayı engellemekte ve dolayısıyla yamaçları dengede tutan tutucu kuvvetlerde azaltma olmaktadır. Bu sebeple bitki örtüsü bakımından zenginleştirilmesi yörede heyelan önleyici önemli bir parametredir. Ancak derinliği 30 m ye varan kayma yüzeyleri için bitki örtüsünün duraylılığa etkisi minimal olacaktır.

Ayrışma kayaçların büyük ölçüde değişikliğe uğramasına, taneler arasındaki bağın zayıflamasına ve tamamen yok olmasına neden olmaktadır. Çalışma alanında ayrışma sonucu zayıflayan kayaçlar kolayca erozyona uğramakta yamaç ve şevlerin eğim açıları ile yüksekliklerini değiştirmektedir. Çalışma alanındaki kayaçlarda görülen ayrışma da duraylılık problemlerine olumsuz katkı sunmaktadır.

Çalışma alanında gerçekleştirilen jeoteknik analiz neticesinde, gelecekte çok büyük boyutlu heyelanların beklenmeyeceği sonucuna varılmıştır. Ancak bu sonuç, kentsel kullanım alanları ve kentsel gelişme alanları için heyelan tehlike olasılığını bertaraf etmemektedir. Bu nedenle özellikle nazım imar planı ve uygulama imar planı gibi büyük ölçekli plan kararlarında yöredeki jeolojik tehlike değerlendirilmeli ve sahaya uygun heyelan önleme yöntemleri belirlenmelidir. Ayrıca çalışma alanının palandöken kış turizmi projesi kapsamında kentsel kullanıma açılacak olması sebebiyle de bölgede duraysızlığı önleyici yöntemler araştırılması ve geliştirilmesi ayrı bir önem arz etmektedir.

SEMBOLLER (LEGEND)

c' kg/cm ²	: Efektif Kohezyon
c kg/cm ²	: Kohezyon
Φ'	: Efektif içsel sürtünme açısı
Φ	: İçsel sürtünme açısı
τ kg/cm ²	: Kesme gerilmesi
σ kg/cm ²	: Normal gerilme

Ip	: Plastisite indeksi
LL	: Likit limit
Pl	: Plastik limit
Wopt	: Optimum su muhtevası
$\gamma_{doğal}$ g/cm ³	: Doğal birim hacim ağırlık
γ_{doygun} g/cm ³	: Doygun birim hacim ağırlık
γ_{kuru} g/cm ³	: Kuru birim hacim ağırlık
γ_{kmax} g/cm ³	: Maksimum kuru birim hacim ağırlık
γ_s g/cm ³	: Tane birim hacim ağırlık
k	: Permeabilite katsayısı
K1	: 1 nolu heyelan
K11	: 1 nolu heyelanın 1 nolu bölgesinden alınan örnek
SP	: Birleştirilmiş zemin sınıflamasında; kötü derecelenmiş kum, çakıllı kum, ince malzeme çok az veya hiç yok
SW	: Birleştirilmiş zemin sınıflamasında; iyi derecelenmiş kum, çakıllı kum, ince malzeme çok az veya hiç yok
SC	: Birleştirilmiş zemin sınıflamasında ; killi kum, kum-kil karışımı
GW	: Birleştirilmiş zemin sınıflamasında; iyi derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımı, ince malzeme çok az veya hiç yok

Kaynaklar (References)

