



HEYELAN STABİLİZASYONUNDA RİJİT VE GEOSENTETİK DONATILI DUVARLARIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ VE BİR UYGULAMA

Enes KABA¹, Murat TÜRKÖZ^{1,*}

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

ÖZET

Günümüzde insan nüfusunun hızla artmasıyla eğimli yamaçlarda yerleşim alanları oluşmaktadır. Kontrolsüz yapılaşma ve ulaşım için açılan yollar, arazinin duraylılığını bozmasına neden olarak heyelan oluşma tehlikesini artırmaktadır. Heyelanların oluşmasını engellemek veya hareketin olduğu heyelanları iyileştirmek için yapılacak yöntemlerin doğruluğu ve uygulanabilirliği tartışılmaktadır. Heyelanlarda karşılaşılan en büyük iki sorun şevlerde oluşan yüksek deformasyonlar ile şevle beraber kullanılan güçlendirme sisteminin şev entegre olabilmesindeki zorluklardır. Bu kapsamda, mühendislik uygulamalarında heyelanların iyileştirilmesi için son dönemlerde uygulama kolaylığı ve ekonomik açıdan çoğu uygulamalara göre avantajlı olan geosentetiklerin kullanımı oldukça artmıştır. Bu çalışmada, Düzce ili Çilimli ilçesi Karaçörtlen köyünde meydana gelen heyelanın stabilizasyonuna yönelik rijit duvar ve geogrid donatılı duvar destek sistemi için analizler, limit denge ve sonlu elemanlar yöntemlerinin her ikisi ile de yapılmıştır. Analiz sonuçları; kayma düzlemi, güvenlik sayısı ve şekil değiştirme davranışları esasında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Heyelan, Şev stabilitesi, Rijit duvar, Geogrid donatılı duvar

COMPARATIVE ANALYSIS OF RIGID AND GEOSYNTHETIC REINFORCED WALLS IN LANDSLIDE STABILIZATION AND AN APPLICATION

ABSTRACT

The Today, with the rapid increase of the human population, residential areas are formed on sloping slopes. Uncontrolled construction and opened roads for transportation leads to a disturbance of the stability of the land and increases the danger of landslides. The correctness and applicability of methods to prevent landslides from occurring or to correct landslides where they occur are discussed. The two biggest problems encountered in landslides are the high deformations in the slopes and the difficulties in integrating the reinforcement system used in the slope with the slope. In this context, geotechnical engineering applications have recently increased the use of geosynthetics, which is advantageous in terms of ease of application and economic reasons over most applications in recent years in order to correct landslides. In this study, the analysis of the rigid wall and geogrid reinforced wall support system for the stabilization of the landslide occurred in the village of Karaçörtlen in the Çilimli district of Düzce province was conducted with both the limit equilibrium and the finite element methods. Analysis results; slip plane, number of safety and deformation behaviors were examined comparatively.

Keywords: Landslide, Slope stability, Rigid wall, Geogrid reinforced wall

1. GİRİŞ

Günümüzde insan nüfusu giderek hızlı bir şekilde artmaktadır. Buna bağlı olarak eğimli yamaçlarda yerleşim alanları oluşmaktadır. Doğal bitki örtüsünün tahrip edilip arazinin yapısına uygun olmayan bir şekilde konut, fabrika gibi yapılar ve bu yapılara ulaşım için yol ağının artması, jeolojik çevreyi önemli ölçüde değiştirmiş ve etkilemiştir. Yamaçlardaki bu gelişmelerin sonucu olarak heyelan oluşma tehlikesi artış göstermiştir. Heyelan genel anlamı ile yerel jeolojik, jeomorfolojik, hidrojeolojik, klimatolojik ve meteorolojik etkenlerin ürünü olarak; insanların çeşitli aktiviteleri, arazi kullanımı, bitki örtüsü durumlarından etkilenen; yağış ve sismik olayların sıklığı ve şiddeti tarafından

kontrol edilen, yapay ve doğal şev duyarsızlıklarıdır [1]. Heyelan; depremden sonra gelen en tahrip edici afet olmakla birlikte sel ve taşkınların oluşmasına da katkı sağladığı için can ve mal kayıplarının yüksek olmasına yol açmaktadır.

Dünyada heyelanlardan kaynaklanan ekonomik kayıplar 4 milyar dolara ulaşmış durumdadır ve yılda yaklaşık 1000 insan hayatını kaybetmektedir [2]. Dünyada hiçbir ülke doğal afetler açısından tam olarak güvenli olmadığı gibi, afetlerin etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik çalışmalar yetersiz kalmaktadır. Her yıl doğal afetler nedeni ile ölümlerin % 97'si gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde meydana gelmektedir. Dünyada diğer doğal afetlere göre heyelan kaynaklı ölüm oranı % 1.5'dir [3], [4].

Türkiye'de meydana gelen afetlerde heyelanlar; afet olay sayısına göre en çok rastlanan afet türüdür. Tablo 1'de gösterildiği gibi depremlerden etkilenen toplam afetzede sayısı 158.241 kişi ile afet türlerine göre % 55'lik bir paya sahipken, heyelanlardan etkilenen toplam afetzede sayısı ise 59.345 kişi ile % 21'lik payla 2. sırada yer almaktadır [5]. Türkiye'de heyelanlı yerleşim alanları özellikle Karadeniz Bölgesinde (Trabzon, Rize, Karabük, Bartın, Zonguldak ve Kastamonu civarlarında) aktif fay ve fay zonları boyunca yoğunlaşmaktadır.

Orta ve Batı Karadeniz'de, litolojik olarak özellikle Kratese ve Eosen flişlerinin, Doğu Karadeniz'de ise Kratese ve Eosen Volkaniklerinin; heyelanların oluşumuna pozitif yönde etki etmekte olduğu bilinmektedir. Oluş nedenleri ve şekilleri açısından farklı özelliklere sahip heyelanlar; zemin türü, hareketin tipi ve nedenleri gibi farklı değişkenlere göre sınıflandırılmaktadır [6]. Heyelanlar Orta ve Batı Karadeniz'de kayma şeklinde Doğu Karadeniz'de ise akma şeklinde gözlenmektedir [5].

