

## Pullout Test Aleti ile Karayolu Alttemelinde Geogrid Performansının Araştırılması

Tuba SERT\*  
Muhammet Vefa AKPINAR\*\*

### ÖZ

Bu çalışmada, karayolu alttemelinde güçlendirme amaçlı kullanılan geogridlerin kayma mukavemeti performansları araştırılmıştır. Bu amaçla özel olarak tasarlanmış pullout test aleti geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Deneysel düzeneği Türkiye’de ilk olup 1 m uzunlukta, 1 m genişlikte ve 0.80 m yüksekliğindedir. Deneyler 3 cm x 3 cm, 4 cm x 4 cm, 5 cm x 5 cm olmak üzere üç farklı göz açıklığına sahip geogridler üzerinde yapılmıştır. Geogridlerin kayma mukavemeti değerlerinin zamanla değişimi incelenmiştir. Geogrid numunelerinin yatay yöndeki deplasmanları görüntü tekniği yardımıyla ve birim şekil değiştirme ölçüm cihazlarıyla bulunmuştur. Tüm geogrid türleriyle yapılan deneylerde görülmüştür ki; agrega özellikleri, uygulanan düşey yük ve pullout çekme hızı sabit iken geogride çekme uygulandıkça maksimum bir noktaya kadar pullout kuvveti artmakta bu noktadan sonra düşme gözlenmektedir. Geogridlerin kare göz açıklıklarının karayolu alttemel tabakasının kayma mukavemeti üzerinde önemli etkilerinin olduğu ancak çekme kuvvetine bağlı deplasmanlarının ihmal edilecek kadar az olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Geogrid, pullout test aleti, kayma mukavemeti.

### ABSTRACT

#### Investigation of Geogrid Performance on Highway Subbase By Using The Pullout Test Device

In this study, the shear strength performance of geogrids that are used as reinforcement on highway subbase are examined. For this purpose, a specially designed pullout test device is developed and used. The test device is a first to be used in Turkey which has dimensions of 1 m length, 1 m width and 0.80 m height. Three different sizes of geogrid dimensions are used in the tests with apertures 3 cm x 3 cm, 4 cm x 4 cm, 5 cm x 5 cm, respectively. Variations of shear strengths of geogrids due to time are investigated. The horizontal displacements of geogrid samples are determined both by image technique and displacement sensors. It has been observed in tests for all the geogrid types that while soil parameters, vertical pressure loads and pullout speed are maintained constant and the tensile force is

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 05.01.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon - tsert16@hotmail.com

\*\* Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon - mvakpinar@yahoo.com

### *Pullout Test Aleti ile Karayolu Alttemelinde Geogrid Performansının Araştırılması*

applied to geogrids, pullout force increases to a certain peak point, where it starts to decline. It is concluded that geogrid aperture size has a considerable effect on highway subbase shear strength and displacements while the effect on the pullout force is negligibly small.

**Key words:** Geogrid, the pullout test device, tensile strength.

## **1. GİRİŞ**

Karayollarında sıkça karşılaşılan problemlerin başında yol dolgusunda görülen kayma ve oturmalar ile bunların bir sonucu olarak ortaya çıkan çatlak ve kırılmalar gelmektedir. Son yıllarda trafik miktarının artışından dolayı, mevcut yollarda kayma ve oturma belirtileri artış göstermektedir. Geogrid gibi geosentetik güçlendirici malzemelerin kullanımı, bu problemlerin önemli derecede azaltılmasına çözüm sunmaktadır [3]. Alttemel tabakasında güçlendirme amacıyla kullanılan geogridler, tabakanın kalınlığının azaltılmasını aynı zamanda da uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır.

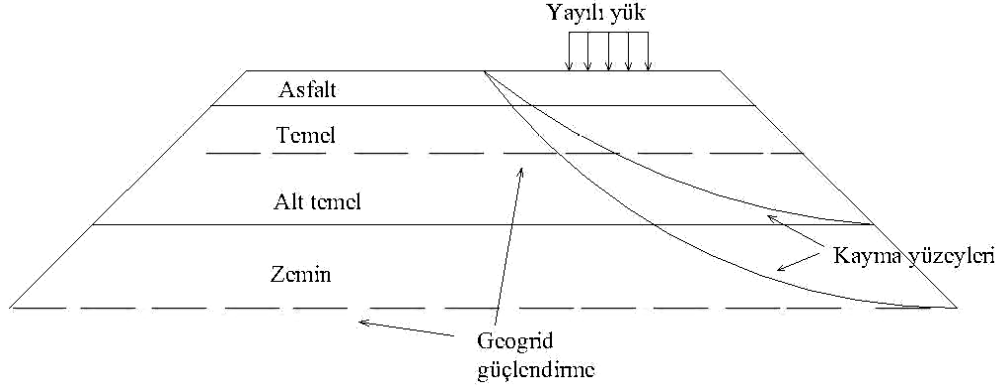


*Şekil 1. Amerika'da Tambillo kasabası yakınlarından geçen karayolu dolgusunda meydana gelmiş bir kayma [1]*

Şekil 1'deki çökmenin, yaklaşık 50 metre uzunluğunda olduğu bildirilmiştir [1]. Burada önemli bir husus kayma olaylarının sadece yüzeyde olmayıp temel ve alttemelde de gerçekleşmiş olmasıdır. Yol alt tabakalarında (temel-alttemel) güçlendirme yapılmış olsaydı, düşey yönde etkiyen trafik yüklerinden dolayı oluşmuş olan bu tür yanıl deformasyonlar muhtemelen önlenmiş olacaktı.

Karayolların alttemel tabakasının güçlendirilmesinde uygun olarak tasarlanmış geogridler yüksek gerilmeleri karşılamaktadır. Fakat son yıllardaki çalışmalarda geogridlerle

güçlendirilmiş alttemel tabakalarında kaymaların olduğu rapor edilmiştir [2] ve [3]. Ayrıca geogridlerin; sertlik, birim şekil değiştirme oranı, geometri, uygulanan normal basınçlar ve zemin özellikleri gibi farklı parametrelerinin kayma mukavemeti üzerinde önemli etkilerinin olduğu bilinmektedir. Şekil 2’de yol tabakaları ve asfalt kaplama üzerine gelen yayılı yük (taşıt yükü) görülmektedir.



Şekil 2. Yol tabakalarında kayma mekanizması

Şekil 2’de eğrisel olarak gösterilen kayma yüzeyleri zeminde kopmalar olabilecek bölgeleri göstermektedir. Kesikli çizgi ile gösterilen şeritler ise zeminin kaymasını önlemek için kullanılan geogrid güçlendirmesini göstermektedir.

İnşaat Mühendisliği uygulamalarında çok geniş kullanım alanı olan geosentetiklerin bir çeşidi olan geogridler özellikle zemin donatısı görevinde güçlendirme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Geogridler; polimer olarak ve çoğunlukla yüksek mukavemet gösterecek şekilde üretilen bir malzeme olup, genellikle zemin daneleri ve agregalar arasında güçlendirici donatı olarak kullanılan yatay ve düşey elemanları birbiriyle kesişen ızgara biçimli polimerik malzemelerdir. Polyester ipliklerin örülmesi ile boyut stabilitesi ve uygulama hasarlarına karşı polimer kaplama malzemesi ile kaplanarak imal edilirler. Geogridin imalatında kullanılan polyester iplikler mükemmel bir sünme etkisi yaratır. Molekül ağırlığı yüksek olan polyester, zemindeki kimyasal maddelere ve hidroliz etkisi ile doğabilecek aşınmalara dayanıklı bir malzemedir.

