



## PALPLANŞ DUVARLARDA ÇAKMA DERİNLİĞİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Recep AKAN\*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Kum, Palplanş Duvar, Ankraj, Derin Kazı, Çakma Derinliği.</i>	Bu çalışma kapsamında, yeraltı su seviyesinin 3 m olduğu farklı içsel sürtünme açısına sahip kum zeminlerde 9 m serbest kazı yükseliğine sahip tek ankrajlı palplanş duvar tasarlanmıştır. Bu tasarım, hesaplanan teorik çakma derinliğinin farklı oranlarda artırılarak ve ankraj derinliği değiştirilerek farklı kombinasyonlarda geleneksel tasarım metodu ile çözülmüş ve ankraj kuvveti ile palplanş kesitinde oluşan maksimum eğilme momentinin değişimi incelenmiştir. Sonuçlar gerçek çakma derinliğinin teorik çakma derinliğine oranı arttıkça ve ankraj derinliği azaldıkça ankraj kuvvetinin azaldığını, maksimum eğilme momentinin ise arttığını ve dalgalı bir davranış sergilediğini göstermiştir. Ankraj kuvveti ve eğilme momentinin minimum olması için ankraj derinliğinin 3.5 m' den küçük ve mümkün olduğunca yukarıda, gerçek/teorik çakma derinliği oranı ise 1.28 – 1.35 civarlarında olması önerilmektedir.

## INVESTIGATION THE EFFECT OF EMBEDMENT DEPTH ON SHEET PILE WALL

Keywords	Abstract
<i>Sand, Sheet Pile Wall, Anchor, Deep Excavation, Embedment Depth.</i>	Within the scope of this study, a single anchored sheet pile wall that has a free excavation height of 9 m has been designed in sand soils which have different internal friction angles where the groundwater level is 3 m. This design has been solved by the conventional design method in different combinations by increasing the calculated theoretical embedment depth in different proportions and changing the depth of anchor so that the variation of the maximum bending moment formed in the anchorage force and sheet pile section has been examined. The results showed that the anchor force decreases and the maximum bending moment increases while the ratio of the actual depth to the theoretical depth of embedment increases and the depth of anchor decreases. In order for the anchorage force and maximum bending moment to be minimum, it is recommended that the anchorage depth is less than 3.5 m and as high as possible, and the actual / theoretical embedment depth ratio is around 1.28 - 1.35.

### Alıntı / Cite

Akan, R., (2020). Palplanş Duvarlarda Çakma Derinliğinin Etkisinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 552-561.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

R. Akan, 0000-0002-9277-1659

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	17.02.2020
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	01.04.2020
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	04.04.2020
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	25.06.2020

### 1. Giriş (Introduction)

İnşaat mühendisliğinde zeminde kazı yapma ihtiyacı sıkça karşılaşılan bir durumdur. Özellikle eğimli arazide gerçekleştirilecek baraj, yol ve yapı inşaatları için yapılacak kazılarda öncelikle şev stabilitesi incelenmeli ve şevin duraylılığı sağlanmalıdır (Kilit ve Çavuş, 2019). Kazı yapılacak zeminin kendisini tutabilmesi için kohezyonlu zemin olması gerekir. Aksi durumda zemin kendini tutamayacağından zemin kazısı gereken durumlarda zemin istinat veya palplanş duvar gibi dayanma yapıları ile desteklenmelidir. Kendisini tutamayan granüler zeminlerde ya da kohezyonunun yeterli olmadığı durumlarda kil zeminlerde mutlaka destekli kazı yapılması gerekmektedir.

\* İlgili yazar / Corresponding author: recepakan@hotmail.com, +90-246-211-1197

Bu yapıların tek başına yeterli olmadığı durumlarda ilave uygulama olarak zemine geotekstil malzeme ile güçlendirme işlemi yapılarak zemin stabilitesi artırılabilir (Pınarlık vd., 2017) Bu çalışma kapsamında hesabı gerçekleştirilen ve dayanma yapılarından olan palpaş duvarlar genellikle rıhtım yapıları, batardolar, baraj yapıları, derin kazı sistemlerinde zemini tutan yapılar olarak kullanılabilirler (Amer, 2013). Diğer istinat duvarlarının yapımının aksine, palpaş duvarların inşası genellikle alanın susuzlaştırılmasını gerektirmez (Das, 2014) ve palpaşlar aynı zamanda destekli kazılar gibi bazı geçici yapılar için de kullanılırlar.

Palpaşlar, ankrajlı ve ankrajsız olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanabilmekte birlikte genellikle yaklaşık 4-5 m derinliğe kadar olan kazılarda konsol sistem tercih edilebilirken daha yüksek kazılarda ve duvar deformasyonun önemli olduğu durumlarda ankrajlı sistem tasarlanması uygun olacaktır (NCHRP, 2008).

Ağırlıksız konsol duvarlarda, düşey duvar elemanlarının kayma ve eğilme rijitliği ve bitmiş kazı derinliğinin altındaki topraktan gelen pasif direnç ile destek sağlanır. Ankrajlı duvarlarda ise bu bileşenlere ilaveten ankrajların sağladığı yanal dirençten de istifade edilir (FHWA, 1999).

Palpaş duvarın tasarımı sistemin genel kararlılığı, palpaşın moment dayanımı esasına dayanarak deneme yanılma prosedürü ile yapılmaktadır (Das, 2015). Ankrajlı durumda ankrajların çekme kapasitesi ve gerekli durumlarda duvarın ve arkasındaki zeminin deformasyonu göz önünde bulundurulması gerekebilmektedir.