Heyelan önleme amaçlı şev stabilitesini artırmaya yönelik; istinat duvarları ve taş duvarlar gibi rijit duvarlar, kazık sistemleri, zemin ve kaya çivileri veya ankrajlar gibi teknikler genellikle drenaj ve şev geometrisinin değiştirilmesi yöntemleriyle birlikte kullanılırlar. Bu yöntemler; özellikle yerleşim birimlerinde, çok büyük hacimli olmayan duraysızlıklarda kullanım alanı daha genişletir ve basamaklandırma ve şev geometrisinin değiştirilmesinin zor olduğu afet olaylarında çok daha fazla kullanılır.

Bu çalışmada, Düzce İlinin Çilimli İlçesi Karaçörtlen köyünde meydana gelen heyelanla ilgili; bölgenin coğrafi özellikleri, morfolojisi, genel jeolojisi, deprensellik durumu incelenmiş aynı zamanda heyelan alanında yapılan gözlem, arazi çalışmaları ve bunların neticesinde oluşturulan raporlardan çıkan sonuçlarla geoteknik olarak değerlendirilerek heyelan stabilizasyonu amacıyla rijit duvar ve geogrid donatılı duvar kullanılarak şev stabilize analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. GEOSENTETİKLERİN MÜHENDİSLİK ŞEVLERİYLE İLGİLİ ZARAR AZALTMA VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNDE KULLANILMASI

Günümüzde geoteknik mühendisliğinde oldukça sık kullanılmaya başlayan geosentetikler; geo (yer) sentetik (yapay) kelimelerinin bir araya getirilmesiyle türetilmiştir [7]. Geosentetikler çok farklı form ve yapılarda üretilerek; yol, demir yolu, istinat duvarları, drenaj, heyelan önleme uygulamaları, kanallar, havaalanı, madencilik faaliyetleri gibi birçok alanda kullanılırlar. Geosentetiklerin; yer kazanma, maliyetteki kazanımlar, teknik üstünlük, basit ve kolay uygulama, malzemede tedarik kolaylığı, çevresel duyarlılık gibi birçok faktörün getirdiği kazanımlar nedeniyle uygulanması son zamanlarda artmıştır.

Şev duraysızlıklarında karşılaşılan en büyük iki sorun şevlerde oluşan yüksek deformasyonlar ve şevle birlikte kullanılan güçlendirme sisteminin ilgili şeve entegre olabilmesindeki zorluklardır [7]. Bu zorluklar; duraylılığın sağlanması için ekonomik olarak yüksek miktarlara karşılık gelmektedir.

Örneğin, yeraltı su seviyesi yüksek olan, yüksek deformasyona maruz kalabilecek bir şevin stabilizasyonunun sağlanmasında kullanılacak istinat duvarı, hem şevde bulunan su ile hem de yüksek deformasyonlar ile karşılaşacak ve bu etkilerin nihai sonucu olarak yapı büyüklüğü artacaktır. Bu nedenlerle maliyet yükselecek, uzun dönemli deformasyonların artmasıyla rijit bir yapı olan istinat duvarının desteklenmesi ihtiyacı doğabilecektir. Bu aşamada geosentetikler, gerek uzun süreli duraylılıkları gerekse su gibi etkiler karşısında gösterdikleri yüksek dayanımları olsun geoteknik mühendisliği uygulamalarında ve şev stabilizasyonunun sağlanmasında kullanılan önemli malzemeler olarak üretilmektedirler.

Tablo 1. Afet türüne göre, afet olay sayısı ve afettede sayılarının genel dağılımı [5].

AFETLER	AFET OLAY SAYISI	AFETZEDE				ETKİLENEN TOPLAM AFETZEDE SAYISI	ETKİLENEN AFETZEDE SAYISI (%)
		ETKİLİ NAKİL	İLAVE NAKİL	ETKİSİZ NAKİL	NAKİL İPTALİ		
Heyelan	13494	65759	2622	3998	13034	59345	21
Kaya düşmesi	2956	19699	935	2442	3654	19422	7
Su baskını	4067	29020	506	1197	8566	22157	8
Deprem	5318	157794	45	637	235	158241	56
Diğer afetler	1175	11309	8	85	2165	9237	3
Çığ	731	4409	181	336	542	4384	2
Çoklu afetler	2024	17221	629	838	6478	12210	4
Tasnif edilmemişler	42	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	29807	305211	4926	9533	34674	284996	100

Şevlerin güçlendirilmesi için en çok kullanılan geosentetik malzemeler; geokstilller, geogridler, çelik hasır ve şeritlerdir. Geosentetiklerin kullanıldığı şevlerde kayma yüzeyinin emniyet katsayısı farklı katmanlar kullanılarak artırılmakta ve bunun sonucunda donatısız şevlere nazaran daha dik ve uzun süreli duraylı bir şev oluşturulmaktadır. Avusturya'nın Alplerinde Lech yakınlarında bulunan kayak merkezinde, 1994 yılının ilkbaharında meydana gelen 25 metre yükseklikli heyelan, asansör istasyonunun hasar görmesine sebep olmuştur. Sezona yetiştirilmesi adına dik eğimli şevin, stabilitesini artırmak için hızlı ve uygulaması kolay bir çözüm bulmak gerekmiştir. Sonunda; teknik incelemeler ve veriler dönemin şartlarında kısıtlı olmasına rağmen geogrid uygulamasıyla dik eğimli ve yoğun kar yükü alan şev güçlendirilerek stabil hale getirilmiştir. Bu uygulama 2 aydan daha az sürede tamamlanmış ve 20 yıl sonra, 2014 yılında yapılan incelemeler sonucunda şevin hala duraylı konumda olduğu gözlenmiştir [8].

Geosentetikler şev duraylılığında kullanıldığında; donatılı şev prensipleriyle şevi tanımladığımız bazı öğelerin kritik durumlarına yakın değerlere kadar tasarım ve uygulama yapılarak ekonomik çözümler sağlanmaktadır.

