

NUMERICAL ANALYSES OF ANCHORED SHORING SYSTEMS

M. ÖRNEK	M. LAMAN	A. YILDIZ	A. DEMİR	M. A. TEKİNSOY
Res. Asist.	Prof. Dr.	Asist. Prof. Dr.	Res. Asist.	Prof. Dr.

Çukurova University, The Faculty of Engineering and Architecture,
Civil Engineering Department, Adana, TURKEY

ABSTRACT

In the present study, the numerical analyses of sheet piled and anchored shoring systems for providing the stability of an excavation were conducted. In numerical analyses, PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis) computer program was used. The effects of the parameters such as the number of anchors, the length of anchors, the angle of anchors, the length of sheet piles, groundwater level and loads on soils behind sheet pile on stability of shoring system were investigated. In the analysis, lateral and vertical displacements, bending moments and shear forces arise in sheet pile, settlements occurred in soil behind sheet pile, strut forces, anchorage forces and the safety coefficient of shoring system were evaluated and the results were discussed.

ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİNİN SAYISAL ANALİZİ

M. ÖRNEK	M. LAMAN	A. YILDIZ	A. DEMİR	M. A. TEKİNSOY
Arş. Gör.	Prof. Dr.	Yrd. Doç. Dr.	Arş. Gör.	Prof. Dr.

Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Adana, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada; kum zeminde kazı sonrası duraylılığı sağlamak amacıyla inşa edilen palplanş ve ankrajlı iksa sistemlerinin sayısal analizi yapılmıştır. Sayısal analizlerde, PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis) bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Analizler sırasında ankraj sayısı, ankraj boyu, ankraj açısı, palplanş boyu, yeraltı su seviyesi, palplanş arkası zemindeki yük miktarı gibi parametrelerin, iksa sisteminin duraylılığına etkileri araştırılmıştır. Her bir parametrenin analizinde palplanş perdesinde oluşan yanıl ve düşey deformasyonlar, eğilme momentleri, kesme kuvvetleri, palplanş arkasındaki zeminde oluşan oturma değerleri, payandaya gelen kuvvetin büyüklükleri, ankraj kuvvetleri ve iksa sisteminin güvenlik sayısı değerleri hesaplanmış, sonuçlar yorumlanmıştır.

GİRİŞ

Yapıların sağlam zemine oturtulmasını sağlamak, temeli su ve don gibi etkilerden korumak ve zemin içerisinde inşaat alanı elde etmek gibi nedenlerle, inşaatla başlamadan önce kazı (hafriyat) yapılmalıdır. Kazılar, genişlik ve derinliğine göre tesviye kazısı, derin kazı ve özel kazılar olarak sınıflandırılırlar. Kazı işlemine geçmeden önce kazılacak zeminin özelliklerini ve yeraltı su seviyesinin durumunu belirlemeye dair bir etüt yapılmalı, kazılacak yerin etrafında varsa mevcut yapıların zarar görmemesi için bir takım önlemler alınmalı, zemin altı yapıların durumu (telefon, elektrik, havagazı, su, kanalizasyon hattı gibi) tespit edilmeli ve kazı yöntemi belirlenmelidir. Kazı esnasında da yine kazılacak zeminin özelliğine ve kazı çevresindeki yapıların durumuna göre bir takım önlemler alınmalıdır. Uzun süre açık kalmayacak olan, çeşitli nedenlerle sarsılmayan, etrafına hiçbir yük konulmayan, kendini tutabilen zeminlerde, dar alanlarında 1.5 m, geniş alanlarında 2.0 m derinliğe kadar temel duvarını kaplamaya gerek olmayabilir, ancak daha derin kazılarda çeşitli önlemlerin alınması

gerekmektedir. Bu amaçla kazılarda bir kaplama sistemi (iksa) oluşturulmasına ihtiyaç vardır (Çil, (3); Kumbasar ve Kip, (4)).

Herhangi bir geoteknik tasarımda (temel çukuru, hendek, karayolu, tünel, galeri vs) bir kazı yapılması gerektiği durumda kazı yan yüzeylerinin göçmemesi, başka bir ifadeyle sistemin duraylılığının sağlanması gerekmektedir (Uzuner, (6)). Duraylılığın sağlanması amacıyla yapının türü ve amacına bağlı olarak palplanş, ankraj, diyafram duvar, püskürtme beton, kazık perde, payanda, kalıcı kaplama, askıya alma vs gibi bir takım geoteknik elemanlar teşkil edilerek iksa sistemi oluşturulur.