Pullout testleri, karayolları alttemel tabakası ile geogrid arasındaki kayma etkileşim davranışlarının incelenmesinde en çok kullanılan testlerin başında gelmektedir ve test sonuçlarının, güçlendirilmiş zemin tasarımında direkt etkisi vardır [5]. Zemin daneleri ile geogrid arasındaki yüzey sürtünmesi ile geogridin boylam ve enlem elemanlarında ortaya çıkan taşıma mukavemeti, pullout test sonuçlarını etkileyen mekanizmalardır. Bu nedenle agregaların boyutları ve geogridleri oluşturan boylam ve enlem elemanların boyutları önem kazanmaktadır.

## **2. ÖNCEKİ ARAŞTIRMALAR**

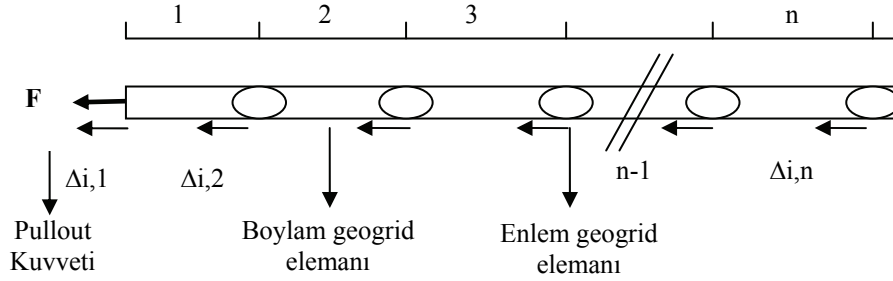
Birçok deneysel çalışma; sertlik, birim şekil değiştirme oranı, geometri, uygulanan normal basınçlar ve zemin özellikleri gibi parametrelerin kayma mukavemeti üzerinde önemli etkilerinin olduğunu göstermektedir [2], [3] ve [5]. Kesme kutusu testlerinde agrega-agrega kayma mukavemetlerinin agrega-geonet kayma mukavemetlerinden daha yüksek olduğu bildirilmiştir [4]. Bu tezatlık aslında geogridlerin iyi bir güçlendirme donatısı olmadığı anlamına gelmez. Agrega özelliklerine göre uygun geogrid kullanılması gerektiği anlamına gelmektedir. Kesme kutusu testleri agrega ile geogrid arasında oluşan sürtünmeleri bulmaya yöneliktir. Ancak geogrid ile agrega arasında oluşan ve kayma gerilmelerine esas olarak karşı koyan kenetlenmeye bağlı olarak oluşan taşıma mukavemeti hakkında detaylı bilgi verilmemektedir [4]. Pullout testlerinde, geogrid boylam eleman sayısının artması ile kayma mukavemet değerlerinin arttığı gösterilmiştir [5]. Aynı çalışmada, geogrid enlem elemanlarının artmasının kayma mukavemet değerleri üzerinde ihmal edilecek kadar az etkisinin olduğu gösterilmektedir. Farrag [6], geogrid donatının pullout çekme direncini araştırmıştır. Test tipinin etkisi, basınç, zemin yoğunluğu ve sınır şartları gibi faktörlerin zemine gömülü geogridlerin pullout karakteristikleri üzerinde etkili olduklarını göstermiştir.

Raymond [7], geosentetik güçlendirmeli ya da güçlendirmesiz tabakaya oturan 300 mm genişlikte düzlem yük plakası kullanmış ve bunun için bir seri gerilme testleri yapmıştır. Farklı basınçlarda ince granüler agrega üzerinde tekrarlayan yüklere maruz tabakada geosentetik güçlendirme etkisini incelemiştir. Yuvarlatılmış agregalar üzerindeki tekrarlı yük sonuçları göstermiştir ki 10000 defa yük uygulandıktan sonra geogrid güçlendirme, plastik deformasyonu %50 azaltmaktadır. Aynı koşullarda 10000 defa yük uygulandıktan sonra kırmataş agrega kullanıldığında ise plastik deformasyonun %13-%30 azaldığı görülmüştür.

Teixeira ve diğ. [8], yatay ve düşey geogrid elemanların pullout direnci etkilerini çalışmışlardır. Gerçek boyutlardaki pullout mekanizmasıyla küçük boyutlardaki pullout mekanizması karşılaştırılmış ve küçük ölçekteki kutudan alınan örneklerin diğerleriyle uyumlu olduğu gösterilmiştir. Baker ve diğ. [9], çalışmalarında kesme kutusu deneylerinde agrega-agrega kayma mukavemetlerinin agrega-geonet kayma mukavemetlerinden daha yüksek olduğunu göstermişlerdir. Guo ve diğ. [10], Az süre deneye tabi tutulan geogridlerin yorulmaya maruz kalmadığını böylece kopmadan uzun süreli sünme davranışı gösterdiğini gözlemişlerdir.

Austin ve Gilchrist [11], geosentetik güçlendirmeli yapılar için tasarım ve test metodlarını araştırmışlardır. Sürtünme kuvvetinin, güçlendirme elemanının özelliklerine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarında, 3 türlü etkileşim mekanizması tanımlanmıştır: (Şekil 3).

1. Zemin-geogrid arası sürtünme kuvveti
2. Kenetlenme “Interlock” durumundaki geogrid- agrega etkileşimi ve
3. Yatay geogrid eleman önündeki pasif zemin direncidir.



Şekil 3. Çekme doğrultusundaki geogridde her bir elemanda oluşan birim şekil değiştirmeler [11].

$$\Delta_{i,2} = \Delta_{i,1} - \Delta_{i,1} \times L_{rib} \quad (1)$$

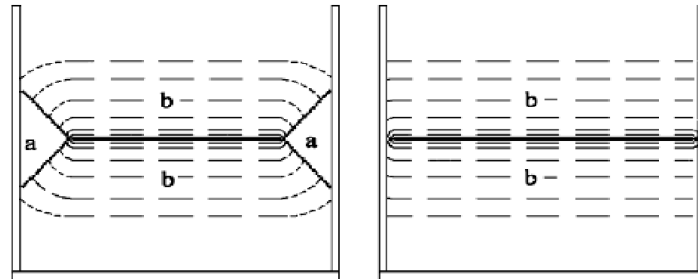
$\Delta_{i,2}$ = 2. yatay elemanın (çekme bölgesine uzak eleman) pullout etkisi sonucu gösterdiği birim şekil değiştirme

$\Delta_{i,1}$ = 1. yatay elemanın (çekme bölgesine yakın eleman) pullout etkisi sonucu gösterdiği birim şekil değiştirme

$L_{rib}$ = Geogrid elemanın çekme doğrultusundaki boylam elemanının uzunluğu

Yukarıdaki eşitlikten görüldüğü üzere çekme bölgesine yakın bölgede oluşan birim şekil değiştirme ( $\Delta_{i,2}$ ), kendinden bir sonraki elemanda oluşan birim şekil değiştirme değerinden ( $\Delta_{i,1}$ ) yine bu birim şekil değiştirme değeri ( $\Delta_{i,1}$ ) ile iki birim şekil değiştirme bölgesi arasında kalan geogrid uzunluğunun ( $L_{rib}$ ) çarpımından elde edilen değer farkına eşittir.

Moraci ve Recalcati [12], granüler zemine gömülü geogridin pullout davranışını etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Kullanılan geogrid genişliğinin pullout testleri üzerinde etkilerinin olduğunu göstermişlerdir (Şekil 4).