3. ŞEV STABİLİTE ANALİZ YÖNTEMLERİ

Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş şevlerin tasarım analizleri, birbirleriyle benzerlik göstermekte olup analizler, en kritik kesit göz önüne alınarak yapılmakta ve bu duruma göre güvenlik faktörü belirlenmektedir. Analiz çalışmalarında güvenlik faktörlerinin hesaplamasına yönelik olarak geliştirilen farklı yöntemler (sonlu elemanlar yöntemi hariç) limit denge formülasyonlarına dayanmaktadır.

1970'lerde Saskatchewan Üniversitesi'nden Fredlund tarafından genel bir limit denge formülasyonu

geliştirildi [9], [10]. Limit denge yöntemi, diğer tüm yöntemleri tartışmak, açıklamak ve anlamak için bir çerçeve sağlar. Bu yöntem geosentetik donatılı şevlerin tasarımında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. En küçük kayma dayanım değerine karşılık gelen güvenlik sayısı şevin güvenlik sayısı olarak değerlendirilir [11]. Birçok çalışma bu yöntemden türemiştir. Bu yöntemde göçmenin belirli bir yüzeyde gerçekleştiği varsayılır. Limit denge yöntemi, limit denge formülasyonlarından elde edilen gerilme dağılımlarını tartışır ve limit denge formülasyonları şu varsayımları yapar: i) her dilimin kuvvet dengesini sağlamayı amaçlamak ve ii) güvenlik faktörünü her dilim için aynı yapmak.

Bu doğal kavramlar ve varsayımlar, kayma yüzeyi boyunca veya kayma kütlesi içinde gerçekçi gerilme dağılımlarının elde edilmesinin her zaman mümkün olmadığını ifade eder. Bu sınırlamaları aşmak için stabilite analizine başka bir fizik parçası eklenmelidir. Eksik fizik parçası bir gerilme-deformasyon ilişkisidir. Böyle bir ilişki dahil edilerek, yer değiştirme uyumluluğu oluşur ve bu da daha gerçekçi gerilme dağılımlarına yol açar.

3.1. Uygun Yöntemin Seçimi

Yer kabuğunun stabilitesini analiz etmek için limit denge yöntemi, içerdiği sınırlamalara rağmen pratikte faydalı bir araç olarak kalmaya devam etmektedir. Limit denge yöntemlerini etkili bir şekilde kullanmak için yöntemin, yeteneklerinin ve sınırlarının anlaşılması ve yöntemin sağlayamayacağı sonuçları beklememesi oldukça önemlidir. Limit denge analizlerinde kullanılan yöntemlerin karşılaştırması Tablo 2’de sunulmaktadır. Yöntemler, tamamen statik ilkelere dayandığından ve yer değiştirme hakkında bilgi vermediğinden, gerilme dağılımlarını elde etmek her zaman mümkün değildir. Yöntemin ve sınırlarının detaylı bir şekilde anlaşılması, sonuçların yorumlanmasında ve kullanımında daha büyük bir güven oluşturmaktadır. Limit denge yöntemini etkili bir şekilde kullanmak için, en azından bir proje süresince, kayma yüzeyi boyunca detaylı kesme kuvvetleri ve parametrelerin değişimini incelemek de önemlidir.

Ayrıca, pratikte uygulanan limit denge analizleri, minimum olarak Morgenstern-Price veya Spencer yöntemleri gibi kuvvet ve moment dengesini de sağlayan bir yöntem kullanılmalıdır. Artık mevcut yazılım araçları ile yalnızca statik denklemlerin bazılarını karşılayan basit yöntemleri kullanmaktan çok, matematiksel açıdan daha iyi tanımlanmış yöntemlerden birini kullanmak kadar kolaydır.

Sonlu elemanlar yöntemi gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin hesaplandığı yarı-elastik bir bütün yaklaşımla uygulanmaktadır. Sonlu elemanlar hesaplanmış gerilmelerine dayanan geoteknik stabilite analizlerini gerçekleştirmek için gerekli olan araçlar bugün hali hazırda mevcuttur. Araçların uygulanması artık yalnızca uygulanabilir değil aynı zamanda pratiktir.

Tablo 2. Limit denge analizlerinde kullanılan yöntemlerin karşılaştırması

Yöntem	Yatay ve Düşey Kuvvetler	Düşey Denge	Yatay Denge	Moment Dengesi
Fellenius	Dikkate alınmaz	Hayır	Hayır	Evet
Bishop	Yatay	Evet	Hayır	Evet
Janbu	Yatay	Evet	Evet	Hayır
Spencer	Sabit	Evet	Evet	Evet
Morgenstern-price	Değişken $\lambda f(x)$	X = E Evet	Evet	Evet
Sarma	$X = c \cdot h + E \tan \phi$	Evet	Evet	Evet

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Malzeme

İnceleme alanının jeolojisi; kumtaşı ara seviyeli silisli çamur taşından oluşan formasyon Erken Ordovisiyen yaşlıdır. Uygulama alanında jeolojik birim Kocatöngel formasyonu ile temsil edilir. Arazi öncesi keşifler, etüt çalışmaları ve büro çalışmaları kapsamında, heyelan 2017 yılına kadar incelenmiş ve kesin çözüm yapılana kadar, yol hattının kapanmaması için geçici çözüm olarak yolun bir kısmı boşaltılarak belirli zamanlarda taş tahkimi, İl Özel İdaresi ekiplerince yapılmıştır.

İnceleme alanının fotoğrafında ve vaziyet planında görüldüğü üzere Karaçörtlen Köyü yolunda meydana gelen heyelan sonucunda mevcut yol kenarındaki yamaçta kayma hareketi meydana gelmiş ve saha bugünkü halini almıştır (Şekil 1). Sahada yamaçta yer alan zeminin, hendeklerden gelen aşırı yüzey sularının drene edilmemesi ile zayıf hale gelmesi ve eğiminde etkisi ile kayma hareketi meydana gelmiştir. Şekil 1’de gösterildiği gibi heyelanın yolu daralttığı, tarım arazisine zarar verdiği ve 1 no’lu heyelanın solunda kalan kısımda eski bir heyelanın oluşup zamana bağlı olarak duraylı hale geldiği görülmektedir. Bu heyelanın üstündeki yamaçtan ise yüzey sularının heyelan bölgesine doğru geldiği bu suların yola yakın kısmında akışının dolguyla engellendiği anlaşılmaktadır.