Palplanşlar, kazı esnasında ve sonrasında kazı duraylılığını sağlayan geoteknik yapı elemanlarındandır. Palplanşlar aynı zamanda, yeraltı sularının kazı sahasına veya temel çukuruna girmesini önlemek amacıyla da kullanılırlar. Palplanşlar yapıldıkları malzemeye ve yapılış şekillerine göre ahşap, betonarme, fore kazıklı ve metal palplanşlar olarak gruplara ayrılmaktadır. Palplanşlar destekli veya desteksiz olarak tasarlanabilirler. Geoteknik tasarımlarda ankraj sistemleri palplanşlara destek olarak kullanılabilirler. Genelde eğik olarak tasarlanan ankrajlar, palplanşları zemine bağlarlar. Çelik çubuklar şeklinde üretilen ankraj çubukları 10-30 cm çapında delici burgularla, gerekirse kaplama borusu da kullanılarak; zeminin delinmesi, deliğin içine çelik çubukların yerleştirilmesi ve çubuk çevresindeki boşluğun – varsa kaplama borusu çekilerek – enjeksiyonla doldurulması ile teşkil edilirler. Enjeksiyon, aktif bölge dışındaki uzunluğa uygulanır. Çelik ankraj çubukları, yüzey kaplamasına (palplanş, diyafram duvar vs) sabitlenir. Bazı durumlarda ankraj çubuklarında öngerme işlemi yapılabilir. Ankraj çubukları çekme kuvvetine maruz kalırken bu kuvvet, ankraj çubuğu çevresindeki sürtünmelerle karşılanır (Aytekin, (1); Önalp ve Sert (5)).

Sonlu elemanlar yöntemi diferansiyel denklemlerle ifade edilen mühendislik problemlerinin analizi için geliştirilen sayısal bir çözüm yöntemidir. Sürekli bir ortam sonlu elemanlara bölünerek denklemler her bir eleman için yazılır ve integre edilerek sistem denklemleri elde edilir. Sonuçta sürekli bir ortam için göz önüne alınan diferansiyel denklem lineer bir denklem takımına indirgenir. Bilgisayar yardımı ile çözülebilir (hız ve optimizasyon olanağı) olması, geliştirilen formülasyonun bir çok probleme uygulanabilir olması, karmaşık geometri, yükleme, sınır koşulları ve malzeme durumunu dikkate alıyor olması, seçilen birincil bilinmeyenler (yer değiştirme, akım potansiyeli vs) ile bunlara bağımlı ikincil bilinmeyenleri (gerilme, şekil değiştirme, akım miktarı, hız vs) birlikte ele alıyor olması ve bütünlük problemlerin [gerilme-şekil değiştirme (statik) ve konsolidasyon (dinamik) gibi] çözümünde

kolaylık sağlaması sonlu elemanlar yönteminin avantajları olarak sıralanabilir. Bilgisayar kapasitesine bağımlı (bellek ve cpu hızı) olması ve yaklaşık bir yöntem olmasından dolayı gerçek çözüme çok yakın sonuçların ancak yeterli eleman kullanılarak elde edilebiliyor olması sonlu elemanlar yönteminin dezavantajlarından (Çil, (3)).

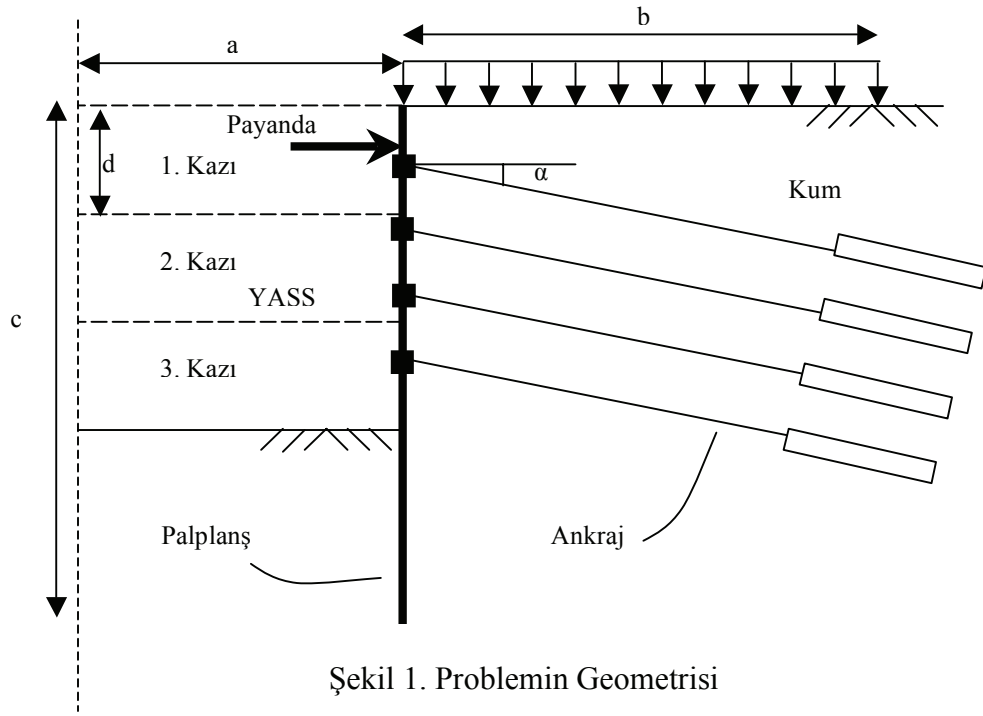
PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), geoteknik mühendisliğindeki deformasyon ve duraylılık problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmesi için tasarlanmış bir bilgisayar yazılımıdır (Brinkgreve, (2)). İlk olarak, 1987 yılında Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile kolay bir şekilde analiz edilebilmesi için tasarlanmıştır. Sonraki yıllarda ise, geoteknik mühendisliğinin diğer uygulama alanlarını da kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Bu çalışmada, PLAXIS 8.2 sürümü kullanılmıştır. Analizler, 2 boyutlu olarak düzlem deformasyon geometri koşullarında yapılmıştır. Yazılımda, malzemenin gerilme-deformasyon davranışı lineer olmayan çözüm teknikleri ile modellenmektedir. PLAXIS, çok yönlü ve karmaşık bir yapı arz eden geoteknik uygulamaların analizi için önemli özelliklerle donatılmıştır (Yıldız, (7)).