1. Anbalagan, R., “ Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain” **Eng Geol** 32:269–277, 1992
2. Çakıcı H.,”**Kırkdeğirmenler Mahallesi (Erzurum) çevresindeki yamaçların duraylılık açısından incelenmesi**”, Trabzon, 1997.
3. Ali Yalcin, “A geotechnical study on the landslides in the Trabzon Province” NE, Turkey **PII: S0169-1317(11)00020-2, DOI: doi: 10.1016/j.clay.01.015, 2011**
4. Kılıç, R.,Ulamiş, K., “Gölbaşı (Ankara) Güneyindeki Kütle Hareketlerinin İncelenmesi”, Mühendislik Jeolojisi Bülteni, **Bulletin Of Engineering Geology**, Sayı: 20 (75-86).
5. Hutchinson, JN.,”Landslide hazard assessment. Keynote paper. In: Bell DH (ed) Landslides, Proceeding of 6th international symposium on landslides”, **Christchurch, New Zealand**, vol 1. Balkema, Rotterdam, pp 1805–1841, 1995
6. MTA, “Stratigrafi Sınıflama ve Adlama Kuralları” **Türkiye Stratigrafi Komitesi**, MTA matbaası, Ankara, 1986.
7. Altınlı, E. İ., “Uluslararası Stratigrafi Kılavuzu” **TPAO Yerbilimleri Yayınları**, Ankara,Nuray Matbaası, 1978.
8. Yılmaz, A, “Erzurum F-32 paftası jeolojisi”, **MTA genel müdürlüğü jeoloji etütleri dairesi**, Ankara, 1988.
9. DSİ “Erzurum Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu”, **Jeo.Tek. Hiz ve YAS Daire Başkanlığı yayını**, Erzurum, 1978.

10. Lahn, E., “Erzurum havalisinin Jeolojik Bünyeleri” , **MTA Mecmuası. no: 1/19**, Trabzon,1987.
11. Şaroğlu, F. , Güner, Y , “Doğu Anadolu’nun Jeomorfolojik Gelişimine Etki Eden Öğeler Jeomorfoloji, Tektonik Volkanizma İlişkileri” **Türkiye Jeoloji Bülteni**, 24-39.1981.
12. Bilgin, A, “Serçeme (Erzurum) Deresi ve Dolayının Stratigrafisi” **JMO Dergisi**, 18 35-45, 1986.
13. Tarhan, F., “**Mühendislik Jeolojisi Prensipleri**”, 1. Baskı, KT.Ü Yayın No: 145, Trabzon,1989.
14. TSE, “**İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri**”, TS 1900, UDK 624.131, 1. Baskı, Ankara, Nisan 1987.
15. ASTM, “**Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Condition**”, D3080-90, 1990.
16. TSE, “İnşaat Mühendisliğinde Sondaj Yolları İle Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune Alma Yöntemleri”, **TS 1901, UDK 622.233-624.131.36**, 1. Baskı, Ankara, Nisan 1975.
17. Ulusay, R., “Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler”, **JMO yayınları**, Ankara, 1989.
18. Wiley, I., “**Slope Stability Geotechnical Engineering and Geomorphology**”,_England, 1987.
19. Utku, T., “Teori ve Tatbikatta Heyelanlar”, **Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası**,Ankara, 1975.
20. Ulusay, R., “Şev Stabilite Analizlerinde Kullanılan Pratik Yöntemler ve Geoteknik Çalışmalar”, **MTA Yayınları, Eğitim Serisi**, 25, 1982.
21. Güz, H ., “Geoteknikte Gelişmeler”, **DSİ Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi ve Dayanma Yapıları Semineri**, Samsun, 1987.
22. TSE, “Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları-Zeminde”, **TS 8853**, UDK 624.137-624.131, 1. Baskı, Ankara, Şubat 1991.
23. Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C, Kaya Şev Stabilitesi, 2. Baskı ,**T.M.M.O.B Maden Müh. Odası Yayınları**, Ankara, Mayıs, 1991.
24. Özbek, F., “Erzurum-Trabzon 1. Sınıf Karayolundaki Kop Geçiş Heyelanının Ulaşım ve Zemin Problemleri açısından incelenmesi”, **A.Ü. Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi**, Erzurum, 1992.
25. Dramis, F., Sorriso-Valvo, M., “Deep-Seated gravitational slope deformations, related landslides and tectonics”, **Engineering Geology** 38, 231- 243, 1994.
26. Erguvanlı, K, ve Erdoğan, Y., “**Yeraltı Suları Jeolojisi**”, İ.TÜ yayınları No: 23, Maçka-İstanbul, Nisan 1987.
27. Özmen ve diğerleri, “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası”, **Afet İşleri Genel Müdürlüğü**, Ankara