İlk olarak arazi sahasında oluşan heyelanla ilgili yerinde gözlem yapılmış ve topoğrafik haritalar ve heyelan envanter haritası incelenerek bölgenin jeolojik bilgileri toparlanmıştır. Sonrasında ise bölgede yapılan arazi çalışmaları (heyelanın kayma yüzeyi derinliği, yer altı suyu seviyesi, tabaka kalınlıkları, mühendislik yapılarına teşkil edecek sağlam kayanın tespiti ve geoteknik parametrelerinin belirlenmesi) detaylıca olarak incelenerek heyelan duraylılığını sağlamak amacıyla analiz çalışmaları yapılmıştır. İnceleme alanında Düzce İl Özel İdaresi tarafından yapılan arazi çalışmaları (1 adet sondaj ve inklometre ölçümleri, 6 adet düşey elektrik sondaj yöntemi ve 3 adet sismik kırılma ölçümleri) neticesinde sonuçlar değerlendirilmiş ve ilgili alanın; yer altı suyu derinliği, kayma yüzeyi jeofizik ve geoteknik parametrelerinin bulunmasında yardımcı olmuştur. Analizlerde kullanılacak parametreler; Düzce İl Özel İdaresince yaptırılan projeden alınan parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler sırasıyla; birim hacim ağırlık, kohezyon ve içsel sürtünme açısı, doymun birim hacim ağırlık ve elastisite modülü olarak Tablo 3’de gösterilmiştir. Killi dolgu malzemesinin geoteknik parametreleri raporla ilişkilendirilerek, ayrılmış çamurtaşı-silttaşı ve masif kaya olan çamurtaşı-silttaşı için kohezyon ve içsel sürtünme parametresi, kayma hızları bilgilerine göre yüksek tutulmuştur.

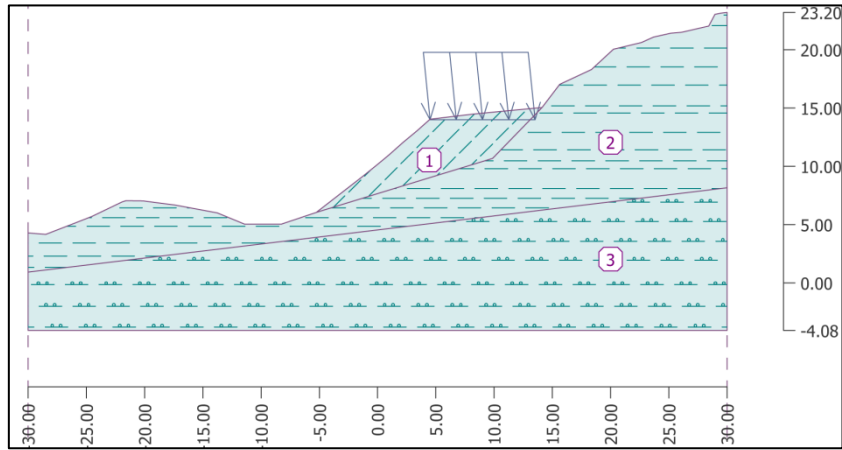


Şekil 1. 1 no’lu alan heyelan olmuş bölgeyi, 2 no’lu alan ise bu bölgeyi tutan sağlam kayacı göstermektedir

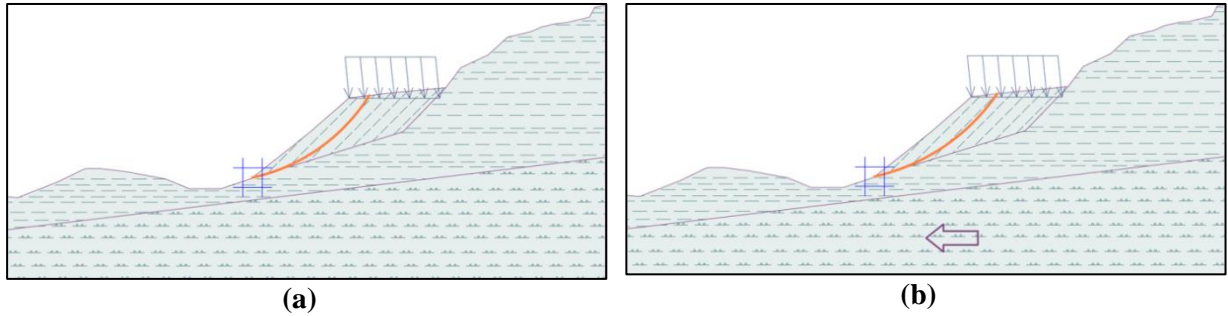
5. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Limit denge analizlerinde; Morgenstern-Price yöntemi kullanılarak kayma dairesinin yeri ve güvenlik sayısının bulunması için şev stabilite tahkiki yapılmıştır. Analizlerde, heyelan bölgesi 1. derece deprem bölgesi olduğundan yatay deprem katsayısı k_h ; 0.2 alındı ve yer altı suyu seviyesi de yol kotundan 12 metre derinde olduğu için suyun etkisi göz önüne alınmamıştır.

İlk aşamada mevcut kesitin heyelan öncesi stabilitesi değerlendirilmiştir. İlgili kesit için derinlikle değişen zemin profili tanımlanmış olup (1: killi dolgu malzeme, 2: ayrılmış çamurtaşı-silttaşı ve 3: çamurtaşı-silttaşı) analizlerde yol genişliği boyunca araç geçişleri olduğundan 15 kN/m^2 sürüş yükü de dikkate alınmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kayma öncesi Km:0+170.0 kesiti