SAYISAL ANALİZ

Bu çalışmada; kum zeminde kazı sonrası duraylılığı sağlamak amacıyla inşa edilen palplanş ve ankrajlı iksa sistemlerinin sayısal analizi yapılmıştır. Bu amaçla PLAXIS programı tasarımcıları tarafından belirli zaman dilimlerinde yayımlanan bültenlerden alınan bir iksa problemi daha karmaşık bir hale getirilmek suretiyle bir geometri oluşturulmuş, bu geoteknik tasarım üzerinde farklı parametreler irdelenerek sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Problemin geometrisi Şekil (1)'de sunulmuştur.

Analizlerde, tek bir zemin türü (kum zemin) ve Pekleşme Zemin Modeli kullanılmış, problem, düzlem birim deformasyon (plane strain) koşullarında ele alınmış, sonlu elemanlar ağı orta (medium) sıklıkta seçilmiş, payandanın yeri zemin yüzeyinden 0.50 m derinlikte ve kazıların ikişer metrelik üç adet yapıldığı varsayılmıştır. Çalışmada toplam 39 adet farklı analiz yapılmıştır.

Analizlerde kullanılan zemin, palplanş, payanda ve ankraja ait özellikler Tablo (1)'de verilmiştir. Tabloda yer alan jet grout, ankraj imalatında zerk edilen çimento şerbetini temsil etmektedir.



Şekil 1. Problemin Geometrisi

Tablo 1. Analizlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Zemin		
Parametre	Birimi	Değeri
γ_n	kN/m ³	19.00
γ_{dovgun}	kN/m ³	20.00
E_{50}^{ref}	kN/m ²	4.5×10^4
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	4.5×10^4
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	1.8×10^4
c	kN/m ²	1.00
ϕ	Derece	35.00
ψ	Derece	5.00

Palplanş		
Parametre	Birimi	Değeri
EA	kN/m	2.52×10^6
EI	kNm ² /m	8064.00
w	kN/m/m	0.655
d	m	0.196
Türü	---	Elastik

Ankraj		
Parametre	Birimi	Değeri
EA	kN	2.00×10^5
$L_{spacing}$	m	2.50
Türü	---	Elastik

Jet Grout		
Parametre	Birimi	Değeri
EA	kN/m	1.00×10^5
Türü	---	Elastik

Payanda		
Parametre	Birimi	Değeri
EA	kN	1.50×10^6
$L_{spacing}$	m	5.00
Türü	---	Elastik

Analizlerde 6 farklı değişken parametre sırasıyla ankraj sayısı, ankraj boyu, ankraj açısı, palplanş boyu, YASS ve yayılı yük olarak ele alınmış, her bir parametre incelemesinde optimum değerler elde edildikten sonra bir diğer parametrenin analizine geçilmiştir. Analizlerde sabit alınan değerler Tablo (2)'de sunulmuştur.

Tablo 2. Analizlerde Sabit Alınan Parametreler

Parametre	Ankraj Sayısı	Ankraj Boyu (m)	Ankraj Açısı (°)	Palplanş Boyu (m)	YASS (m)	Yayılı Yük (kN/m ²)	Analiz Sayısı
Ankraj Sayısı (N)	Değişken	5	45	10	-4.00	300	7
Ankraj Boyu (L)	3	Değişken	45	10	-4.00	300	5
Ankraj Açısı (A)	3	7	Değişken	10	-4.00	300	6
Palplanş Boyu (H)	3	7	15	Değişken	-4.00	300	5
YASS (S)	3	7	15	12.5	Değişken	300	7
Yayılı Yük (Y)	3	7	15	12.5	-4.00	Değişken	9