Ankrajlı sistemlerde ankraja gelecek kuvveti ve dolayısıyla palpaş duvarın en kesitinde meydana gelecek eğilme momentini etkileyen önemli parametre çakma derinliğidir. Sistemin dengede kalabilmesi için gerekli minimum derinlik olmakla birlikte uygulamada bu derinlik belli oranlarda artırılarak gerçekleştirilmektedir. Gerekli minimum çakma derinliğinin ve uygulamada gerçekleştirilecek gerçek çakma derinliği ile ankrajın derinliği ( $I_1$ ) stabilizeyi göz ardı etmeden ekonomikliğe yönelik olarak planlanabilir.

Bu konuyla ilgili Fenerci(2010), yaptığı çalışmada 5 m' den daha yüksek durumlarda aşırı moment artışlarından dolayı maliyetin fazlasıyla dolayı ankraj kullanılmasının uygun olacağını ifade etmiş ve ankraj kullanılması durumunda gerekli duvar yüksekliğinin % 40 civarında azaldığını ortaya koymuştur. Chowdhury vd. (2013), arazide gerçekleşen bir kazı çalışmasını numerik model kullanarak hesaplamış ve arazideki ölçümlerle uyumunu incelemiş, belli kazı, belli gömme derinliği ve çakma derinliği için özel tip payanda düzenlemesi ile mümkün olan en iyi çözüme ulaşılabildiği sonucuna varmıştır. Mahdi ve Ebid (2015), konsol bir palpaş duvarın çakma derinliğinin %20-40 oranında artırılmasının her zaman güvenli ve ekonomik sonuç vermediğini belirtmiş ve optimum çakma derinliğinin seçilmesi için yeni bir yöntem önermiştir. Das, M.R. ve Das, S.K. (2015), killi zeminde inşa edilen konsol ve ankrajlı palpaş duvarın maliyetini düşürebilmek amacıyla optimum ankraj ve çakma derinliği tasarımını incelemiş ve ankraj derinliğini arttırmanın yüksek ankraj kuvvetine neden olurken gerekli çakma derinliğini de azalttığını ortaya koymuştur. Emeraj ve Seleem (2017), Plaxis yazılımını kullanarak çift ankrajlı bir palpaş sistemini farklı kum parametreleri, farklı palpaş rijitlikleri, farklı çakma derinliği ve farklı ankraj derinlikleri için irdeleyen bir parametrik çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda alttaki ankrajda üstteki ankraja göre her zaman daha büyük kuvvetler, daha rijit palpaşta her zaman daha fazla eğilme momenti, daha sıkı zeminde hem daha düşük ankraj kuvvetleri hem de palpaş kesitinde daha düşük eğilme momenti meydana geldiği belirtilmiştir. Almosawi ve Suhail (2019) bir sonlu elemanlar programı ile konsol ve ankrajlı bir sistemi farklı çakma derinlikleri için analiz etmiş, ankraj kuvveti ve eğilme momentlerinin değişimini incelemiştir. Ayrıca, literatürde palpaş duvarın ekonomik olarak optimize edilebilmesi açısından eğilme momenti ve ankraj kuvvetinin değişimini çeşitli programlar vasıtasıyla irdeleyen başka çalışmacılar da mevcuttur (Örnek vd., 2007; Bhanuchitra ve Prusty, 2010; Yazici ve Keskin, 2019).

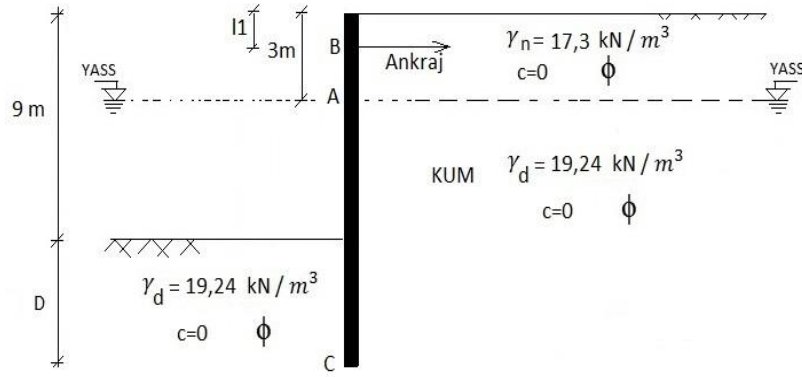
Bu çalışma kapsamında gevşek, orta sıkı ve sıkı kum zeminlerde tek ankrajlı bir derin kazı sistemi, farklı ankraj derinliği ve gerçek/teorik çakma derinliği oranlarında çözülmüştür. Hesaplar, geleneksel tasarım metodu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve çok sayıda kombinasyonun çözülmesi için gerekli iş yükünü hafifletmek adına çözüm algoritması MATLAB R2015a programında kodlanarak ankraj kuvvetleri ve palpaş duvar kesitinde meydana gelecek maksimum eğilme momentleri hesaplanmıştır. Sonuçlar MATLAB R2015a programından matris şeklinde yazdırılmış ve bu sonuçlar düzenlenerek tablo ve grafikler haline getirilmiştir. Farklı ankraj derinliği, farklı zemin koşulları ve farklı palpaş duvar gerçek çakma derinliği oranının ankraj kuvveti ve maksimum eğilme momenti üzerindeki etkileri incelenmiş ve bu değerlerin minimuma yaklaşması için uygun ankraj derinliği ve uygulamada yapılacak çakma derinliği artışı için uygun oran önerisinde bulunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot (Material and Method)

### 2.1. Problemin Modellenmesi (Modeling the Problem)

Çalışma kapsamında içsel sürtünme açısı  $\phi = 30$  ,  $\phi = 35$  ,  $\phi = 40$  ve  $\phi = 45$  olan kumlar için farklı modeller

kurulmuştur. Bu modeller de serbest kazı derinliği 9 m ve yer altı su seviyesi YASS = - 3 m olarak sabit değer seçilmiştir. Tasarlanan model Şekil 1' de gösterilmiştir.