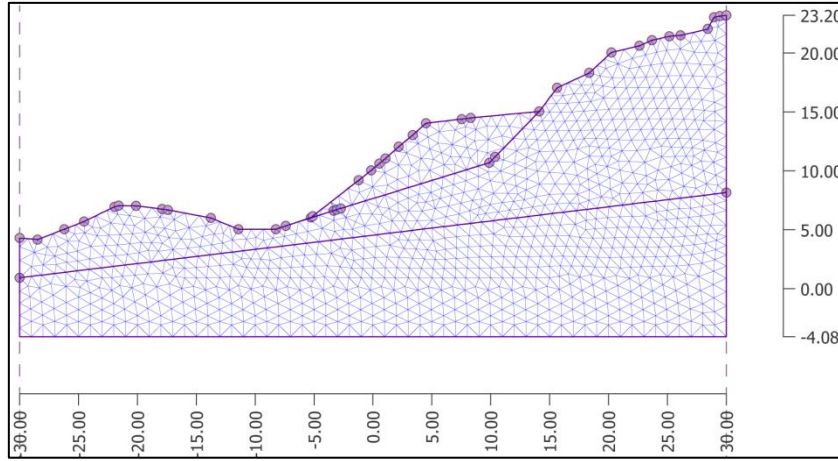
Şekil 4. Km:0+170.0 kesitinde limit denge yöntemi esasında yapılan stabilite analizi sonuçları; a) depremsiz b) depremlı

Stabilite tahkiki sonucunda depremsiz durumda güvenlik sayısı 0.93 ve depremlı durumda 0.68 olarak bulunmuş ve kayma yüzeyinin her iki durumda da hemen hemen aynı bölgede olduğu belirlenmiştir.

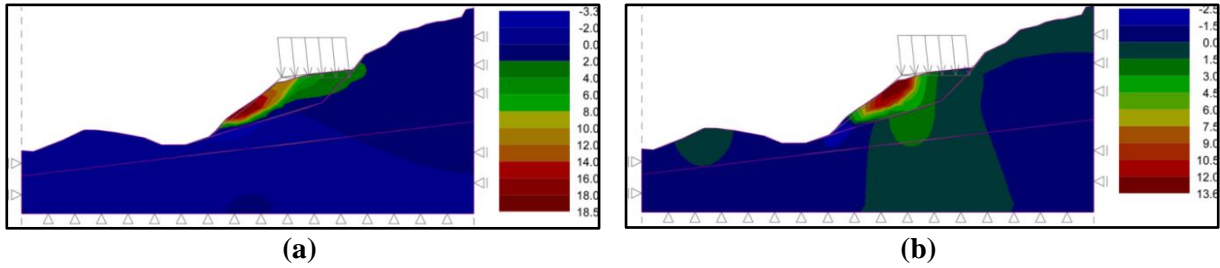
Limit denge yönteminin uygulandığı kesite, sonlu elemanlar yöntemi de uygulanarak, kesitin düzlemsel gerilmeleri ve deformasyonları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. 5407 düğüm ve 3079 eleman sayıları ile Şekil 5'de sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Zamana bağlı olarak bu dolgu malzemesinin oturduğu ve kaydığı gözlenmiştir. Şekil 6a'da sonlu elemanlar analizi sonucuna göre yanal yönde oluşabilecek deformasyon ve Şekil 6b'de düşey yönde oluşabilecek deformasyonlar sunulmuştur. Yapılan analiz sonuçlarına göre yine killi dolgu malzemenin bulunduğu kısımda deformasyonların olduğu gözlenmiş olup güvenlik sayısı 0.90 bulunmuştur. Şevin stabil durumda olmadığı gözlenmiş ve gerilme değeri bulunamamıştır.

Hem limit denge hem de sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlardan şevin güvenli olmadığı ve sonlu elemanlar yöntemi esasında yapılan analizlerden elde edilen deformasyonlar ile heyelan sonucu gelişen deformasyonun bire bir aynı olduğu görülmüştür.

Heyelan olmuş alanın 0+170.00 kesitinin stabilizasyonu amacıyla önce rijit cisim ve sonra geogrid duvar sağlam kayaya temellendirilerek teşkil edilmeye çalışılmıştır. Geogrid duvar veya rijit duvar ile birlikte yol platformunun genişletilme çalışmaları yapılmak istenmiştir. Öncelikle taş duvarı temsilen rijit bir duvar tanımlanmış ve analizleri yapılmış sonrasında ise geogridli donatılı duvar tanımlamaları yapılarak yine analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



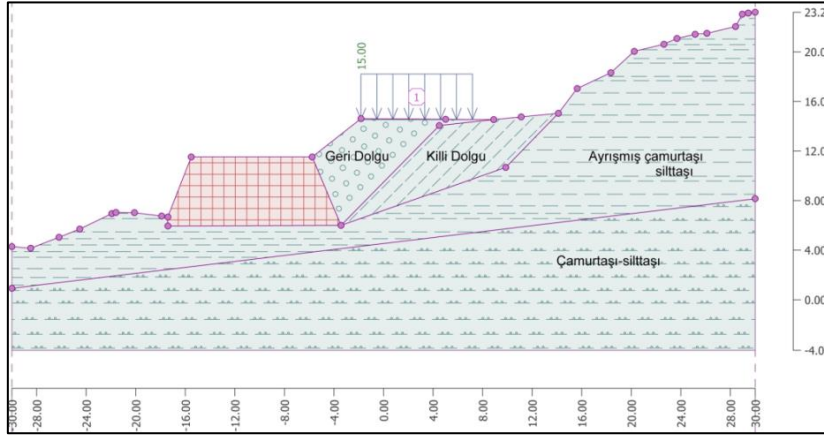
Şekil 5. Kayma öncesi Km:0+170.0 kesitinde oluşturulan sonlu elemanlar ağı ve düğüm noktaları



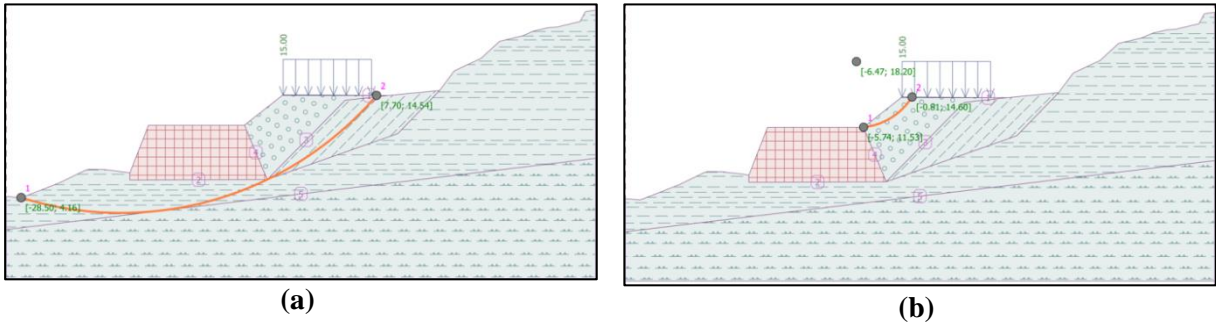
Şekil 6. Sonlu elemanlar analizi sonucu gözlenen deformasyonlar a) yatay, b) düşey yönde