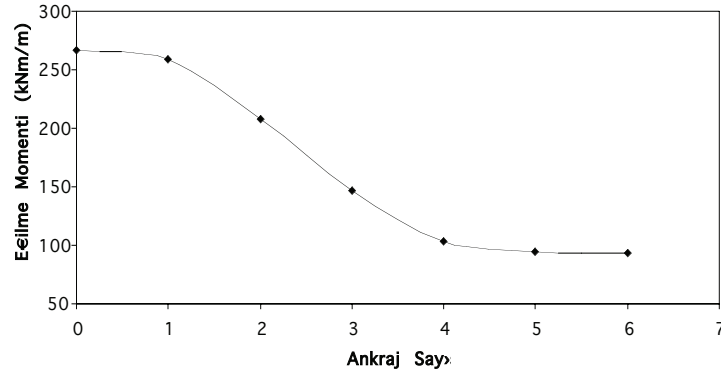
1) Ankraj Sayısının (N) Etkisi

Problemde diğer parametreler sabit tutularak, ankrajsız ve ankraj sayısı 1'den 6'ya kadar artırılarak analizler yapılmıştır. Elde edilen deformasyon, kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo (3)'te verilmektedir. Buradan, ankraj sayısının iksa sistemi duraylılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ankraj sayısı arttıkça, palplanş yanal hareketlerinde azalmalar, ankrajların palplanşı düşey harekete zorlaması nedeniyle palplanş düşey hareketlerinde ise artışlar meydana gelmiştir. Palplanş tasarımlarında kullanılan eğilme momenti ve kesme kuvveti de ankraj sayısı arttıkça azalmıştır. Palplanş arkası zeminde meydana gelen oturma miktarı ile payanda tarafından karşılanan yük miktarında ise, artan ankraj sayısına bağlı olarak azalmalar meydana gelmiştir. Ankrajsız (N=0) durumda palplanş arkası zeminde meydana gelen oturma miktarı, 6 adet ankrajın kullanıldığı duruma göre (N=6) %50'ye varan oranlarda azalmıştır. Ankraj sayısı arttıkça her bir ankraja gelen yüklerde de azalmalar meydana gelmiştir. N=1 durumunda ankraja gelen yük, N=6 durumunda ilk ankraja gelen yükün 5.0 katı mertebesinde dir. Analizlerde 1. ankraj yüzeye en yakın, 6. ankraj ise en derindeki ankrajdır. Bu ilk parametrenin analizinde palplanş hareketlenmelerinin makul seviyelere indiği kabulü yapılarak ve yapı maliyeti de göz önüne alınarak, bundan sonraki analizlerde optimum değer olarak N=3 kullanılmıştır (Tablo (2)).

Ankraj sayısına bağılı olarak eğilme momentinde meydana gelen değişimler Şekil (2)'de ayrıca grafik olarak ta görülmektedir.

Tablo 3. Ankraj Sayısının Etkisi

N	Palp. Yanal Def. (cm)	Palp. Düşey Def. (cm)	Palp. Mak. Eğilme Mom. (kNm/m)	Palp. Mak. Kesme Kuv. (kN/m)	Palp. Ark. Otur. Mik. (cm)	Pay. Kuv. (kN/m)	Ankraj Kuvvetleri (kN/m)					
							1	2	3	4	5	6
0	22.78	3.545	266.12	504.83	26.52	772.4	0	0	0	0	0	0
1	21.88	4.513	258.84	431.20	26.02	767.7	102.5	0	0	0	0	0
2	17.92	5.912	207.36	399.80	21.61	734.5	28.7	189.7	0	0	0	0
3	10.23	5.922	146.44	350.00	17.48	637.6	29.9	50.4	220.0	0	0	0
4	9.59	5.935	103.87	307.23	14.87	557.7	21.6	39.6	92.5	195.5	0	0
5	8.37	5.930	94.08	284.22	14.06	514.8	21.1	43.7	75.0	105.7	162.2	0
6	8.02	6.042	93.44	279.45	13.89	503.7	20.5	46.0	79.0	90.6	113.1	105.7