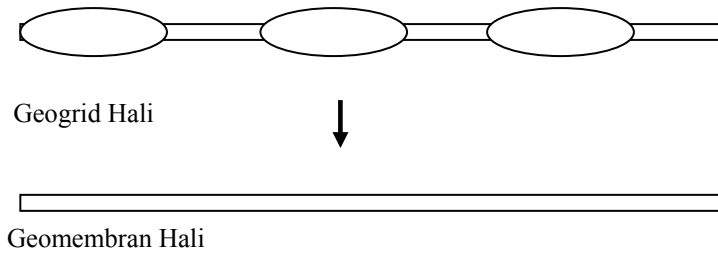
Şekil 4. Dar ve geniş örnekler için pullout etkileşim şeması [12]

Şekil 4'deki gibi bölgesel bir gerilme dağılımının ortaya çıkması; kısa geogridi çevreleyen zemindeki genişmeyen bölgede oluşan gerilmelerin (a) genişleyen bölgedeki (b) gerilme etkisinden uzak olmasından dolayıdır. Bu da 2 bölge arasında sınırdaki kayma gerilmesi ortaya çıkarır ve zemin-geogrid ara yüzünde efektif normal gerilmelerin artmasına yol açar. Buna bağlı olarak pullout etkisi de artar. Örnek genişliğinin artırılmasıyla da aksi durum görülür yani basınç etkisi yayıldığı için genişleme azalmış olur, yan etki kutu yan yüzeylerine dağıtılmış olur. Çalışma [12]'den çıkarılan sonuçlardan bazıları şöyle sıralanabilir:

- Aynı normal basınçta geogrid kalınlığı artırıldıkça pullout direnci artmaktadır.
- Çekme bölgesi yakınlarında çekme etkisi en fazladır, bu bölgeden uzaklaştıkça etki azalmaktadır. Çekmeye devam edildikçe öyle bir nokta vardır ki yırtılma (rupture) meydana gelir ve geogridin koptuğu kısımdan itibaren kesme yüzeyi oluştuğu varsayılır.
- Genişlik bakımından kutu genişliğinden dar, uzunluk bakımından da kutu uzunluğundan küçük örnekler kullanıldığında gelen kuvvet kutu tüm yüzeyine dağıtılamadığı için artan çekme ve düşey basınç etkisinden dolayı geogridi etkileyen yük de artmış olacaktır ve geogrid daha geniş bir örneğe kıyasla daha erken kopacaktır.
- Birim şekil değiştirme ve deplasman en ve boy bakımından kutu boyutlarına yakın geogridler kullanıldığında daha fazla görülmektedir.

Bahsedilen hususlardan dolayı, bu çalışmada büyük ölçekli pullout düzeneği kurulmuştur. Büyük ölçekte bir düzeneğin gerçeği yansıtmaya payı da yüksek olacaktır. Bu çalışmada düşey yükün kutu içerisinde her tarafa eşit dağıtılması için boyut bakımından kutu iç boyutları kadar geogrid örnekleri tercih edilmiştir.

Noraci ve Gioffre [13], gronüler zemine gömülü geogridin pullout direncini belirlemek için basit bir metod geliştirmişlerdir. Çalışmada kesitten görünüşü normal olan bir geogrid ile aynı geogridin enlem boylam elemanları olmayan yani her yerinde aynı özelliği gösteren geomembran hali kıyaslanmıştır (Şekil 5). Geomembran malzemelerin yüzeysel sürtünmeye çalıştıkları ve aynı koşullar altında geogrid malzemelere göre pullout mukavemetlerinin %20 daha az olduğu belirlenmiştir.



*Şekil 5. Izgara yapısı kapatılarak elde edilen şerit malzemenin kesit görünüşü [13]*

Sugimoto ve Al [14], tarafından yapılan çalışmada pullout deneylerinde iki farklı tür geogrid kullanılmıştır. Birisi çift yönlü göz açıklıkları 28 mm x 38 mm, diğeri ise tek yönlü göz açıklıkları 158 mm x 23 mm olan geogridlerdir. Tek yönlü geogridde yatay ve düşey geogrid elemanlarında birim şekil değiştirme değerleri daha yüksek gözlenmiştir. Çalışmalarında pullout test düzeneğinin ön yüzeyindeki deplasman, birim şekil değiştirme, çekme kuvveti ve normal basınç etkisinin en fazla olduğu, çekme bölgesinden uzaklaştıkça bu etkilerin azaldığı gözlenmiştir.

Nernheim [15], geosentetik güçlendirmeli yapılar için tasarım ve test yöntemlerini çalışmıştır. Sürtünme kuvvetinin, zemin ve güçlendirme elemanının özelliklerine bağlı olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, zemin-geogrid arası sürtünme, geogrid-agrega arası kenetlenme ve pasif zemin direncinden oluşan etkileşim mekanizmasından söz edilmektedir.

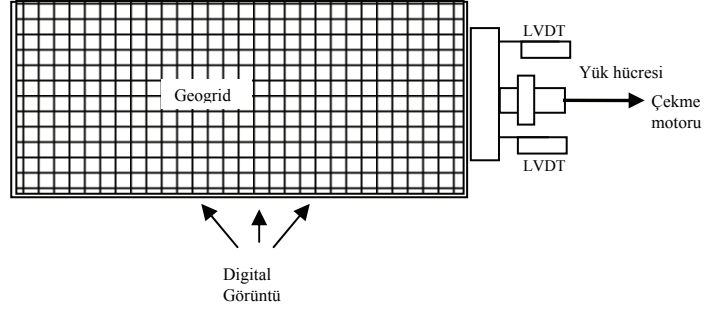
Alfaro ve diğ. [16], geogrid donatının pullout testinde zemin-geogrid eleman arasındaki etkileşimini çalışmışlardır. Çalışma [12]'de bahsedilen kutu genişliği kadar ve bu genişlikten daha dar seçilen geogridlerin pullout üzerindeki etkisi çalışma [16]'da da doğrulanmaktadır. Yani kutu genişliğinden dar geogridlerde, geogridin bittiği yerden kutu yanlarına kadar olan bölgede ilave bir sınır kayma gerilmesi ortaya çıkar (Şekil 4). Bu durum çalışmada 3 boyutlu etkileşim mekanizması olarak adlandırılmaktadır. Ama geogrid genişliği kutu genişliği kadar ise bu durumda sadece zeminle geogrid arasında sürtünme ve kenetlenme durumundan bahsedilir. Bu da 2 boyutlu etkileşimdir. Ayrıca bu çalışmada pullout testlerinde çekmeye yakın bölgelerde birim şekil değiştirme, deplasman ve kuvvetin daha fazla olduğu, doğrultu boyunca çekme bölgesinden uzaklaştıkça bu değerlerde azalmaların olduğu gösterilmiştir.

### **3. PULLOUT DENEY DÜZENEGİ**

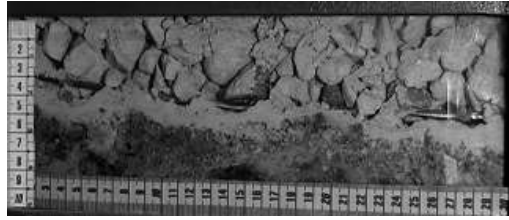
Pullout test düzeneği tasarlanırken, yurtdışında özellikle Almanya, Hollanda ve Amerika'da mevcut pullout test düzenekleri göz önünde bulundurulmuştur. Çizelge 1, önceki çalışmalara ait pullout deneyi ile ilgili verileri içermektedir. Pullout kutusunun boyutları, kullanılan geogridin boyutları, yük hücreleri (loadcell) ile ölçülmüş yatay ve düşey yük değerleri ile deplasman ve birim şekil değiştirme (strain) değerleri görülmektedir. Çalışmada oluşturulan test kutusunun boyutları 1m uzunluğunda 1m genişliğinde ve 0.8m yüksekliğinde tasarlanmış ve yapılmıştır.