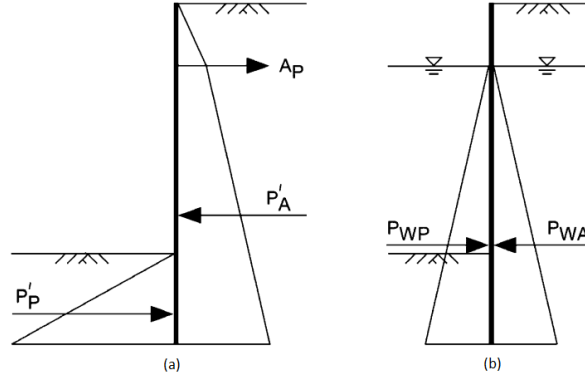


Şekil 1. Zemin profili ve palplanj duvar modeli (Soil profile and sheet pile wall model)

Tek ankrājlı ve zemine ankastre olmayan bir palplanj duvarda meydana gelen maksimum eğilme momentleri ve ankrājlara gelen çekme kuvvetlerinin değişimi incelenmiştir. Bu değişimi incelemek amacıyla her farklı kum zemin modelinde 0.5 m, 1.5 m, 3.5 m, 4.5 m ve 5.5 m derinliklere ankrāj konulmuş ve bu durumlara ait minimum çakma derinlikleri teorik olarak hesaplanmıştır. Bu derinlikler kurulan her model için belirli oranlarda artırılarak (2 katına kadar) çakma derinliği artırma oranının palplanj kesitinde oluşacak maksimum eğilme momentini ve ankrāj kuvvetindeki değişim incelenmiştir.

## 2.2. Problemin Çözümü (Solving the Problem)

Mevcut problemin çözümü için geleneksel tasarım metodu kullanılmıştır. Bu bağlamda, zemine ankastre olmayan palplanj duvarlara gelen aktif ve pasif toprak basıncı ile hidrostatik su basınçları Şekil 2' de gösterilmiştir (Bilgin, 2012).



Şekil 2. Palplanj duvara etkiyen (a) aktif ve pasif toprak yükleri (b) hidrostatik su basınçları ( (a) Active and passive earth pressures (b) hydrostatic water pressures acting on the sheet pile wall) (Bilgin, 2012)

Palplanj duvara gelen tüm yükler aşağıda belirtilen formüller (Eşitlik 1-7) kullanılarak belirlenmiştir;

Aktif toprak basınç katsayısı  $K_a$  :

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (1)$$

Pasif toprak basınç katsayısı  $K_p$  :

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

Aktif tarafta C seviyesinde etkiyen yatay efektif gerilme  $\sigma'_{hA}$  ve pasif tarafta C seviyesinde etkiyen yatay efektif gerilme  $\sigma'_{hP}$  :

$$\sigma'_{hA} = \sigma'_{vA} * K_a \quad (3)$$

$$\sigma'_{hP} = \sigma'_{vP} * K_p \quad (4)$$

Aktif toprak kuvveti  $P_A$  ve pasif toprak kuvveti  $P_P$ :

$$P_A = \frac{1}{2} * \sigma'_{hA} * (9 + D) \quad (5)$$

$$P_P = \frac{1}{2} * \sigma'_{hP} * D \quad (6)$$

Hidrostatik su basınçları  $P_{WA}=P_{WP}$  ise :

$$P_{WA}=P_{WP}=\frac{1}{2} * \gamma_w * (6+D)^2 \quad (7)$$

olmak üzere palplanş duvara gelen tüm yükler belirlenmiştir. Yapılan hesaplarda suyun birim hacim ağırlığı ( $\gamma_w$ ),  $9.81 \text{ kN/m}^3$  olarak alınmıştır.

Daha sonra yapılacak olan gerekli minimum çakma derinliği, ankraja gelen kuvvetin hesabı ve palplanş en kesitine gelen maksimum eğilme momenti hesabının aşamaları aşağıdaki gibidir.

1) Ankraj noktasında etrafında toplam moment  $\sum M = 0$  koşulunu sağlayan teorik çakma derinliği ( $D_t$ ) belirlenir.

2) Belirlenen  $D_t$  derinliğiyle birlikte tüm sistemin yatay kuvvetler dengesi  $T_x = 0$  koşulunu sağlayan ankraj kuvveti ( $T$ ) belirlenir.

3) Sistemde bilinmeyen kuvvet kalmamıştır ve palplanş en kesitine ankrajın altında kalan bölgede gelecek en büyük eğilme momenti ( $M_{max}$ ) kesme kuvvetinin sıfır olduğu derinlikte ( $z$ ) oluşacaktır. Yatay kuvvet dengesinden  $z$  derinliği belirlenir ve bu noktada meydana gelecek moment hesaplanarak  $M_{max}$  bulunur.

4) Ankraj noktasında oluşacak moment ( $M_B$ ) belirlenir (Eşitlik 8) ve  $M_{max}$  ile kıyaslanarak palplanş en kesitine etkiyecek en büyük eğilme momenti ( $M_{MAKS}$ ) bulunur.