Şekil 2. Ankraj Sayısı - Palplanş Maksimum Eğilme Momenti İlişkisi

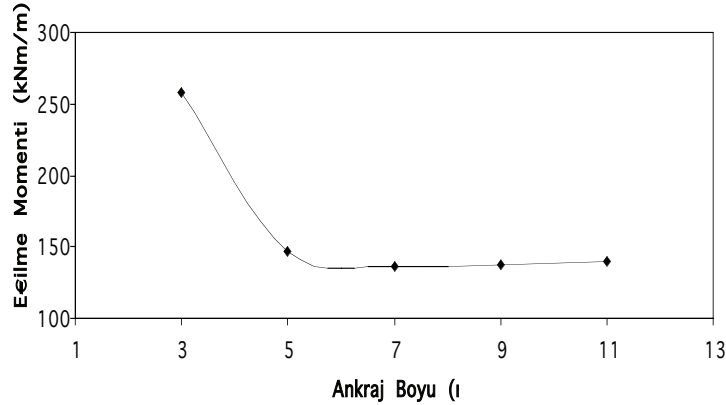
2) Ankraj Boyunun (L) Etkisi

Problemde diğer parametreler sabit tutularak, 3.0m, 5.0m, 7.0m, 9.0m ve 11.0m'lik 5 farklı ankraj boyları için analizler yapılmıştır. Elde edilen deformasyon, kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo (4)'te verilmektedir. Buradan, ankraj boyunun iksa sistemi duraylılığını belli bir uzunluktan sonra (5.0m) çok etkilemediği görülmektedir. Ankraj boyu arttıkça palplanş yanal hareketi, eğilme moment, kesme kuvveti, palplanş arkası zemin oturma miktarı ve payandaya gelen kuvvet miktarında özellikle 5.0m'den sonra önemli miktarda değişimlere rastlanmamıştır. Ankraj boyu arttıkça ankrajların taşıdıkları yükler azalmaktadır. Özellikle L=9m ve L=11m analizlerinde ankraj boyunun artması nedeniyle

ankraj çevresinde PLAXIS programı tarafından oluşturulan sonlu eleman ve düğüm sayılarındaki artışlara bağlı olarak sonuçlarda bir takım düzensizlikler meydana gelmiştir. Ancak bu önemli mertebelerde değildir. Ankraj boyu analizinde palplanş hareketlenmelerinin minimum seviyelere indiği görüldüğünden ve $L=7.0\text{m}$ analizinde en yüksek güvenlik sayısı değeri elde edildiğinden, bundan sonraki analizlerde optimum ankraj boyu olarak $L=7.0\text{m}$ kullanılmıştır (Tablo (2)). Ankraj boyuna bağlı olarak eğilme momentinde meydana gelen değişimler Şekil (3)'te ayrıca grafik olarak ta görülmektedir.

Tablo 4. Ankraj Boyunun İncelenmesi

L (m)	Palp. Yanal Def. (cm)	Palp. Düşey Def. (cm)	Palp. Mak. Eğilme Mom. (kNm/m)	Palp. Mak. Kesme Kuv. (kN/m)	Palp. Arkası Oturma Miktarı (cm)	Payanda Kuvveti (kN/m)	Ankraj Kuvvetleri (kN/m)		
							1	2	3
3	24.54	7.730	258.27	482.87	28.89	860.0	27.91	81.01	172.10
5	10.23	5.922	146.44	350.00	17.48	637.6	29.86	50.42	220.00
7	10.20	5.882	135.83	320.32	16.60	567.5	25.78	83.14	228.50
9	11.37	6.114	137.48	331.16	17.10	598.6	9.16	96.97	214.50
11	11.56	5.876	140.11	342.86	17.32	602.0	-0.36	96.38	198.90



Şekil 3. Ankraj Boyu - Palplanş Maksimum Eğilme Momenti İlişkisi

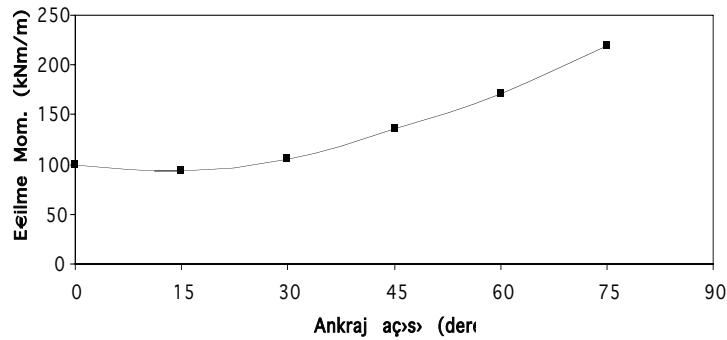
3) Ankraj Açısının (A) Etkisi

Problemde diğer parametreler sabit tutularak, ankrajın yatay zemin düzlemi ile yaptığı açı 0° , 15° , 30° , 45° , 60° ve 75° alınarak analizler yapılmıştır. Elde edilen deformasyon, kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo (5)'te verilmektedir. Buradan, iksa sistemi duraylılığının ankraj açısından etkilendiği görülmektedir. Ankraj açısı azaldıkça palplanş yanal hareketi de azalmaktadır ($A=0^\circ$ durumunda palplanş yanal hareketi $A=75^\circ$ durumuna göre yaklaşık 2.5 kat daha azdır). Ancak, ankraj açısı palplanş düşey hareketini çok fazla etkilememektedir

(maksimum 1.7cm). Palplanş tasarımına esas eğilme momenti ve kesme kuvveti ile payandaya gelen kuvvet azalan ankraj açısı ile doğru orantılı olarak azalmıştır. $A=0^\circ$ durumunda ise palplanş arkası zemin oturma miktarı $A=75^\circ$ durumuna göre yaklaşık %50 azalmıştır. $A=75^\circ$ ve $A=0^\circ$ durumlarında ilk ankrajlar basınç almışlardır. Ankraj açısı analizinde palplanş hareketlenmelerinin ve palplanş arkası zemin oturmalarının minimum seviyelere indiği görüldüğünden ve $A=15^\circ$ analizinde en yüksek güvenlik sayısı değeri elde edildiğinden, bundan sonraki analizlerde optimum değer olarak $A=15^\circ$ kullanılmıştır (Tablo (2)). Ankraj açısına bağlı olarak eğilme momentinde meydana gelen değişimler Şekil (4)'te ayrıca grafik olarak ta görülmektedir.