5.1. Rijit Duvar Destek Sistemi Tasarım Analizi Sonuçları

İlk olarak limit denge yöntemi ile tasarıma teşkil edilen taş duvarı temsilen tanımlanan rijit cisimin (birim ağırlığı 24 kN/m^3) hareketi engellemesine ve şevin güçlendirilmesine yönelik analizler yapılmıştır. Analiz çalışmaları kayma dairesinin yerine göre; depremsiz ve depremlı durumları dikkate alarak tüm topoğrafya (global stabilite) ve sadece geri dolgu malzemesine (yerel stabilite) yönelik yapılarak sistemin duraylılığı incelenmiştir.

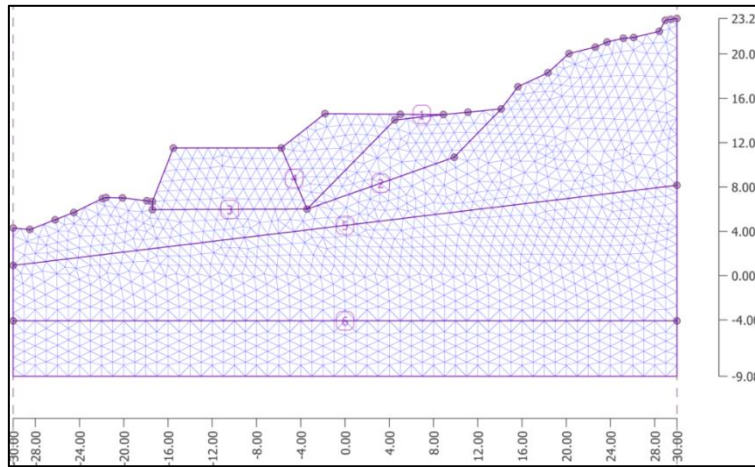


Şekil 7. Rijit cisimli şev profili



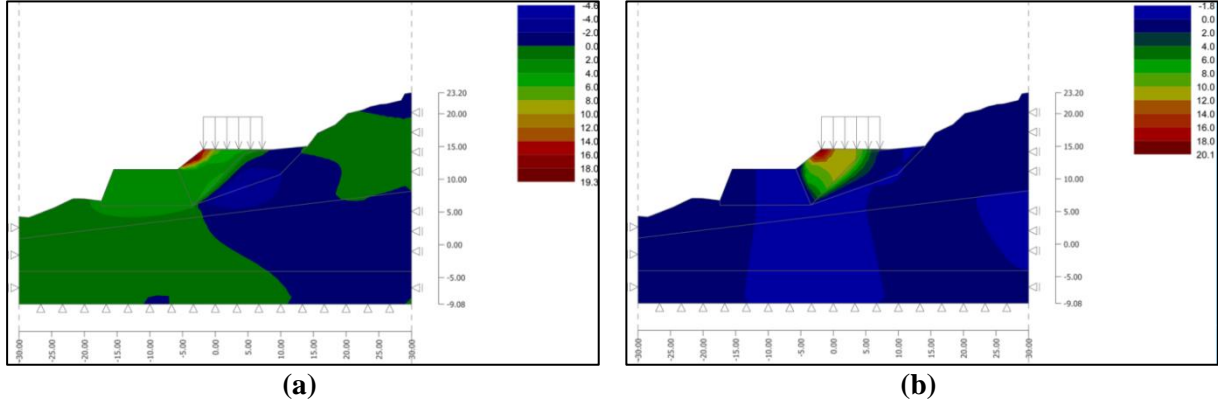
Şekil 8. Rijit cisimli şevin kayma dairesinin yerine göre a) global b) yerel stabilite analizi sonuçları

Kayma dairesi geniş tutularak sistemin tümünün (global) stabilitesi incelenmiştir. Şekil 8a'da gösterildiği gibi kayma dairesi killi dolgu malzemesi üzerinden geçmiş ve güvenlik sayısı depremsiz durum için 3.98 ve depremlı durum için ise 2.42 bulunmuştur. Bunlarla birlikte rijit cisim ile heyelanlı bölgeye teşkil edilecek geri dolgunun, şevün duraylılığını sağlayıp sağlayamayacağını tespit için kayma dairesi (Şekil 8b) geri dolgunun üzerinde olması durumu için yerel stabilite analizleri de yapılmış, depremsiz ve depremlı durumlar için güvenlik sayıları sırasıyla 1.62 ve 1.18 olarak bulunmuştur. Limit denge yöntemi esasında yapılan analizlere ek olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak da analizler yapılmıştır. Tanımlanan rijit cisimli şevün sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş ve toplamda 7442 düğüm sayısı ve 4295 eleman sayısı ile Şekil 9'da sonlu elemanlar ağı gösterilmiştir.



Şekil 9. Rijit bir cisim ile şevde oluşturulan sonlu elemanlar ağı

Rijit cisimli şevin sonlu elemanlar yöntemiyle stabilitesi de yapılmış ve güvenlik sayısı en düşük 1.69 olarak bulunmuştur. Yatay yönde en yüksek deplasman 1.93 cm ve düşey yönde 2.01 cm olarak bulunmuştur (Şekil 10).