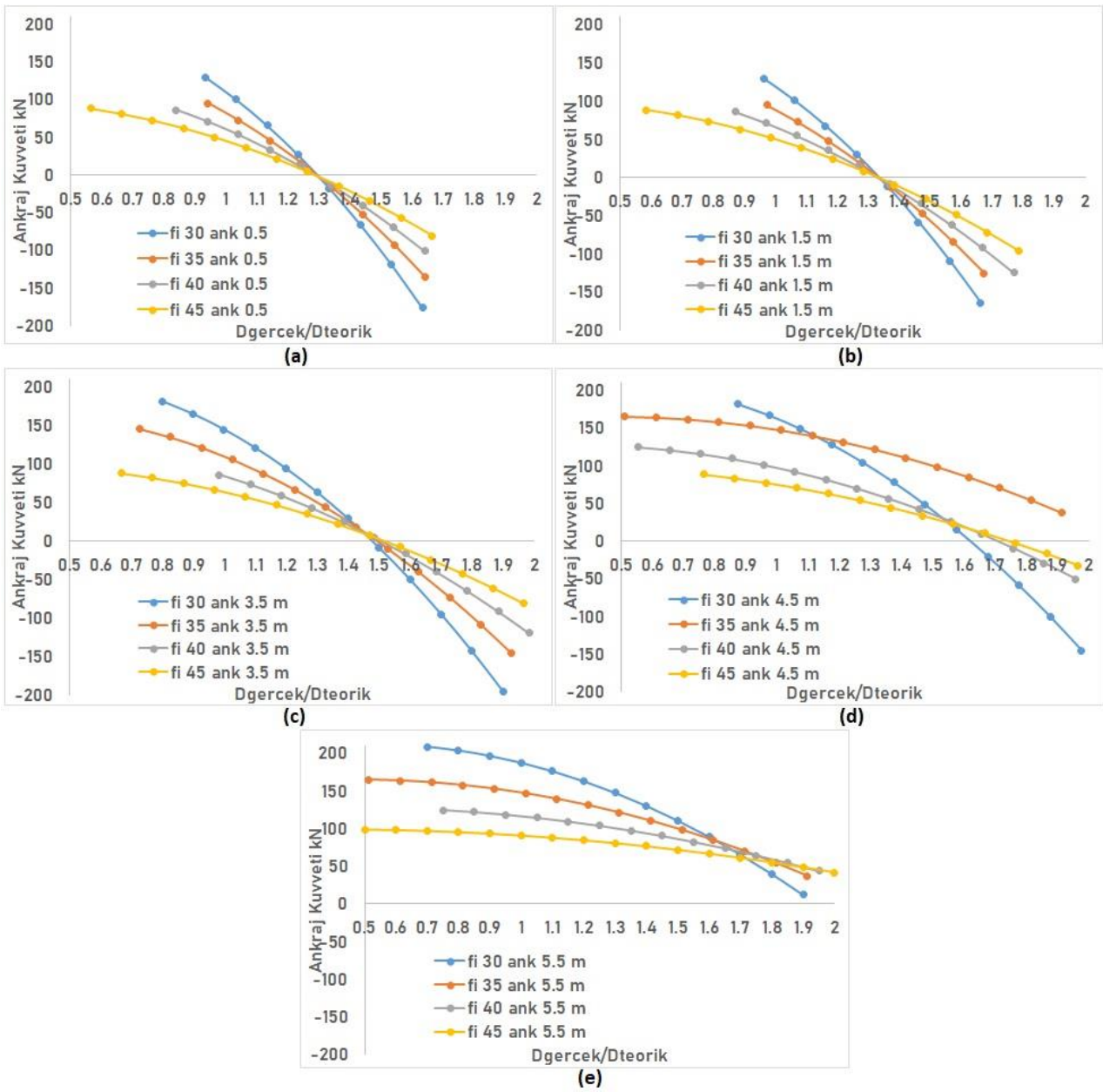
$$M_B = \frac{1}{6} * \gamma_n * K_a * (l_1)^3 \quad (8)$$

Tüm bu işlemler farklı içsel sürtünme açısına sahip kum zemin, farklı ankraj derinliği ve farklı oranlarda artırılmış çakma derinliği kombinasyonları için gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin elle yapılması bir hayli fazla zaman gerektireceğinden bu hesaplar MATLAB R2015a programında kod yazılarak program vasıtasıyla yaptırılmış ve sonuçlar -grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur.

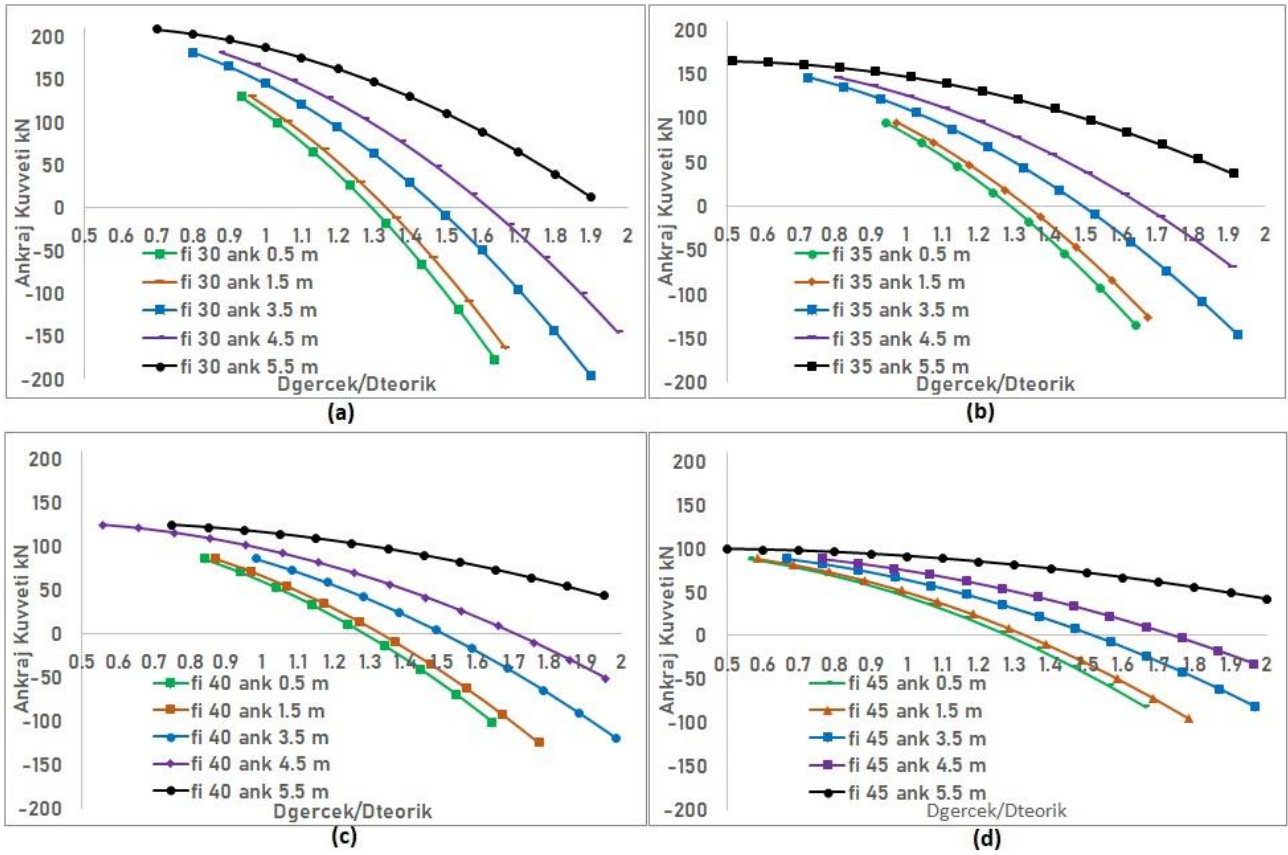
### 3. Araştırma Bulguları ve Tartışma (Results and Discussion)