Tablo 5. Ankraj Açısının İncelenmesi

A (°)	Palp. Yanal Def. (cm)	Palp. Düşey Def. (cm)	Palp. Mak. Eğilme Mom. (kNm/m)	Palp. Mak. Kesme Kuv. (kN/m)	Palp. Arkası Oturma Miktarı (cm)	Payanda Kuvveti (kN/m)	Ankraj Kuvvetleri (kN/m)		
							1	2	3
75	18.67	4.437	219.63	485.90	24.31	757.5	-6.82	18.77	124.70
60	14.98	5.347	171.76	404.94	20.21	678.2	1.13	42.08	199.30
45	10.20	5.882	135.83	320.32	16.60	567.5	25.78	83.14	228.50
30	8.24	5.454	105.50	246.78	13.41	448.8	54.58	120.30	242.10
15	7.04	4.783	92.98	239.91	12.03	426.1	22.42	122.40	262.30
0	7.58	4.166	98.99	326.98	12.77	538.0	-88.00	82.98	264.90



Şekil 4. Ankraj Açısı - Palplanş Maksimum Eğilme Momenti İlişkisi

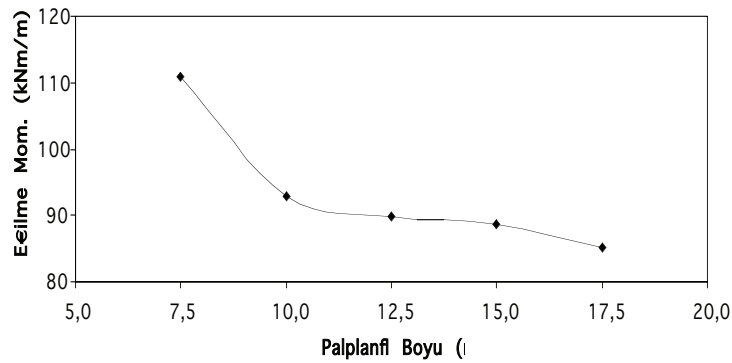
4) Palplanş Boyunun (H) Etkisi

Problemde diğer parametreler sabit tutularak, palplanş boyu 7.5m, 10.0m, 12.5m, 15.0m ve 17.5m yapılmak suretiyle analizler yapılmıştır. Elde edilen deformasyon, kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo (6)'da verilmektedir. Buradan, palplanş boyunun özellikle palplanş düşey hareketinde etkin bir rol oynadığı görülmektedir. Palplanş yanal hareketlerinin ise kazı seviyesi aşıldıktan sonra palplanş boyundan çok fazla etkilenmediği görülmüştür (maksimum

1.14cm). Palplanş eğilme momenti ve kesme kuvveti ile payandaya gelen kuvvet artan palplanş boyu ile ters orantılı olarak azalmıştır. Palplanş arkası zeminde oturma miktarı $H=10.0\text{m}$ 'den sonra çok fazla değişmemiştir (1.35cm). Her bir ankraja gelen kuvvetin palplanş boyundan etkilenmediği, genelde kuvvetlerde düzenli bir dağılım olduğu görülmüştür. Palplanş boyu analizinde daha düşük palplanş hareketlenmeleri ve palplanş arkası zemin oturmaları elde edildiğinden $H=12.5\text{m}$ analizinde en yüksek güvenlik sayısı değeri ortaya çıktığından, yapı maliyeti de göz önüne alınarak bundan sonraki analizlerde optimum palplanş boyu değeri olarak $H=12.5\text{m}$ kullanılmıştır (Tablo (2)). Palplanş boyuna bağlı olarak eğilme momentinde meydana gelen değişimler Şekil (5)'te ayrıca grafik olarak ta görülmektedir.

Tablo 6. Palplanş Boyunun İncelenmesi

H (m)	Palp. Yanal Def. (cm)	Palp. Düşey Def. (cm)	Palp. Mak. Eğilme Mom. (kNm/m)	Palp. Mak. Kesme Kuv. (kN/m)	Palp. Arkası Oturma Miktarı (cm)	Payanda Kuvveti (kN/m)	Ankraj Kuvvetleri (kN/m)		
							1	2	3
7.5	7.90	12.193	110.93	387.19	15.69	710.7	-59.67	107.70	276.70
10.0	7.04	4.783	92.98	239.91	12.03	426.1	22.42	122.40	262.30
12.5	6.39	3.343	89.78	206.30	11.43	356.7	34.45	128.10	257.10
15.0	6.21	2.344	88.71	188.40	11.06	328.0	48.62	136.60	264.70
17.5	5.95	1.569	85.14	178.17	10.68	311.6	61.10	147.00	273.10



