

DERİN KAZILARDA ÇOK SIRA ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİ İLE ANKASTRE FORE KAZIK İKSA SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE MALİYET KARŞILAŞTIRMASI

Bora ARSLAN, Sadık ÖZTOPRAK

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
34320 Avcılar / İstanbul

e-posta: borars05@yahoo.com, oztoprak@istanbul.edu.tr

ÖZET

Derin kazılar günümüz şehirciliğinde mühendislik açısından önemli bir yer tutmaktadır. Yüksek katlı yapıların yerleşimini sağlayabilmek, metro, tünel gibi yapıları hayata geçirebilmek için inşaat mühendisleri derin kazılar sırasında zemini denge halinde tutmak zorundadırlar. Bu bildiride derin kazılarda kullanılan çok sıra ankrajlı iksa sistemleri ile ankastre çalışan fore kazık iksa sistemlerini karşılaştırmak amacıyla geliştirilen BAnk05 bilgisayar programı tanıtılmaktadır. Bu program aracılığıyla örnek bir problem üzerinde analizler yapılmış ve her iki yöntemle oluşturulan iksa sistemin maliyet ve tasarım kıyaslaması yapılmıştır. Kazı derinliğinin nispeten az olduğu durumlarda ankastre kazıklı sistemler ekonomik iken belli bir kazı derinliğinden sonra çok sıra ankrajlı iksa sistemleri ekonomik hale gelmektedir. Böylece bu program sayesinde, bir problemi her iki iksa sistemi ile çözüp, güncel maliyet bilgileri yardımıyla değerlendirip en uygun çözümü bulmak mümkün olabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Derin kazılar, ankraj, fore kazık, iksa sistemi

ABSTRACT

The deep excavations have very important situation in modern town planning for engineering. Engineers are trying to balance the soil to locate the high flat constructions and the constructions as the tunnel and metro. In this paper, a computer program is developed that is called BAnk05 to see the differences between anchored supported systems and the fixed end moment pile supported systems, is introduced. By using this program, a sample is analysed and both of two systems are compared on the cost and the design. If the excavation depth is less than a specific depth (approximately 8,0-9,0 meters), the fixed end moment pile supported systems are more economic than the anchored systems, when the excavation depth exceeds the specific depth, anchored systems become more economic. So by using this program, it is possible to find out the suitable solution for a problem that is evaluated by current cost informations and solved by both of two supported systems.

Key Words: Deep excavations, anchor, pile, supported system.

1. GİRİŞ

Günümüz şehirlerinde nüfus miktarının çok fazla olması nedeniyle insanlar, mevcut alanı verimli kullanma gibi bir zorunlulukla karşı karşıya kalmıştır. Özellikle büyük kentlerde nüfusun giderek artması, buna karşın kullanım alanının sabit kalması sonucu yapı yükseklikleri artmıştır. Bunun yanında zemin içerisinde kalan kısımlar da maksimum düzeyde kullanıma açılmıştır. Gerek yüksek yapılar yapabilmek gerekse zemin içerisindeki alanı kullanabilmek isteği mühendisleri, zemin istinat yapılarının kullanımına yöneltmiştir. Yüksek yapıların inşaatında gerekli olan derin temel kazılarını, istinat sistemlerinin uygulanması olmaksızın yapabilmek, kazı sırasında zemini denge halinde tutabilmek mümkün değildir. Bu sebeple günümüz şehirciliğinde iksa sistemlerinin kullanımı kaçınılmaz bir hale gelmiştir.

Derin kazılarda iksa sistemleri inşaat mühendislerinin zemin mekaniği bilgisini ve çok ciddi deneyimini gerektiren bir uygulamadır. İksa sistemleri hesabı zeminin toprak basınçlarının hesaplanması esasına dayanır. Kazı yüzeyi boyunca toprak basıncı dağılımlarının değişimine bağlı kalınarak uygun sistem ve boyutlandırması yapılır.

İksa sisteminin hangi zemin cinsinde yaptığımız çok önemlidir. Bunun yanı sıra tasarımı yapacak bir mühendis için tasarımın güvenliği kadar maliyeti de büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışılan zemine ve projeye en uygun iksa sistemini seçmek gerekmektedir. Bu amaçla da zemine uygulanabilmesi mümkün çeşitli iksa sistemleri ve parametreleri üzerinden maliyet analizleri ve kıyaslamaları yapılmalıdır.