Yurtdışı çalışmalarından farklı olarak bu çalışmadaki pullout test düzeneğinde kutu yan yüzlerinde geogrid malzemelerin deplasmanlarını görüntü tekniği ile belirlemek için 8 tane pencere düzeneği oluşturulmuştur (Şekil 6 b). Prexiglass malzemeden oluşan bu pencerelerden çekme bölgesine en yakın olandan geogrid ve agreganın hareketini gözlemek amacıyla görüntü alınmıştır. Görüntü alma işlemi pencere önüne yerleştirilmiş bir kamera ile gerçekleştirilmiştir. Deney başlangıcında kamera görüntü almaya başlamış ve deney boyunca kayıta kalmıştır. Deney sonunda kaydedilmiş video görüntüsü çok sayıda resme dönüştürülmüş, deney başından ve sonundan alınan resimler kıyaslanmıştır. Ölçüm cihazlarıyla belirlenmiş olan deplasmanlar ve pullout kutusu içerisinde çekme etkisiyle görülen yırtılma ve deformasyonlar görüntüleme yöntemiyle de net bir şekilde izlenmiştir. Literatür araştırmalarında, Türkiye'de mevcut üniversiteler içerisinde pullout düzeneğinin olmadığı anlaşılmıştır.

*Pullout Test Aleti ile Karayolu Alttemelinde Geogrid Performansının Araştırılması*



(a) Pullout deney düzeneği şematik planı



(b) Prexiglass pencerenin yakından görünüşü



(c) Laboratuarda kurulu düzendenen görünüş

Şekil 6. Pullout deney düzeneği.



Çizelge 1. Literatür araştırmalarından elde edilmiş pullout kutusu boyut özellikleri ve deneylerde uygulanan yük ve çekme değerleri

1	Pullout Kutusu Boyutları(uzunluk, genişlik, yükseklik) (m)	Geogrid Numune Boyutları Uzunluk(m) Genişlik(m)		Düşey Basınç (kpa)	Düşey Yük (kN)	Yatay Çekme (Kn/m) (kN)		LYDT (cm)	Birim Şekil Değiştirme Değerleri	Birim Şekil Değiştirme Hızı (mm/dk)
1	1.5x0.60x0.60	-	-	300	-	400	-	-	-	-
2	0.92x0.46x0.46	-	-	-	88.8	-	44.4	-	-	-
3	1.53x1.0x0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1.52x0.61x0.28	-	-	41	-	10.5	-	0.5	-	2
5	0.85x0.4x0.5	-	-	-	-	1.2-13.2	-	-	%11-%30	-
6	1.0x1.0x1.0	-	-	25-75	-	52	-	-	-	0.5
7	-	-	-	100	-	27-197	-	0.5-20	-	-
8	1.20x1.20x0.91	-	-	-	444.8	-	88.9	-	-	-
9	1.20x0.60x0.30	-	-	-	444.8	-	88.9	30	-	-
10	1.5x0.7x0.5	-	-	52-50	-	-	60	-	-	4.6
11	-	1.17	0.12-0.60	20-50	-	-	7.5-36	-	-	-
12	-	-	-	200	-	-	50	2	-	-
13	1.7x0.6x0.68	0.40-1.15	0.58	-	52	26-115	-	10	-	1
14	1.0x1.0x0.75	-	-	2.8-27.8	-	-	-	-	20	6
15	-	0.6	0.3	13-60	-	14-27	-	-	-	-

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Test Ekipmanı

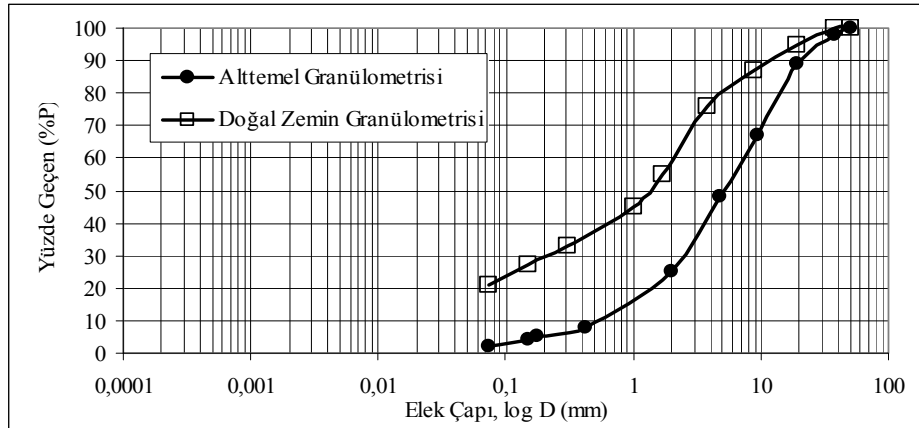
Pullout test kutusunda;

- 8 Adet 5 cm çaplı 1 MPA kapasiteli Zemin Basınç Ölçer (Pressure Cell)
- 1 Adet 20 cm çaplı 1 MPA kapasiteli Zemin Basınç Ölçer (Pressure Cell)
- 8 Adet -5000 ile +5000 micro strain arası ölçüm alabilen Birim Şekil Değiştirme Ölçer (strain gage)
- 8 Adet LVDT (1 Adet 100 cm ölçüm kapasiteli, 2 Adet 50 cm ölçüm kapasiteli, 5 Adet 10 cm ölçüm kapasiteli )
- 2 Adet 20 ton kapasiteli basınç-çekme yapabilen yük hücresi
- 3 Adet Veri Toplama Ünitesi (Data Acquisition System) kullanılmıştır.

### 4.2. Alttemel Malzeme Özellikleri

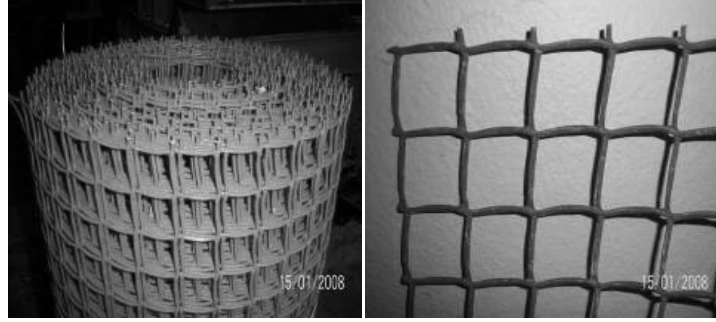
Çalışmalarda kullanılan alttemel malzeme, Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü tarafından temin edilmiş, uygulamada kullanılan alttemel malzemesidir. Çizelgeden de görüldüğü gibi uygun granülometriye sahiptir.

Çizelge 2. Laboratuar deneylerinde kullanılan malzeme granülometrisi



### 4.3. Deneylerde Kullanılan Geogridler

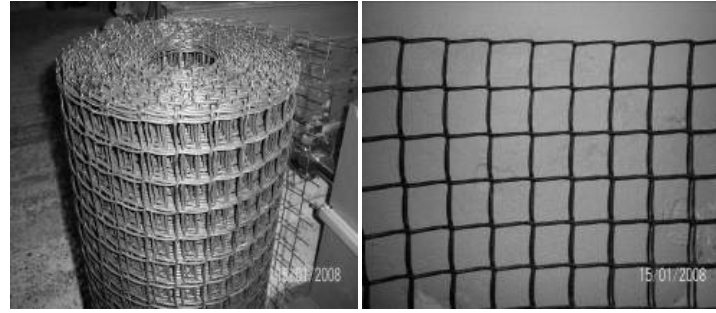
Taban zemini-Alttemel arayüzünde 3 farklı geogrid türü kullanılarak pullout deneyleri yapılmış ve sonuçlar tablo ve grafikler şeklinde verilmiştir. Bu 3 farklı geogrid, yaklaşık aynı mekanik özelliklere ve dayanıma sahip olup farklı göz açıklıklarına sahiptirler. Fakat hepsinin ortak özelliği kare göz açıklıklı olmalarıdır.