Şekil 5. Palplanş Boyu - Palplanş Maksimum Eğilme Momenti İlişkisi

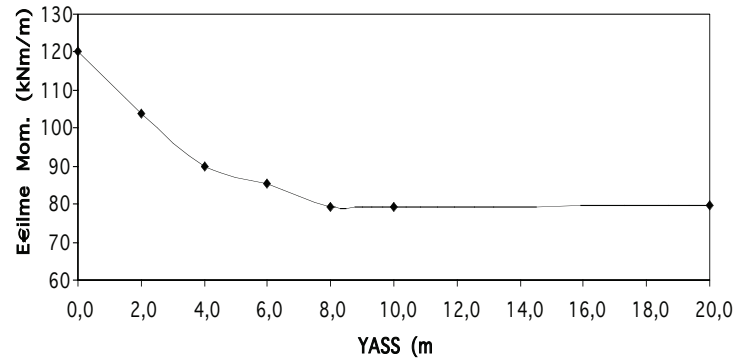
5) Yer altı Su Seviyesi (S) Etkisi

Zemin ortamında suyun varlığının taşıma kapasitesinde ve oturmalarda oldukça önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Problemde diğer parametreler sabit tutularak, zemin yüzeyinden itibaren ölçülen farklı su seviyeleri (0.0m, 2.0m, 4.0m, 6.0m, 8.0m, 10.0m, 20.0m) için analizler yapılmıştır. Elde edilen deformasyon, kesme kuvveti ve moment

değerleri Tablo (7)'de verilmektedir. Buradan, kuru ortamda palplanştaki yanal hareketin tamamen doygun ortama göre yaklaşık 2.2 kat azaldığı görülmektedir. Ancak palplanş ankrajlarla tutulu olduğundan düşey hareket suyun varlığından çok fazla etkilenmemektedir. YASS arttıkça palplanş eğilme momenti ve kesme kuvveti ile payandaya gelen kuvvet artmaktadır. Palplanş arkası zeminde oturma miktarı ise, zemin ortamından su uzaklaştıkça azalmaktadır. Su seviyesindeki değişimler özellikle 3. ankraja gelen kuvvetlerde değişime neden olmuştur. Kazı seviyesinin altındaki su seviyesi hareketlerinin iksa sistemi duraylılığını çok fazla etkilemediği görülmüştür. YASS analizinde su seviyesinin palplanş hareketlenmelerini önemli miktarlarda etkilemediği kabul edilip bundan sonraki analizde optimum değer olarak $S=-4.00\text{m}$ kullanılmıştır (Tablo (2)). YASS'ne bağlı olarak eğilme momentinde meydana gelen değişimler Şekil (6)'da ayrıca grafik olarak ta görülmektedir.

Tablo 7. YASS'nin İncelenmesi

S (m)	Palp. Yanal Def. (cm)	Palp. Düşey Def. (cm)	Palp. Mak. Eğilme Mom. (kNm/m)	Palp. Mak. Kesme Kuvveti (kN/m)	Palp. Arkası Oturma Miktarı (cm)	Payanda Kuvveti (kN/m)	Ankraj Kuvvetleri (kN/m)		
							1	2	3
0.0	9.59	3.594	119.99	235.25	14.07	407.0	30.45	130.70	294.00
2.0	7.69	3.446	103.94	221.21	12.48	382.0	32.56	130.20	272.90
4.0	6.39	3.343	89.78	206.30	11.43	356.7	34.45	128.10	257.10
6.0	5.89	3.073	85.45	199.16	10.69	350.0	37.72	130.10	255.50
8.0	4.46	2.626	79.37	163.32	9.52	285.7	46.38	126.20	231.30
10.0	4.35	2.451	79.13	158.32	9.31	277.0	48.91	127.10	230.80
20.0	4.35	2.264	79.63	155.47	9.18	271.6	50.13	127.60	231.40



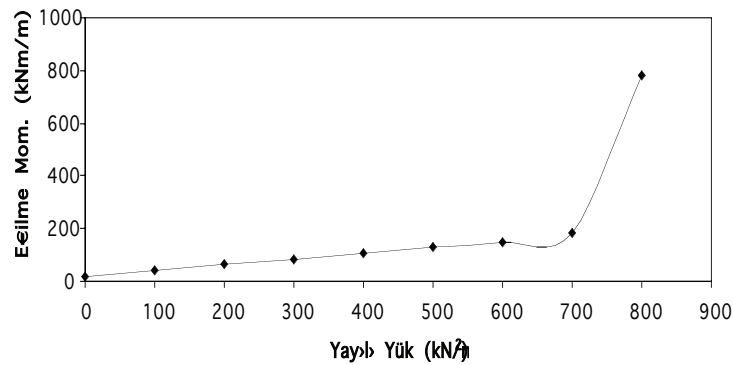
Şekil 6. YASS - Palplanş Maksimum Eğilme Momenti İlişkisi