Bu bildiride, ankastre fore kazık, tek sıra ve çok sıra ankrajlı iksa sistemlerini çözümleyip, maliyet analizlerini yapabilmek için geliştirilen BAnk05 bilgisayar programı tanıtılmaktadır. 2. ve 3. bölümlerde programın kullanıldığı teori ve hesaplamalar anlatılmaktadır. Bildirinin son bölümünde örnek bir problem üzerinde programın uygulanması yapılmış ve ankrajlı veya iksa sistemlerinde çeşitli parametreler değiştirilmiş maliyet kıyaslaması yapılmıştır.

2. ÇOK SIRA ANKRAJLI SİSTEMLERİN (DESTEKLİ SİSTEMLERİN) HESAP YÖNTEMLERİ

Çok sıra ankrajlı sistemin (destekleme sisteminin) elemanları, sisteme etkiyen toprak basıncına göre boyutlandırılır. Çok sıra ankrajlı sisteme (destekleme sistemine) gelen toprak basıncı, önemli oranda sistemin deformasyonuna bağlıdır. Başka bir deyişle bir destekleme sistemine gelen toplam yükü ve toprak basıncı dağılımını doğru olarak belirlemek için, oluşacak deformasyonları doğru olarak belirlemek gerekir.

Duvarın hareket biçimlerinin yatay toprak basıncına etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu yöntem diğer yaklaşık yöntemlere göre üstünlüğü, çözüm sırasında sağlanması gereken denge, uygunluk ve malzeme koşullarını sağlayabilmesi, ayrıca belli problemlerde doğru olarak modellenmesi gereken geometri ve sınır koşullarını modelleyebilmesidir. Bu incelemede oluşan toprak basınçları duvarın üç ayrı hareket biçimi (üst ve nokta etrafında dönme, alt nokta etrafında dönme ve paralel öteleme) için duvarla zemin arasındaki açıyı göz önüne alarak incelemiştir. Kullanılan sistem, yatay yüzeye sahip, üniform zemine ankastre rijit duvardır. Basit bir elasto-plastik gerilme-şekil değiştirme davranışı seçilmiş ve kayma yüzeyinde Mohr-Coulomb kırılma kriteri kullanılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda elde edilen bazı bulgular şöyledir.

1. Duvar hareket biçimi, pürüzlü ve pürüzsüz duvar yüzeyi için K_a K_p 'yi etkiler. K_p en yüksek değerine, K_a ise en düşük değerine ulaşır. Pürüzlü duvarlarda her iki dönme biçimi için hesaplanan K_p ve K_a değerleri diğer yaklaşık yöntemlerle (likit denge veya likit analizi gibi) karşılaştırıldığında sonlu elemanlarla hesaplanan K_p küçük, K_a büyüktür. Başka bir deyişle bu yaklaşık yöntemler güvenli tarafta kalmayabilmektedirler.
2. K_a ve K_p nin sınır değerleri, K_o ve Young modülünün dağılımından etkilenmektedir. Genleşme açısı (Ψ)'nin 0 ile Φ arasındaki değişimi K_a 'nın % 3-4 artmasına, K_p nin de aynı oranda azalmasına sebep olmaktadır.
3. Maksimum aktif ve pasif toprak basıncı değerlerine ulaşmak için gerekli hareketin değeri duvar pürüzlülüğüne, başlangıç K_o değerine ve Young Modülünün dağılımına bağlıdır. Sert kile karşılık gelen K_o değerinde, aktif ve pasif toprak basıncı değerlerine ulaşmak için gerekli hareketlerin değerleri yaklaşık eşittir. Bu, genel kabul gören aktif toprak basıncının önce olduğu görüşüne terstir. Aynı zamanda K_p üzerinde yapılan önemli sınırlamaları da geçersiz kılar.
4. Duvarın hareket biçimi toprak basıncı dağılımını önemli derecede etkilemektedir. Bu da, özellikle aktif basınç durumunda, bileşke kuvvetin etkime noktasının yerini belirlemekte, bunun aracılığıyla eğilme momentlerinin değerini etkilemektedir. Duvarın üst yada alt ucu etrafında

dönmesi durumlarında basınç dağılımları, pratikte kabul edilen lineer davranıştan oldukça farklı olmaktadır. Örneğin duvarın üst ucu etrafında dönme durumundaki göçme halinde duvarın arkasında, üst bölgede aktif durum geçerliken, alt bölgede pasif basınç klasik değerini aşmaktadır [1].