#### 3.1. Ankraj Kuvveti ile İlgili Sonuçlar (Results of Anchorage Force)

Ankraj kuvveti ankraj derinliği azaldıkça ve çakma derinliği arttıkça azalmaktadır. Ankraj kuvveti belli bir ankraj derinliği için tüm kum zemin için benzer çakma derinliği oranında sıfırlanmakta ve çakma derinliği arttıkça negatif değerlere geçmekte yani basınç alır duruma gelmektedir (Şekil 3). Aynı kum zeminde farklı ankraj derinliğine sahip modellerde ise ankraj kuvvetinin sıfırlandığı ve basınç almaya başladığı çakma derinliği oranı değişiklik göstermektedir. Bu çakma derinliği oranı zeminin içsel sürtünme açısından ( $\emptyset$ ) bağımsız olarak ankraj derinliği 0.5 m, 1.5 m, 3.5 m, 4.5 m ve 5.5 m için yaklaşık olarak 1.3, 1.34, 1.48, 1.62 ve 1.94' tür (Şekil 4).



**Şekil 3.** Ankraj kuvvetinin a) l1=0.5 m b) l1=1.5 m c) l1=3.5 m d) l1=4.5 m e) l1=5.5 m ankraj derinlikleri için farklı gerçek çakma derinliğiyle değişimi (Variation of anchor force with different embedment depths for anchorage depths are a) l1=0.5 m b) l1=1.5 m c) l1=3.5 m d) l1=4.5 m e) l1=5.5 m)



**Şekil 4.** Ankraj kuvvetinin a)  $\phi=30$  b)  $\phi=35$  c)  $\phi=40$  d)  $\phi=45$  olan kum zeminler için farklı gerçek çakma derinliğiyle değişimi (Variation of anchor force with different embedment depths for internal frictions of sand are a)  $\phi=30$  b)  $\phi=35$  c)  $\phi=40$  d)  $\phi=45$ )

### 3.2. Eğilme Momenti ile İlgili Sonuçlar (Results of Bending Moment)

Ankraj seviyesi alt seviyelere indikçe ankraj noktasında meydana gelen  $M_B$  momenti büyümektedir ve bu değer çakma derinliğinden bağımsız olarak sadece ankraj derinliğine bağlıdır. Bu yüzden  $M_B$ , ankrajın altındaki bölgede meydana gelen maksimum eğilme momentinden ( $M_{max}$ ) daha büyük olduğu durumlar için palpaşın tüm kesitinde meydana gelen maksimum moment ( $M_{MAKS}$ ) çakma derinliği artsa bile sabit değerde seyretmektedir (Şekil 5).