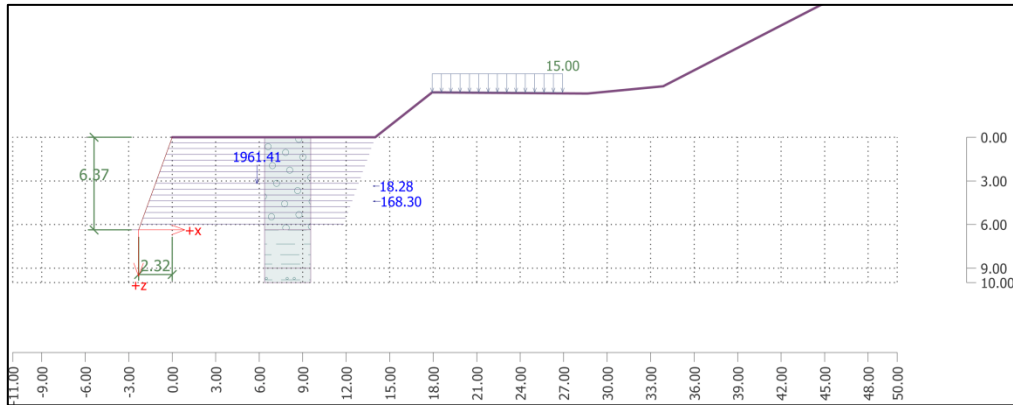
Şekil 10. Rijit cisimli şevde a) yatay yönde b) düşey yönde oluşabilecek deplasman değerleri

5.2. Geogrid Donatılı Duvar Destek Sistemi Tasarım Analizi Sonuçları

Çalışma alanına uygulanabilecek donatı uzunlukları ve donatı sayıları Geo5 programına tanımlanarak donatılı duvarın iç stabilize analizi yapılmıştır. Sürşarj yükü yine arazi üzerine tanımlanmıştır. Donatılar; farklı çekme dayanımı değerlerine göre ve derinliğe bağlı olarak 3 tip olarak değerlendirilmiştir (Tablo 4). Bu kapsamda Şekil 11’de gösterilen 0+0170.00 kesitinde donatıların yüksekliği ve genişliği görülmektedir. Donatılar kesite; 40 cm arayla toplamda 6 metre yükseklik ve 14 metre genişlik verilerek tanımlanmıştır. Donatılı duvarla verilen eğim %71 olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Analizde kullanılan donatı tipleri

Donatı Tipi	Donatı sayısı	Uzun dönem tasarım dayanımı (kN/m)	Donatı aralıkları, h_r (m)	İlk donatının yüksekliği, h (m)
1	7	80	0.40	0.40
2	6	55	0.40	3.20
3	2	35	0.40	5.60



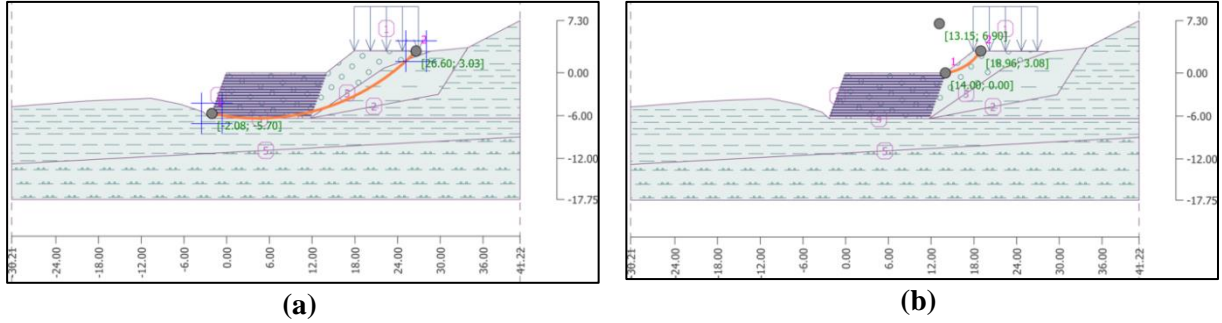
Şekil 11. Geogrid donatılı duvar kesiti.

Yapılan analiz sonucunda geogrid donatılı duvarın temel zemini taşıma gücü, devrilmeye, kaymaya ve donatı kopmasına karşı geogrid donatılarının kendi içinde çekme dayanımlarının yeterli olduğu görülmüştür. Tablo 5’de duvarın iç stabilite analizi sonucu çıkan güvenlik sayı değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Geogrid donatılı duvarın iç stabilite tahkiki sonucunda güvenlik sayıları

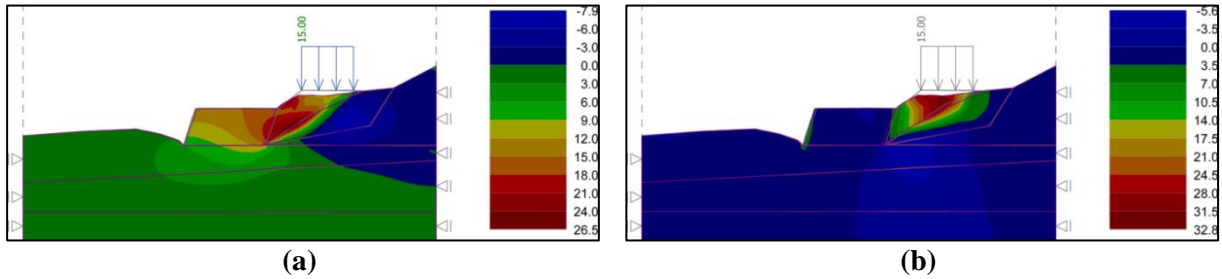
Stabilite	Güvenlik Sayısı
Devrilmeye karşı	41.27
Kaymaya karşı	7.74
Temel zemini taşıma gücü	2.44
Donatı Çekme Dayanımı	4.69

Limit denge yöntemi esasında yapılan yaklaşımlar geogrid donatılı duvar için de yapılmıştır. Kayma dairesinin yerine göre; depremsiz ve depremlı durumları dikkate alarak tüm topoğrafya (global stabilite) ve sadece geri dolgu malzemesine (yerel stabilite) yönelik yapılarak sistemin duraylılığı incelenmiştir.