(a)

(b)

3x3 cm göz açıklıklı



(c)

(d)

4x4 cm göz açıklıklı



(e)

(f)

5x5 cm göz açıklıklı

Şekil 7. Üç farklı göz açıklığına sahip geogridlerin rulo halde ve yakından görüntüsü

#### 4.4. Deney Yöntemi

Pullout test kutusu yarısına kadar taban zemini ile doldurulmuştur. Orta seviyeye geogrid serilmiş, tekrar kutunun ikinci yarısına alttemel malzeme yerleştirilmiştir. Geogrid seviyesinin 5 cm alt ve 5 cm üstüne ölçüm sensörleri (basınç ölçer, birim şekil değiştirme ölçer) yerleştirilmiş ve bu sensörler deney düzeneği yanında hazır bulundurulmuş bilgisayara

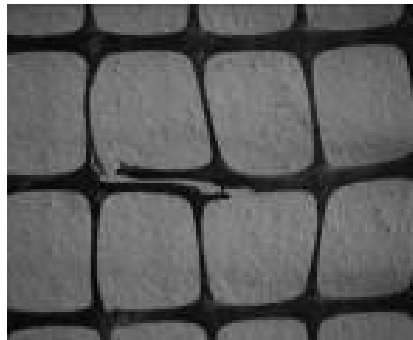
### *Pullout Test Aleti ile Karayolu Alttemelinde Geogrid Performansının Araştırılması*

bağlanarak deney için kullanılan yazılım programında kalibre edilip deneye başlanmıştır. Önemli bir husus, kutuya agrega doldurulurken mutlaka her 10 cm seviyede sıkıştırılmış olmasıdır. Aksi takdirde yerleştirilen sensörler deney sırasında meydana gelen oturmalar etkisiyle yanlış okumalar kaydedebilir.



*Şekil 8. Deney sırasında ölçüm cihazlarının taban zemini-alttemel tabakası arasına yerleştirilmesi*

Deneye başlanmadan önce 25 kN düşey yük uygulanmıştır. Bu da yaklaşık pullout test kutusu boyutlarında 35 kPa değerine tekabül etmektedir. Bu basınç değeri rastgele seçilmemiştir. Gerek literatür araştırması yapılarak ve gerekse uygulamada ağır taşıtın yol üstyapısına ne kadar bir yük uyguladığı araştırılarak bir tekerlek başına gelen yük belirlenmiş ve bu değer pullout test düzeneğinde de düşey yük olarak uygulanmıştır. Belli düşey yük altında deneye başlanır. Çekme motoru ve çekme aparatına bağlı geogride sabit bir hızla çekme yaptırılmış geogridin koptuğu anda deneye son verilmiştir.

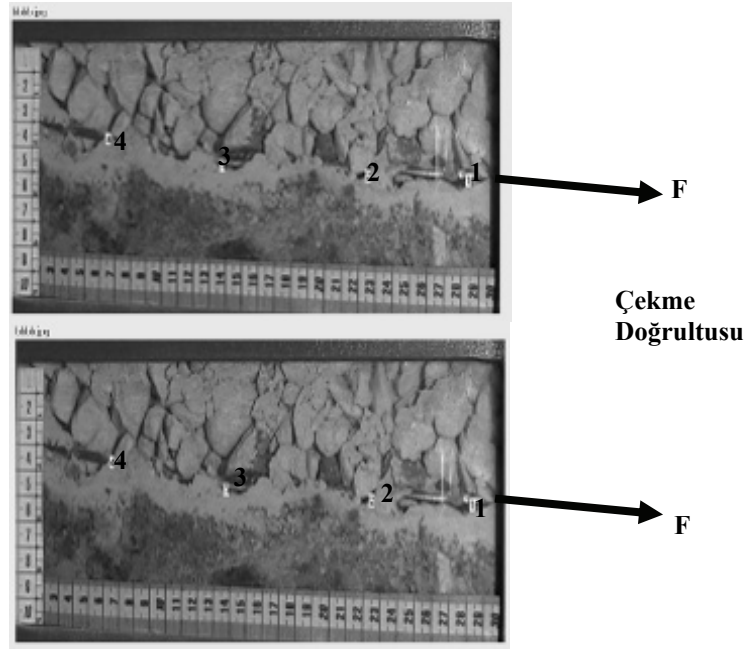


*Şekil 9. Geogridin deney sonrası görüntüsü (Geogridin agrega ile kenetlendiği kısımlarda yırtılmalar meydana gelmiştir)*

## 5. BULGU VE ANALİZLER

### 5.1. Deplasmanlar Yönünden İrdeleme

Farklı göz açıklığına sahip geogridler pullout çekme testine tabi tutulduğunda her bir göz açıklığına sahip geogridin deplasmanları da ölçülmüştür. Deplasmanlar, iki şekilde ölçülmüştür. Birinci yöntemde, prexiglass pencerelerden görüntü alarak ve bu görüntülerde geogridin belirli noktaları deney başında ve deney sonunda işaretlenerek iki resim arası kıyaslama yapılmak suretiyle deplasmanlar ölçülmüştür. İkinci yöntemde ise pullout kutusu içine yerleştirilen birim şekil değiştirme ölçerin deneyde çekme boyunca okuduğu veriler kaydedilerek deplasmanlar belirlenmiştir. Şekil 10’da deney başından ve deney sonundan alınmış birim şekil değiştirmelerin belirlendiği iki görüntü yer almaktadır. Geogridin çekme yönünden başlanarak 1., 2., 3. ve 4. noktalar olarak geogridin birleşim yerleri işaretlenmiştir



Şekil 10. Görüntüleme yöntemine göre deneyin başından ve sonundan alınmış iki resimde deplasmanların kıyaslanması

Şekil 10’da gösterilen iki resimden, üstteki deneyin başlangıcından diğeri ise deneyin sonundan alınmış görüntüdür. Çekme deneyinde noktaların deplasmanları iki resim ve geliştirilen yazılım programı sayesinde kıyaslanmış ve her bir noktanın ilk ve son konumları farkı alınarak deplasmanlar belirlenip Çizelge 3’te gösterilmiştir.

*Pullout Test Aleti ile Karayolu Alttemelinde Geogrid Performansının Araştırılması*

*Çizelge 3. Deneyin başından ve sonundan alınan görüntüler yardımıyla deplasmanların bulunması*

Nokta No	Deney Başlangıcında noktaların konumu ( $x_1$ ) (cm)	Deney Sonunda noktaların konumu ( $x_2$ ) (cm)	$x_2-x_1$ (cm)
Nokta 1	28.1	28.2	0.1
Nokta 2	23.9	24	0.1
Nokta 3	14.1	14.1	0
Nokta 4	7.9	7.9	0

Çizelge 4'te çekme bölgesine yakın bölgede (1 noktası) az da olsa deplasman olduğu ancak uzaklaşıldıkça (4 noktası) deplasmanın azaldığı hatta sıfır olduğu görülmektedir.