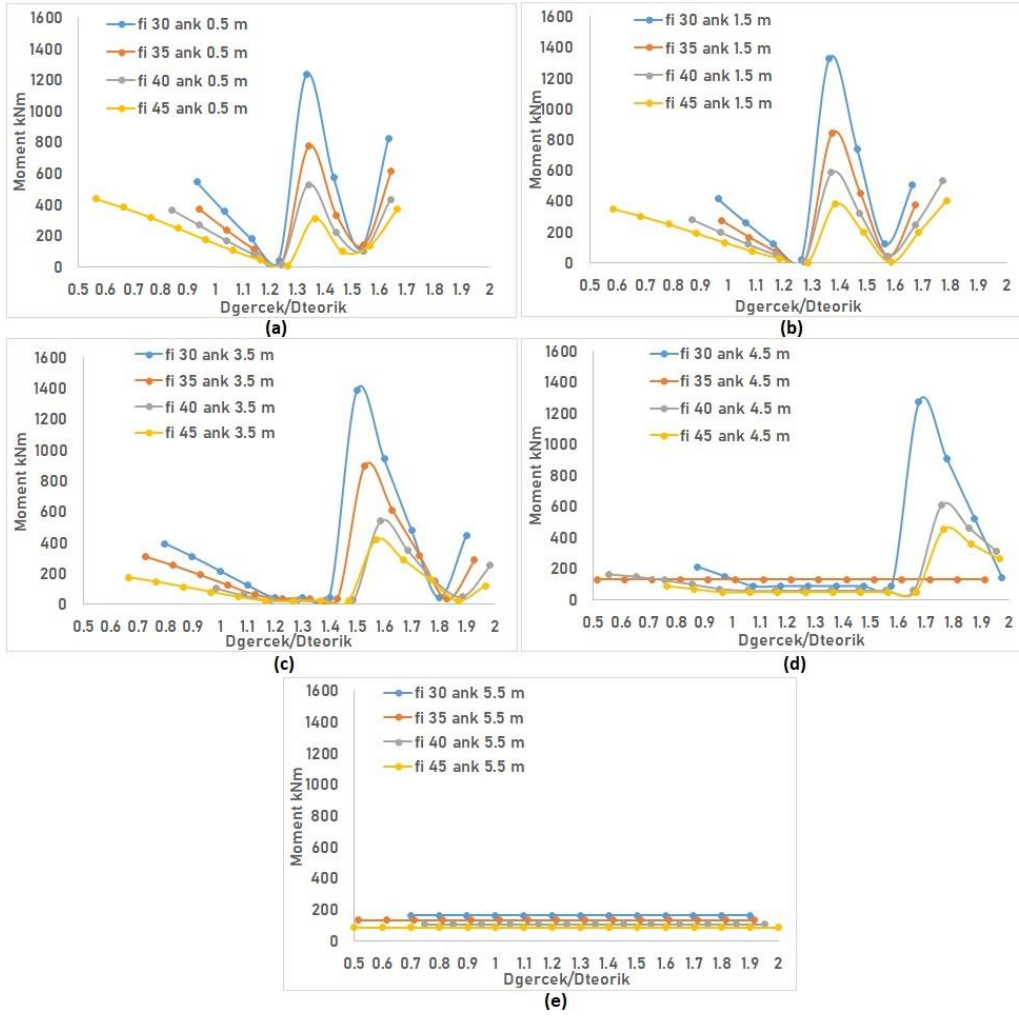
$M_{MAKS}$ 'ın çakma derinlik oranı ile değişmeyip sabit kaldığı durum 0.5 m ve 1.5 m ankraj derinliği için görülmemekte ancak 3.5 m ve 4.5 m ankraj derinliği için kısmen, 5.5 m ankraj derinliği için ise tüm çakma derinliği oranlarında görülmektedir (Şekil 5).

Eğilme momentinin genel olarak  $\phi=30$  olan kum zeminde en büyük ve  $\phi=45$  olan kum zeminde ise en düşük değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 5).

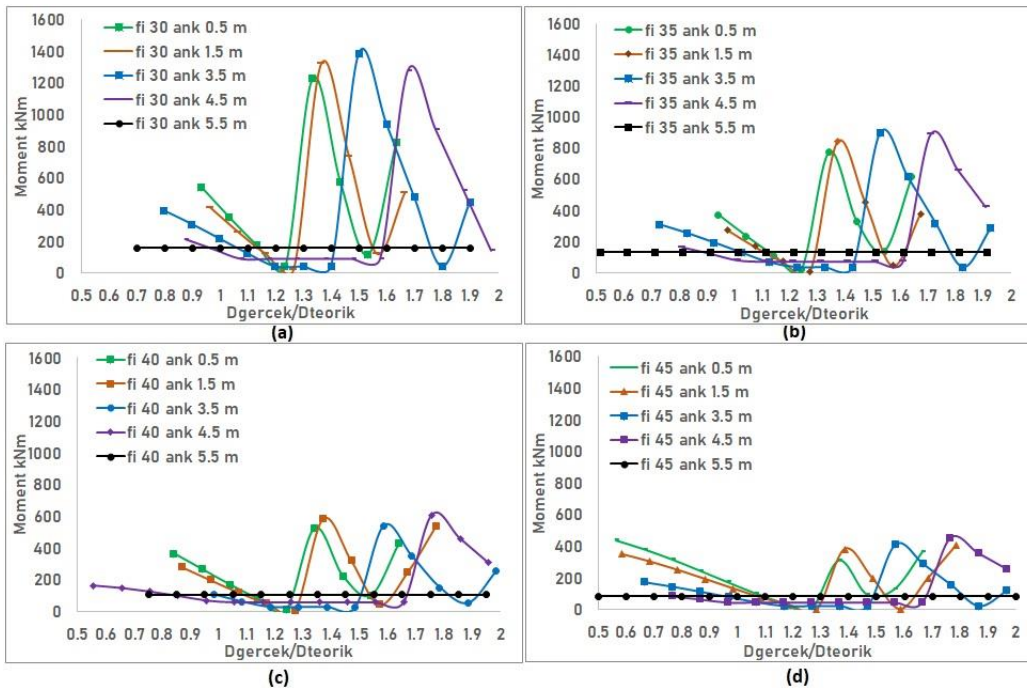
Eğilme momentinin genel davranışına bakıldığında 5.5 m ankraj derinliği hariç çakma derinliğinin artışıyla birlikte ilk olarak azalma, daha sonra ani olarak aşırı bir artış, tekrar azalma ve daha sonra tekrar artış şeklinde dalgalı bir davranış görülmektedir. Davranış dalgalanmalarının olduğu çakma derinliği oranlarının farklı ankraj derinliği durumları için değişkenlik gösterirken zeminin  $\phi$  değerinden genel olarak etkilenmediği görülmüştür (Şekil 6).

İlk azalma davranışından sonra meydana gelen ani moment artışı ankraj kuvvetinin belli bir çakma derinliğinden sonra negatif değerler aldığı çakma derinliği oranına karşılık gelmesinden (Şekil 3-4) dolayı bu durum ankrajın basınç kuvveti almasına bağlı olarak momentin aşırı artması olarak değerlendirilmiştir (Şekil 6).