Şekil 12. Geogrid donatılı şevin kayma dairesinin yerine göre a) global b) yerel stabilite analizi sonuçları

Global stabilite analizi sonuçlarına göre güvenlik sayıları depremsiz ve depremlı durum için sırasıyla 3.30 ve 1.80 bulunurken yerel stabilite analiz sonuçlarına göre de 1.61 ve 1.18 bulunmuştur (Şekil 12). Geogrid donatılı şevin sonlu elemanlar yöntemiyle stabilite analizi de yapılmış olup güvenlik sayısı en düşük 1.74 olarak bulunmuştur. Yatay yönde en yüksek deplasman 2.65 cm ve düşey yönde 3.28 cm olarak bulunmuştur (Şekil 13).



Şekil 13. Geogrid donatılı şevde a) yatay yönde b) düşey yönde oluşabilecek deplasmanlar.

Analizlerin tümünü bir bütün olarak değerlendirildiğinde; desteksiz, rijit duvar ve geogrid donatılı duvar tanımlanan şevin limit denge ve sonlu elemanlar yöntemleriyle elde edilen güvenlik sayıları Tablo 6’da, deformasyon değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 6. Güvenlik sayıları esasında analiz sonuçları

Yöntem	Güvenlik Sayısı		
	Desteksi	Rijit	Geogrid
Limit Denge-Global Stabilité	0.93	3.98	3.30
Limit Denge-Global Stabilité Depremlí	0.68	2.42	1.80
Limit Denge-Yerel Stabilité	0.93	1.62	1.61
Limit Denge-Yerel Stabilité Depremlí	0.68	1.18	1.18
Sonlu Elemanlar	0.90	1.69	1.74

Tablo 7. Deplasmanlar esasında analiz sonuçları

Yöntem	Yatay Yönde, (cm)			Düşey Yönde, (cm)		
	Desteksiz	Rijit	Geogrid	Desteksiz	Rijit	Geogrid
Sonlu Elemanlar	18.5	1.93	2.65	13.6	2.01	3.28

Tanımlanan rijit duvarın, limit denge esaslı stabilite analizine göre bulunan güvenlik sayısı değerleri geogrid donatılı şeve nazaran daha yüksek olduğu bulunmuştur. Fakat sonlu elemanlar yöntemine göre yapılan stabilite analiz sonuçlarından geogrid donatılı duvarın güvenlik sayısı değerinin rijit duvara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Sonuçlar geogrid donatılı duvarın heyelan stabilizasyonunda rijit duvar kadar etkili olduğunu göstermektedir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında yürütülen Düzce ili Çilimli ilçesi Karaçörtlen köyü grup yolunda meydana gelmiş heyelanın; gözlemsel, arazi çalışmaları ve proje raporları doğrultusunda elde edilen zemin özellikleriyle analizler yapılmış ve hem güvenlik sayısı hem de şekil değiştirmeler gözlenmiştir. Bu analizler sonucunda zeminin güçlendirilmesi ve yol platformunun genişletilmesi amacıyla son günlerde oldukça sık kullanılan, gerek ekonomik gerekse uygulama kolaylığı açısından geogrid donatılı duvar için geoteknik model ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda aşağıda özetlenen sonuçlara ulaşılmıştır:

- i. Limit denge yöntemlerinden hem kesme kuvveti hem de moment dengesi sağladığı için Morgenstern-Price metodu kullanılarak, potansiyel kayma yüzeyi belirlenmiştir. Yapılan analiz çalışmalarında görüldüğü üzere çalışma alanının stabil durumda olmadığı ve özellikle depremlí durumda güvenlik sayısının oldukça düşük çıktığı belirlenmiştir.
- ii. Analiz çalışmalarında sonlu elemanlar metodu da kullanılarak çalışma alanının deformasyon-şekil değiştirme davranışları incelenmiş, kaymanın nerede ve nasıl geliştiğı belirlenebilmiştir. Deformasyonların dolgu malzeme de yolun yamaca bakan kısmında olduğu hem analiz hem de arazide yapılan gözlemlerle de görülmüştür.
- iii. Yamaçlarda stabilite sağlamak için yapılan rijit yapıların deformasyonların fazla olması sebebiyle yapılacak çalışmaların maliyeti yüksek, uygulaması zor ve etkileri zamanla değişmektedir. Özellikle yol platformunda meydana gelen heyelanların stabilizasyonunda yanal kuvvetlere karşı birkaç rijit yöntem bir arada kullanılmakta ve bu durum maliyeti artırmakta ve uygulama süresini uzatmaktadır. Bu noktada geogrid donatılı duvar; maliyetinin düşük, uygulamasının kolay ve

anlaşılır, belli miktarda deformasyona ve suyun geçişine izin veren, düşey ve yanal kuvvetleri karşılayan en uygun yöntemlerden biri olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Soeters R and Van Westen CJ. Slope instability recognition analysis and zonation. In: Turner K.T. and Schuster, R.L., Eds., Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report No. 247, Transportation Research Board National Research Council, Washington DC, 1996, 129-177.
- [2] Singhroy V. Remote sensing of landslides. In: Glade T, Anderson M, Crozier MJ (eds) Landslide hazard and risk. John Wiley & Sons, 2005, pp 469–492.
- [3] Nadim F, Kjekstad O, Peduzzi P, Herold C, Jaedicke C. Global landslide and avalanche hotspots. Landslides, 2006; 3(2):159–173.
- [4] EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster database-www.em-dat.net-Univeriste Catholique de LouvainBrussels-Belgium.
- [5] Gökçe O, Özden Ş, Demir A. Türkiye’de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı afet bölgeleri envanteri. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2008; 112 syf.
- [6] Varnes DJ. Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) Landslides, analysis and control, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., 1978; pp. 11–33
- [7] Shukla SK and Yin J-H. Fundamentals of Geosynthetic Engineering. Taylor and Francis, London, UK, 2006; 410 p.,
- [8] Alexiew D, Plankel A, Thomson G. A geogrid–reinforced landslide stabilization: 20 year passed, The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2014; 1094-1098.
- [9] Fredlund DG. Slope stability analysis. User’s Manual CD-4, Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon. Canada, 1974.
- [10] Fredlund DG and Krahn J. Comparison of slope stability methods of analysis, Canadian Geotechnical Journal, 1977; 14(3), 429-439.
- [11] Shukla SK. Geosynthetics and their applications, Published by Thomas Telford, ISBN: 978-0727731173, London, 2002; 430p.