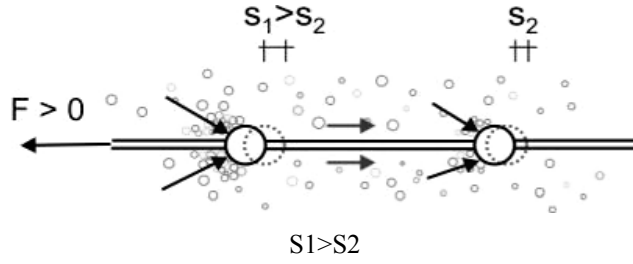
*Çizelge 4. Farklı geogrid göz açıklıklarında her bir noktanın deplasman değerleri*

Geogrid Göz Açıklıkları	Deplasman Değerleri (m)							
	Nokta 1		Nokta 2		Nokta 3		Nokta 4	
	Görüntü Ölçümleri	Sensör Ölçümleri	Görüntü Ölçümleri	Sensör Ölçümleri	Görüntü Ölçümleri	Sensör Ölçümleri	Görüntü Ölçümleri	Sensör Ölçümleri
3 cm x 3 cm	0,001	0,00042	0,001	0,00040	0,000	0,00037	0,000	0,00037
4 cm x 4 cm	0,002	0,00044	0,001	0,00041	0,000	0,00037	0,001	0,00039
5 cm x 5 cm	0,001	0,00040	0,002	0,00040	0,001	0,00039	0,000	0,00038

Çizelge 4 incelendiğinde görüntü ölçümleri ve sensör ölçümleri arasında fazla fark olmadığı görülmektedir. Yani her iki yöntemle elde edilen veriler yaklaşık olarak yakın değerlerdir ve değerler hemen hemen sıfıra yakındır. Bu da pullout kutusu içinde hem görüntüleme yöntemine hem de sensörlerden okunan değerlere dayanarak fazla deplasman olmadığını göstermektedir. Bunun sebepleri şöyle irdelenebilir:

- Çok iyi bir sıkıştırma yapılarak ve sabit düşey yük tatbik ederek deneye başlandığı için kutu içinde sıfıra yakın bir hareketlilik gözlenmektedir.
- Deney anında çekme kuvveti etkisi pullout kutusu içine fazla iletilmemekte, kutu dışında kopma oluşmaktadır.
- Geogridin göz açıklığının farklı olmasının (3 cm x 3 cm, 4 cm x 4 cm, 5 cm x 5 cm) deplasmanlar üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Her bir açıklığa sahip geogridin mukavemetinin yaklaşık aynı olması da buna sebep olabilir. Pullout kutusu içinde her göz açıklığındaki geogrid sıfıra yakın bir deplasman göstermiştir.

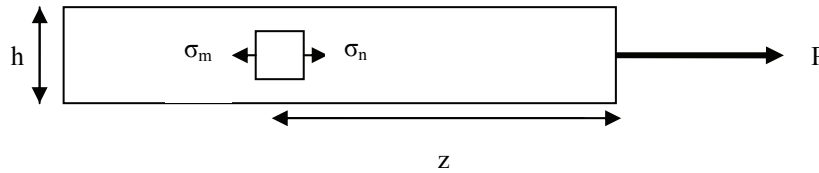
Bu husus literatürde de açıklanmaktadır. Nernheim [15], çalışmasında geogridin çekme bölgesine yakın elemanlarda çekme bölgesine uzak elemanlara kıyasla daha çok hareketlilik olduğunu göstermiştir. Pullout testlerinde çekme bölgesinden uzaklaştıkça deplasman ve birim şekil değiştirme sıfıra yaklaşmaktadır. Şekil 11’de çekme uygulanan geogridin davranışı görülmektedir.



Şekil 11. Yük transferi [15]

Şekil 11’de eğimli oklar çekmenin aksi yöndeki çakılların hareket yönünü göstermektedir. Yuvarlak kısımlar geogridin enlem ve boylam elemanlarının birleşim yerlerinin (düğüm noktaları) çekme sonrası konumlarını, kesikli çizgi ile gösterilen yuvarlak kısımlar ise çekmeye başlandığı andaki konumlarını göstermektedir. F kuvvetiyle çekilen geogride çekme bölgesine yakın geogrid eleman S1 kadar deplasman yaparken çekme bölgesine daha uzak olan eleman S2 kadar deplasman yapmaktadır. Teorik olarak  $S_1 > S_2$  şeklinde ifade edilmektedir [15]. Bu da sıkıştırılmış tabakalar arasındaki geogride çekme kuvveti uygulandığında, geogridin her noktasında aynı deplasmanların oluşmadığını göstermektedir. Çekme bölgesine yakın kısımlarda gerilme ve deplasmanlar fazla oluşmakta, bu bölgeden uzaklaştıkça gerilme ve deplasmanlar azalmaktadır. Çizelge 4’te gösterildiği gibi yatay yöndeki en fazla deplasman değeri çekme bölgesine en yakın olan 1 noktasında, en az deplasman değeri ise çekme bölgesine en uzak olan 4 noktasında elde edilmiştir.

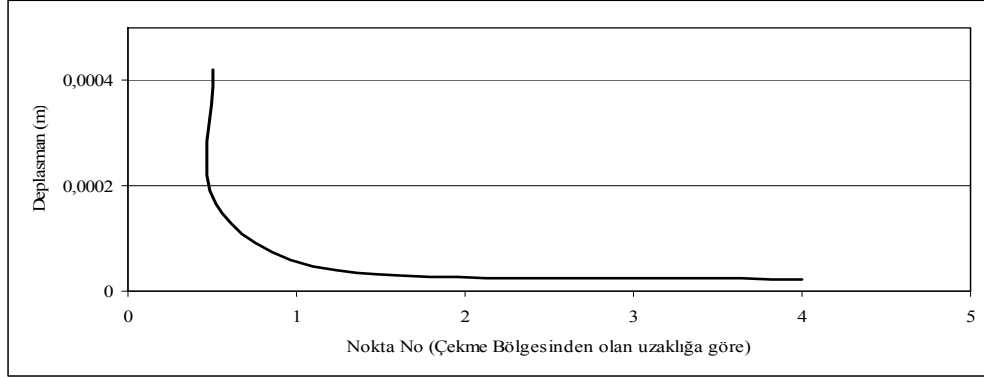
Bu durumu Saint Venant prensibi de doğrulamaktadır. Saint Venant Prensibine göre çekme bölgesinden uzaklaştıkça gerilmeler giderek azalmaktadır. Şekil 12’de malzeme içinden alınmış küçük bir kesit görülmektedir. Çekme bölgesine yakın yerden kesit alınırsa n gerilmesi m gerilmesinden büyük olacaktır. Ancak z mesafesi arttıkça yani çekme bölgesinden uzaklaştıkça m, n’ ye eşit olacak ve bir noktadan sonra değişmeyecektir. Dolayısıyla çekme bölgesinden z kadar uzaklaştıkça n gerilmesi azalmış olacaktır [19].