Şekil 5. Eğilme momentinin a) l1=0.5 m b) l1=1.5 m c) l1=3.5 m d) l1=4.5 m e) l1=5.5 m ankray derinlikleri için farklı gerçek çakma derinliğiyle değişimi (Variation of maximum bending moment with different embedment depths for anchorage depths are a) l1=0.5 m b) l1=1.5 m c) l1=3.5 m d) l1=4.5 m e) l1=5.5 m )



Şekil 6. Eğilme momentinin a) phi=30 b) phi=35 c) phi=40 d) phi=45 olan kum zeminler için farklı gerçek çakma derinliğiyle değişimi (Variation of maximum bending moment with different embedment depths for internal frictions of sand are a) phi=30 b) phi=35 c) phi=40 d) phi=45 )

### 3.3. Uygun Ankraj Derinliği ve Çakma Derinliği Belirlenmesi ile İlgili Sonuçlar (Results of Anchor and Embedment Depth)

Farklı kum zeminler için yapılacak 9 m kazının ankrajlı palplanş tasarımının minimum ankraj kuvveti ve minimum eğilme momenti meydana getirecek şekilde yapılması için belirlenen teorik çakma derinlikleri iki katına kadar artırılmış ve ankraj derinliği 0.5 m' den 5.5 m' ye değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda bu amaca en yakın değerler etrafında araştırma derinleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2' de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Farklı zemin ve tasarım kombinasyonlarına ait hesap sonuçları (Results of different soil and design combinations )

$\emptyset$ (°)	l1 (m)	$\frac{D_{gerçek}}{D_{teorik}}$	T (kN)	Mmax (kNm)	M <sub>B</sub> (kNm)	MMAKS (kNm)	
30	0.5	1.280	5.736	-2.525	0.120	2.525	**
30	1.5	1.320	6.274	3.241	3.244	3.244	
30	3.5	1.460	6.268	15.777	41.208	41.208	
30	4.5	1.600	6.418	22.496	87.581	87.581	
30	5.5	1.920	5.983	27.162	159.905	159.905	
35	0.5	1.280	3.021	-0.776	0.098	0.776	**
35	1.5	1.320	4.389	2.580	2.637	2.637	
35	3.5	1.480	3.450	9.286	33.501	33.501	
35	4.5	1.660	0.647	2.684	71.201	71.201	
35	5.5	2.100	1.959	9.581	129.998	129.998	
40	0.5	1.280	1.462	-0.128	0.078	0.128	**
40	1.5	1.320	3.081	1.993	2.116	2.116	
40	3.5	1.500	1.289	3.800	26.881	26.881	
40	4.5	1.700	0.686	2.812	57.132	57.132	
40	5.5	2.280	2.600	12.261	104.310	104.310	
45	0.5	1.280	0.582	0.048	0.062	0.062	**
45	1.5	1.320	2.158	1.502	1.670	1.670	
45	3.5	1.500	2.802	7.241	21.210	21.210	
45	4.5	1.740	0.176	0.751	45.080	45.080	
45	5.5	2.500	0.341	1.766	82.306	82.306	

Tablo 1 yardımı ile her kum zemin durumu için en uygun durumlar elenerek Tablo 2' de bir arada sunulmuştur.

**Tablo 2.** Farklı kum zeminlere ait en uygun ankraj derinliği ve çakma derinliği oranı (Ideal anchorage depths and Dg/Dt ratios of different sand soils)

$\emptyset$ (°)	l1 (m)	$\frac{D_{gerçek}}{D_{teorik}}$	T (kN)	Mmax (kNm)	M <sub>B</sub> (kNm)	MMAKS (kNm)	
30	0.5	1.280	5.736	-2.525	0.120	2.525	**
30	1.5	1.320	6.274	3.241	3.244	3.244	
35	0.5	1.280	3.021	-0.776	0.098	0.776	**
35	1.5	1.320	4.389	2.580	2.637	2.637	
40	0.5	1.280	1.462	-0.128	0.078	0.128	**
40	1.5	1.320	3.081	1.993	2.116	2.116	
45	0.5	1.280	0.582	0.048	0.062	0.062	**
45	1.5	1.320	2.158	1.502	1.670	1.670	

Sonuçlar incelendiğinde serbest kazı derinliği 9 m ve yeraltı su seviyesi 3 m olmak üzere en düşük ankraj kuvveti ve eğilme momentleri tüm kum zeminler için 0.5 m ankraj derinliği ve teorik çakma derinliğinin % 28 artırıldığı durumda elde edilmiştir. Bu durumda gerçek çakma derinliği  $\emptyset = 30$ ,  $\emptyset = 35$ ,  $\emptyset = 40$  ve  $\emptyset = 45$  olan kum zemin için sırasıyla 5.50 m, 4.08 m, 3.04 m ve 2.27 m' dir.



#### 4. Sonuç (Conclusion)

Çalışma kapsamında 9 m serbest kazı yüksekliği ve 3 m yeraltı su seviyesi olan bir zemin profilinde ankrajlı palplanş duvarda farklı kum zemin ve farklı ankraj derinliklerinde ankraj kuvveti ve eğilme momentinin değişimi incelenmiştir.