6) Yayılı Yük (Y) Etkisi

Problemde diğer parametreler sabit tutularak, yük olmadığı durum ve farklı yayılı yük durumları (100 kN/m^2 'den 800 kN/m^2 'ye 100 kN/m^2 'lik artımlarla) için analizler yapılmıştır. Elde edilen deformasyon, kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo (8)'de verilmektedir. Buradan, palplanş arkası zemindeki yayılı yük miktarının iksa sistemi duraylılığını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Yapılan analizlerde, uygulanan 800 kN/m^2 'lik yayılı yükün ardından iksa sistemi göçmüştür. Palplanş yanal ve düşey hareketleri, palplanş eğilme momenti ve kesme kuvveti, payandaya gelen kuvvet ile palplanş arkası zeminde oturma miktarı artan yayılı yük ile doğru orantılı olarak artmıştır. Yayılı yükten dolayı her bir ankraja gelen kuvvette de düzenli bir dağılım tespit edilmiştir. Yayılı yüklere bağlı olarak eğilme momentinde meydana gelen değişimler Şekil (7)'de ayrıca grafik olarak ta görülmektedir.

Tablo 8. Yayılı Yükün İncelenmesi

Y (kN/m^2)	Palp. Yanal Def. (cm)	Palp. Düşey Def. (cm)	Palp. Mak. Eğilme Mom. (kNm/m)	Palp. Mak. Kesme Kuv. (kN/m)	Palp. Arkası Oturma Miktarı (cm)	Payanda Kuvveti (kN/m)	Ankraj Kuvvetleri (kN/m)		
							1	2	3
0	0.85	0.201	15.17	20.88	0.71	24.7	9.89	18.57	38.82
100	2.35	0.622	41.91	69.90	3.88	109.9	12.20	51.12	108.90
200	4.02	1.804	64.54	131.90	7.28	222.9	23.22	90.00	181.50
300	5.89	3.073	85.45	199.16	10.69	350.0	37.72	130.10	255.50
400	7.93	4.371	105.89	272.21	14.21	491.0	53.66	170.70	330.90
500	10.40	5.76	127.31	354.63	18.42	650.9	70.14	213.60	412.40
600	13.17	7.21	148.60	447.61	23.20	832.4	86.54	256.10	495.50
700	18.87	9.39	184.27	633.54	38.27	1201.0	102.00	309.00	616.60
800	135.00	46.12	781.37	1270.00	393.00	5160.0	156.10	450.80	1975.00



Şekil 7. Yayılı Yük - Palplanş Maksimum Eğilme Momenti İlişkisi

SONUÇLAR

Bu çalışmada; kum zeminde kazı sonrası duraylılığı sağlamak amacıyla inşa edilen palplanş ve ankrajlı iksa sistemlerinin sayısal analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- Ankraj sayısı, iksa sistemi duraylılığını etkilemektedir. Ankraj sayısı arttıkça palplanş yanal hareketlerinde azalmalar gözlenmiştir. Analizlerde optimum ankraj sayısı $N=3$ olarak elde edilmiştir.
- Ankraj boyunun iksa sistemi duraylılığına belli bir uzunluktan sonra (5.0m) etkisi azalmıştır.
- İksa sistemi duraylılığı ankraj açısına da bağlıdır. Ankraj açısı azaldıkça palplanş yanal hareketi de azalmaktadır. Ancak ankraj açısı palplanş düşey hareketini çok fazla etkilememektedir. Analizlerde optimum ankraj açısı $A=15^\circ$ önerilmiştir.
- Palplanş boyu özellikle palplanş düşey hareketinde etkin bir rol oynamaktadır. Kazı seviyesi aşıldığından dolayı palplanş boyu, palplanş yanal hareketlerini çok fazla etkilememiştir. Analizlerde palplanş boyu için diğer parametrelerin optimum değerlerinde $H=12.5m$ önerilmiştir.
- Kuru ortamda palplanştaki yanal hareket tamamen suya doymun ortama göre yaklaşık 2.2 kat azalmıştır. Kazı seviyesinin altındaki su seviyesi hareketlerinin iksa sistemi duraylılığını fazla etkilememiştir.
- Palplanş yanal ve düşey hareketleri, palplanş eğilme momenti ve kesme kuvveti, payandaya gelen kuvvet ile palplanş arkası zeminde oturma miktarı artan yayılı yük ile orantılı olarak artmıştır.

KAYNAKLAR

1. Aytekin M., Deneysel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara, 2004.
2. Brinkgreve R. B. J., Plaxis Finite Element Code for Soil and Rock Analysis, 2d, Version 8.2, 2002.
3. Çil T.B., İksa Sistemleri ve Analiz Yöntemleri Plaxis Paket Programı” Bitirme Ödevi, Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, 2007.
4. Kumbasar V., Kip F., İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, (Capper P.L. ve Cassie W.F. çevirisi), Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1984.
5. Önalp A., Sert S., Geoteknik Bilgisi III, Bina Temelleri, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2006.

6. Uzuner B.A., Temel Zemin Mekaniki, Teknik Yayınevi, Ankara, 2001.
7. Yıldız A., Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2002.