Şekil 12. Çekme bölgesinde z kadar derinlikteki kesit eleman [19]

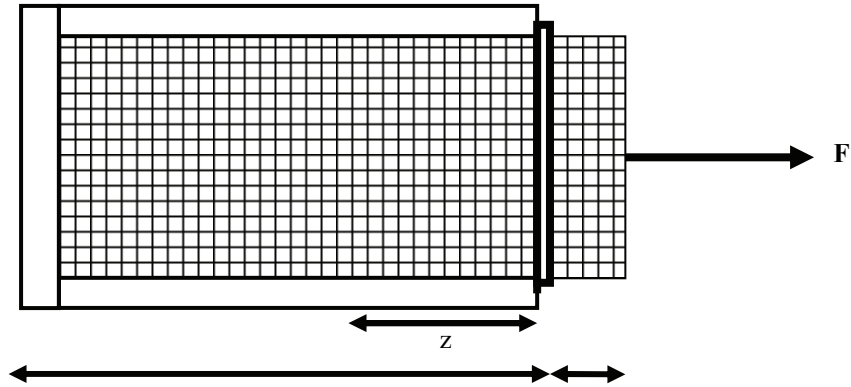
### Pullout Test Aleti ile Karayolu Alttemelinde Geogrid Performansının Araştırılması

Şekil 12’de gerilmeler ile çekme bölgesinden uzaklaşılan z mesafesi arasında exponansiyel bir değişim vardır [19]. Pullout testlerinde de Çizelge 4’te ki gibi kutu içinde sıkıştırılmış tabakalar arasındaki geogridin fazla deplasman yapmadığı sonucunun ortaya çıkması Saint Venant Teorisinde açıklandığı şekildedir. Şekil 13, geogrideki deplasmanların kutu içine doğru çekme bölgesinden z kadar ilerledikçe exponansiyel olarak azaldığını göstermektedir.



Şekil 13. Çekme bölgesinden olan uzaklığa göre numaralandırılmış noktaların deplasman değişimi

Geogridin pullout davranışı geogridin pullout kutusu içinde ve dışında kalan kısmı olmak üzere 2’ye ayrılabilir. Kopmalar çoğunlukla kutu dışında meydana gelmiştir. Pullout kutusu içerisinde ise sadece çekme bölgesine yakın bölgelerde deplasmanlar görülmektedir, çekme bölgesinden uzaklaşıldığında ise deplasmanlar sıfır olmaktadır. Bu durum kayma mukavemetinin de deplasmanların da çekme bölgesi yakınlarında yoğunlaştığını göstermektedir.

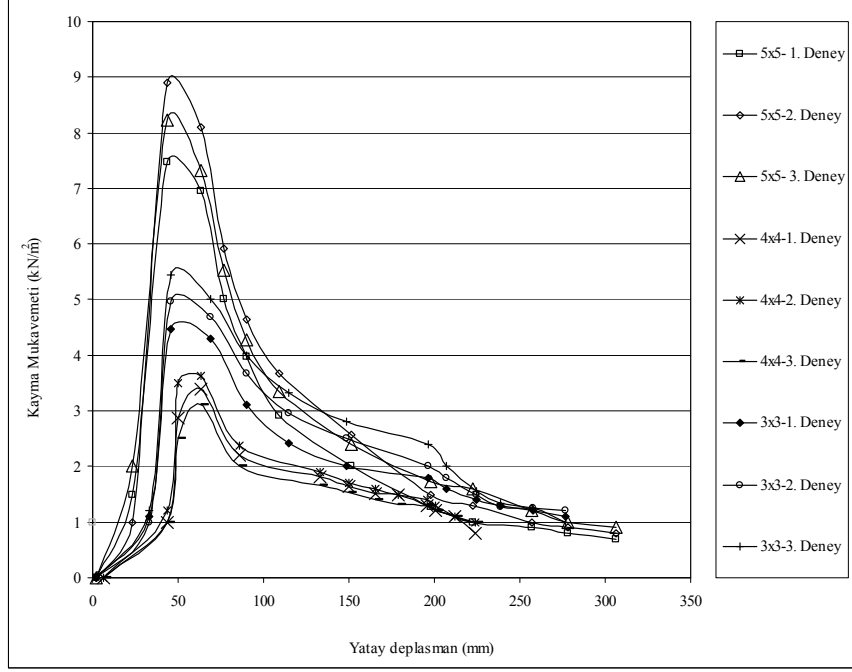


(a) Geogridin pullout kutusu içinde kalan kısmı (b) Geogridin pullout kutusu dışında kalan kısmı

Şekil 14. Pullout kutusu içindeki geogridin plandan görünüşü



## 5.2. Kayma Mukavemetleri Yönünden İrdeleme



Şekil 15. Kayma mukavemetinin-deplasman değişimi

Şekil 15'e göre 4 cm x 4 cm göz açıklıklı geogridin en az çekme kuvvetiyle koptuğu ve diğerlerine göre daha az deplasman gösterdiği anlaşılmaktadır. En fazla deplasman ve çekme gösteren 5 cm x 5 cm göz açıklıklı geogriddir. 3 cm x 3 cm göz açıklıklı geogrid ise performans olarak 4 cm x 4 cm ile 5 cm x 5 cm arasında kalmaktadır. Grafiklerin hepsi, sabit bir düşey yük altında geogride uygulanan çekme kuvveti etkisiyle uzama davranışı göstermekte kopma noktasında en yüksek değer oluşturmakta bu değerden sonra geogrid koptuğundan artık mukavemet gösterememekte ve sifıra yaklaşmaktadır. Geogridin kopmaya başladığı çekme değeri maksimum çekme kuvveti olarak kabul edilmiştir. Çizelge 5'te geogridlerin koptuğu anda göstermiş oldukları en büyük çekme kuvveti değerleri ve buna göre hesaplanmış kayma mukavemetleri görülmektedir.

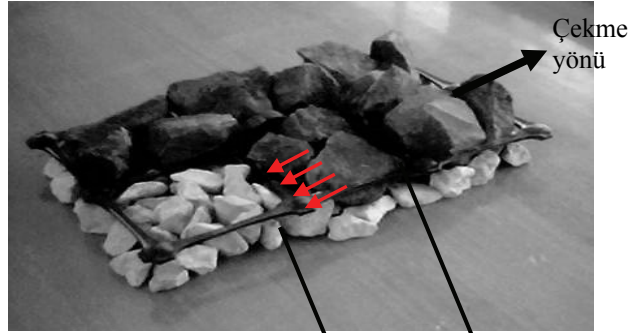
Çizelge 5. Kayma Mukavemeti Değerleri

Geogrid Göz Açıklığı Boyutları	Kayma Mukavemeti Değerleri (kN/m <sup>2</sup> )			
	1. Deneysel	2. Deneysel	3. Deneysel	Ortalama Değerler
3 cm x 3cm	9,02	8,42	7,52	8,32
4 cm x 4 cm	3,15	3,39	3,72	3,42
5 cm x 5 cm	4,6	5,12	5,68	5,13

### *Pullout Test Aleti ile Karayolu Alttemelinde Geogrid Performansının Araştırılması*

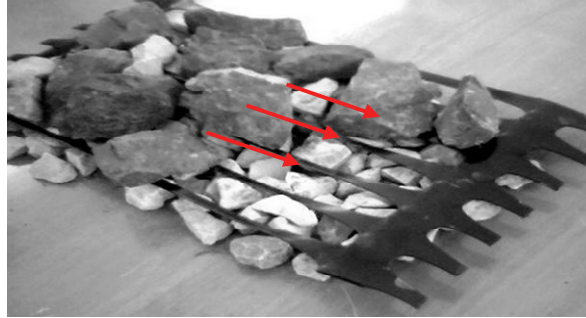
Göz açıklığının mukavemet değerleri üzerindeki etkisi şu şekilde açıklanabilir:

- Geogrid malzemenin göz açıklığı ile agrega gronülometrisi uyumunun son derece önemli olduğu görülmektedir. Burada kullanılan geogridlerden 5cmx5cm göz açıklıklı geogrid alttemel malzemesini iyi bir şekilde göz açıklığı içerisinde penetre ederek kenetlenme etkisi ortaya çıkarmaktadır Yani agrega taneleri geogridin açıklığı içerisinde tutularak dağılması önlenmektedir. Bunun için en yüksek mukavemet değeri göstermiştir (Şekil 16.a).
- Küçük göz açıklıklı geogridde ise (Şekil 16.b) agrega taneleri açıklık içerisinde penetre edilememektedir yani sadece yüzeyde kalarak sürtünme etkisi meydana getirmektedir.