Ayrıca bu değişime uygulamadaki gerçek çakma derinliği ile teorik olarak gerekli minimum çakma derinliği oranının (Dg/Dt) etkisi incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Ankraj kuvveti, ankraj derinliği azaldıkça ve Dg/Dt oranı arttıkça azalmaktadır.
- Ankraj kuvveti belli bir ankraj derinliği için incelenen tüm kum zeminler için benzer Dg/Dt oranında sınırlanmaktadır.
- Dg/Dt oranı belli bir değeri aştığında ankrajlara gelen kuvvetler negatif olmakta, ankrajlar basınç alır duruma gelmektedir.
- Aynı kum zeminde, farklı ankraj derinlikleri için ankraj kuvvetinin basınç almaya başladığı Dg/Dt oranı değişiklik göstermektedir.
- Eğilme momenti genel olarak  $\phi=30$  olan kum zeminden  $\phi=45$  olan kum zemine doğru azalmaktadır.
- Eğilme momenti 5.5 m ankraj derinliği hariç diğer durumlarda genel olarak Dg/Dt' nin artışıyla birlikte ilk olarak azalma, daha sonra ani bir artış, tekrar azalma ve daha sonra tekrar artış şeklinde dalgalı bir davranış göstermektedir.
- Davranış değişikliklerinin görüldüğü Dg/Dt oranları farklı ankraj derinlikleri için değişkenlik gösterirken zeminin  $\phi$  değerinden genel olarak etkilenmemektedir.
- Eğilme momentinde görülen ilk azalma bölgesinden sonra meydana gelen ani yükseliş, ankraj kuvvetinin negatif değerler almaya başladığı Dg/Dt oranına denk gelmektedir. Bu yüzden aşırı eğilme momenti artışının ankrajın basınç kuvveti alır duruma gelmesi sebebiyle olduğu düşünülmektedir.
- Bazı Dg/Dt oranlarında ankraj seviyesindeki eğilme momentinin ( $M_B$ ) ankrajın alt bölgesinde hesaplanan maksimum momentten ( $M_{max}$ ) daha büyük olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde ankrajın alt ve üst bölgelerini kapsayan tüm kesite ait maksimum moment (MMAKS) sabittir. Bunun sebebi  $M_B$  momentinin çakma derinliğinden bağımsız olmasıdır.
- MMAKS değerinin sabit kaldığı bu davranış 0.5 m ve 1.5 m ankraj derinliği için görülmemektedir. Fakat 3.5 m ve 4.5 m ankraj derinliği için kısmen, 5.5 m ankraj derinliği için ise tüm Dg/Dt oranlarında görülmektedir. Bunun sebebi 5.5 m ankraj derinliğinde  $M_B$  momentinin çok büyük olması ve alt bölgede oluşacak momente nazaran büyük olmasıdır.
- Ankraj kuvveti ve eğilme momentinin minimum seviyede olacağı uygun Dg/Dt oranı tüm kum zeminlerde 0.5 m ankraj derinliği için 1.28 civarındadır. Daha büyük çakma derinlikleri için ani moment artışları konusunda hesap gerekmektedir.
- Dg/Dt oranının 1.28 olduğu durumda çakma derinliği  $\phi = 30$ ,  $\phi = 35$ ,  $\phi = 40$  ve  $\phi = 45$  olan kum zemin için sırasıyla 5.50 m, 4.08 m, 3.04 m ve 2.27 m' dir.
- Minimum moment ve ankraj kuvveti elde edebilmek için ankraj mümkün olduğunca yukarıda olmalı ve teorik çakma derinliği % 28 – 32 oran aralığında artırılmalıdır.
- Sonuçlar çalışılan zemin koşulları ve tasarım için geçerlidir. Farklı serbest kazı yüksekliği ve zemin koşulları için sonuçlar irdelenmelidir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

**Kaynaklar (References)**

- Almosawi, A.J, Suhail, K.S., 2019. Effect of Penetration Depth on the Behaviour of Walling Beam Sheet Piles Using Finite Element Method. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 10(6), 941-952 .
- Amer, H.A.R., 2013. Effect of Wall Penetration Depth on the Behaviour of Sheet Pile Walls. University of Dayton, M.Sc. Thesis. 145p, Dayton.
- Bhanuchitra, M., Prusty, S.B., 2010. Optimal Design of the Shoring System: A Parametric Study. *Indian Geotechnical Conference*, 16-18 Aralık, Mumbai, 223-227.
- Bilgin, Ö., 2012. Lateral Earth Pressure Coefficients for Anchored Sheet Pile Walls. *International Journal of Geomechanics*, 12(5), 584-595.
- Chowdhury, S.S., Deb, K., Sengupta, A, 2013. Estimation of Design Parameters for Braced Excavation: Numerical Study. *International Journal of Geomechanics*, 13(3), 234-247.
- Das, B.M., 2014. *Principle of Foundation Engineering* 8th Edition. Global Engineering, 709p, United States of America.
- Das, M.R., Das, S.K., 2015. Optimal Design of Sheet Pile Wall Embedded in Clay. *The Institution of Engineers*, 96(3), 249-258.
- Emarah, D.A., Seleem, S.A., 2018. A Numerical Study of Anchored Sheet Piles Subjected to Different Types of Sandy Soils Backfill. *Housing and Building National Research Center Journal*, 14, 422-430.
- Fenerci, E., 2010. Palplanş Perdeli Derin Kazı Destek Sistem- lerinde Zemin Kesiti ve Tasarım Yönteminin Etkisi. *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 106, Sakarya.
- FHWA-IF-99-015, 1999. *Geotechnical Engineering Circular No 7 Ground Anchors and Anchored Systems*. FHWA, Washington.
- Kilit, M., Çavuş, Ş.U., 2019. Investigation of Influence of Berm Heights, Gradient of Slope Excavation and Groundwater Depths On Safety of Weak Rock Slope, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 7(4), 761-766.
- Mahdi, İ.M., Ebid, A.M., 2015. Optimum Penetration Depth of Cantilever Sheet Pile Walls in Dry Granular Soil Based on Reliability Analysis Concept and Its Impact on the Shoring System Cost. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 4(5), 11-21.
- NCHRP Report 611, 2008. *Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Buried Structures, Slopes and Embank-ments*. NCHRP, Washington.
- Örnek, M., Laman, M., Yıldız, A, Demir, A., Tekinsoy, M.A., 2007. Ankrajlı İksa Sistemlerinin Sayısal Analizi. 2. Geo-teknik Sempozyumu, 22-23 Kasım, Adana, 216-229.
- Pınarlık M., Öztürk Kardoğan P. S., Kılıç Demircan R., 2017. Şev Stabilesine Zemin Özelliklerinin Etkisinin Limit Denge Yöntemi İle İrdelenmesi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(3), 675 - 684.
- Yazıcı, M.F., Keskin, S.N., 2019. İki Ankrajlı Çelik Palplanş Sisteminin Optimum Tasarımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 10(1), 34-50.