Çakılların geogrid içinde penetre edilmesi

(a)



(b)

*Şekil 16.(a) Agregaların geogrid açıklığı içinde penetre edilmesi durumu, (b) Agregaların geogrid açıklığı içinde penetre edilmeyip yüzey sürtünmesi oluşturması durumu*

Alttemel malzeme, içerisinde iri ve incisi olan uygun gronülometride dağılım gösteren bir malzemedir. İçinde az da olsa iri boyutlu agregalarda bulunduğu için küçük göz açıklıklı

geogridler sadece yüzey sürtünmesi sağlamaktadır. Ancak deneylerde kullanılan 5 cm x 5 cm göz açıklıklı geogrid alttemelde kullanılan agregalara en uygun geogrid türüdür ve deneylerde iyi bir dayanım göstermiştir.

## **6. SONUÇLAR**

Bu çalışmada karayolunda taban zemini ile alttemel arasında yapılan güçlendirmede kullanılan geogrid göz açıklığının kayma mukavemeti açısından önemi araştırılmıştır. Üç farklı geogrid kullanılarak ve her biri 3 defa tekrarlanarak yapılan deneyler incelendiğinde görülmektedir ki 3 cm x 3 cm göz açıklığındaki geogridler ile 4 cm x 4 cm göz açıklığındaki geogridler yaklaşık sırasıyla 3,5 ve 5 kN/m<sup>2</sup> kayma mukavemet değerleri göstermektedir. Yani bu iki farklı göz açıklığı arasında mukavemet değerleri fazla değişmeyip yaklaşık olarak yakın değerlerdedir. Ancak 5 cm x 5 cm geogrid ile yapılan deney sonuçları 8 kN/m<sup>2</sup> kayma mukavemeti göstermektedir. Bu da diğer iki göz açıklığının gösterdiği değer in yaklaşık 1,5 veya 2 katıdır. Karayolu yapımında taban zemini ile alttemel tabakası arasına güçlendirme amaçlı yerleştirilen geogridlerden 5 cm x 5 cm göz açıklıklı türün en iyi performans verdiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Eğer geogrid donatının farklı granülometride malzeme arasında kullanılması gerekiyorsa (alttemel yerine temel tabakası gibi) farklı göz açıklıklı geogridler daha ideal sonuçlar verebilirdi. Ancak bu çalışmada Türkiye karayollarında serilmekte olan alttemel malzeme granülometrisi ile göz açıklığı bakımından en uyumlu olan geogrid türünün 5 cm x 5 cm göz açıklıklı geogrid olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca 3 cm x 3 cm göz açıklığındaki geogridler ile 4 cm x 4 cm göz açıklığındaki geogridlerin agregaları içinde penetre edebilecek kapasitede olmadığı, 5 cm x 5 cm göz açıklıklı geogrid kullanılmasının ise kayma mukavemeti performansı üzerinde olumlu etkileri olacağı düşünülebilir. Deplasmanlar bakımından göz açıklığı farkının çok önemli etkisi olmadığı sonucu da ortaya çıkmıştır.

## **Teşekkür**

Bu çalışmanın hazırlanmasında ve deney düzeneğinin kurulmasında vermiş olduğu destekten ötürü TÜBİTAK 1001 Araştırma Projeleri Birimi'ne ve yardımcılarından ötürü Eyüp Gedikli'ye teşekkür ederiz.

## **Kaynaklar**

- [1] [www.peer.berkeley.edu/publications/peru\\_earthquake/Ground%20](http://www.peer.berkeley.edu/publications/peru_earthquake/Ground%20).
- [2] Kooh., Kim, Y., Lifetime Prediction of Geogrids for Reinforcement of Embankments and Slopes, 24, 181–188, 2004.
- [3] Guo, Y. C., Xin, C., Song, M., He Y., Study on Short- and Long-term Creep Behavior of Plastics Geogrid, Polymer Testing, 24, 793–798, 2005.
- [4] Bakeer, R. M., Sayed, S. M., Cates, P., Subramanian R., Pullout and Shear Tests on Geogrid Reinforced Lightweight Aggregate, Geotextiles and Geomembranes, 16, 119-133, 1998.

*Pullout Test Aleti ile Karayolu Alttemelinde Geogrid Performansının Araştırılması*

- [5] Alagiyawanna, A. M.N., Sugimoto, M., Sato, S., Toyota, H., Influence of Longitudinal and Transverse Members on Geogrid Pullout Behavior During Deformation, *Geotextiles and Geomembranes*, 19, 483–507, 2001.
- [6] Farrag, K., Pull-out Resistance of Geogrid Reinforcements”, *Geotextiles and Geomembranes*, 12, 133-159, 2003.
- [7] Raymond, G., Reinforced Ballast Behaviour Subjected to Repeated Load, *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 39-61, 2002.
- [8] Teixeira, S. H. C., Bueno, B. S. ve Zornberg, J. G., Pullout Resistance of Individual Longitudinal and Transverse Geogrid Ribs, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental\_Engineering*, 133, 37-50, 2007.
- [9] Bakeer, R. M., Sayed, S. M., Cates, P., Subramanian, R., Pullout and Shear Tests on Geogrid Reinforced Lightweight Aggregate, *Geotextiles and Geomembranes*, 16, 119-133, 1998.
- [10] Guo, Y. C., Xin, C., Song, M. ve He, Y., Study on Short- and Long-term Creep Behavior of Plastics geogrid, *Polymer Testing*, 24, 793–798, 2005.
- [11] Austin, R. A., Gilchrist, A. J. T., Enhanced Performance of Asphalt Pavements Using Geocomposites, *Geotextiles and Geomembranes*, 14, 175-186, 1999.
- [12] Moraci, N., Recalcati, P., Factors Affecting the Pullout Behaviour of Extruded Geogrids Embedded in a Compacted Granuler Soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 24, 220-242, 2006.
- [13] Moraci, N., Gioffre, D., A Simple Method to Evaluate the Pullout Resistance of Extruded Geogrids Embedded in a Compacted Gronuler Soil, *Geotextiles and Geomembranes*, 24, 116-128, 2005.
- [14] Sugimoto, M., Alagiyawanna, A. M. N., Pullout Behaviour of Geogrid by Test and Numerical Analysis, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129, 361-371, 2003.
- [15] Nernheim, A., Design and Test Methods for Geosynthetic Reinforced Structures. *EJGE*, 2004.
- [16] Alfaro, M. C. , Hayashi, S., Miura, N., Watanabe, K., Pullout Interaction Mechanism of Geogrid Strip Reinforcement, *Geosynthetics International*, Vol 2 , No 4 , 679-698, 1995.
- [17] Sugimoto, M., Alagiyawanna, A. M. N., Pullout Behavior of Geogrid by Test and Numerical Analysis, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 129, No.4, 2003.
- [18] Mohiuddin, A., Analysis of Laboratory And Field Pull-Out Tests Of Geosynthetics In Clayey Soils, A Master Thesis, Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 2003.
- [19] Batra, R. C., Yang, J. S., Saint Venant Principle for Linear Elastic Porous Materials, *Journal of Elasticity*, 39: 265-271, 19