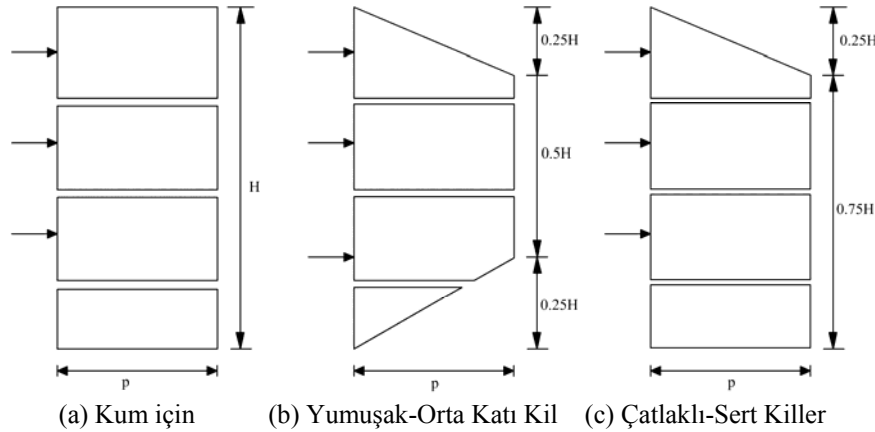
5. Farklı duvar hareket biçimlerinde farklı toprak basıncı dağılımlarının oluşmasının temel nedeni zeminin sürekli bir ortam olarak modellenenebilmesidir. Zeminin, yay grupları ve albeit non-lineer olarak modellenmesi, gerçek toprak basıncı dağılımlarına ulaşılmasını engellemektedir. Bunun nedeni, yayların bağımsız olarak kabul edilmesi, bu yüzden de sürekli bir ortamda ve gerçek zeminlerde oluşan karşılıklı etkileşimi modelleyememesidir.
6. Pürüzlü duvarda sürtünme açısı δ , kayma mukavemeti açısına ve genleşme açısına bağlıdır. Sürtünme açısı (1) denklemiyle tanımlanabilmektedir. Bu denklemde görüldüğü üzere sürtünme açısının alabileceği maksimum ve minimum değerlere bakıldığında pasif bölge için çeşitli standartlarda önerilen $\delta/3 \leq \delta \leq \delta/2$ aralığının oldukça güvenli olduğunu göstermektedir.

$$\delta = tg^{-1} \left[\frac{\sin \phi' \cos \nu}{1 - \sin \phi' \sin \nu} \right] \quad (1)$$

2.1. Toprak Basıncı Dağılımları

Terzaghi ve Peck'in Görünür Toprak Basıncı Dağılımları

Görünür toprak basıncı diagramları Terzaghi ve Peck [2] ve Peck [3] tarafından geliştirilmiştir. Terzaghi ve Peck'in toprak basıncı zarfları dikdörtgen ve trapezoidal şeklindedir. Bu diyagramlar Şekil 1'de özetlenmiştir. Maksimum toprak basıncı ordinatı p ile simgelenmiştir.



Şekil 1. Terzaghi ve Peck'in Görünür Toprak Basıncı Dağılımları

Kum İçin Önerilen Görünür Toprak Basıncı

Terzaghi ve Peck'in kum için toprak basıncı zarfında p ile adlandırılan maksimum toprak basıncı ordinatı,

$$P = 0.65 K_A \gamma \quad (2)$$

şeklde hesaplanır.

Yumuşak-Orta Katı Kil İçin Önerilen Görünür Toprak Basıncı

Yumuşak-orta katı kil için Terzaghi ve Peck tarafından önerilen toprak basıncı dağılımı şekilde de görüldüğü gibi trapezoidal şeklindedir. Burada maksimum toprak basıncı ordinatı,

$$P = 0.2\gamma H \quad (3)$$

dır. Yumuşak-orta katı kil için bu değer, $P = 0.4\gamma H$ 'a kadar yükselebilmektedir.

Çatlaklı Sert Killer İçin Önerilen Görünür Toprak Basıncı

Terzaghi ve Peck tarafından, çatlaklı sert killerde önerilen toprak basıncı dağılımının maksimum toprak basıncı ordinatı ise,

$$P = 1.0 K_A \gamma H \quad (4)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

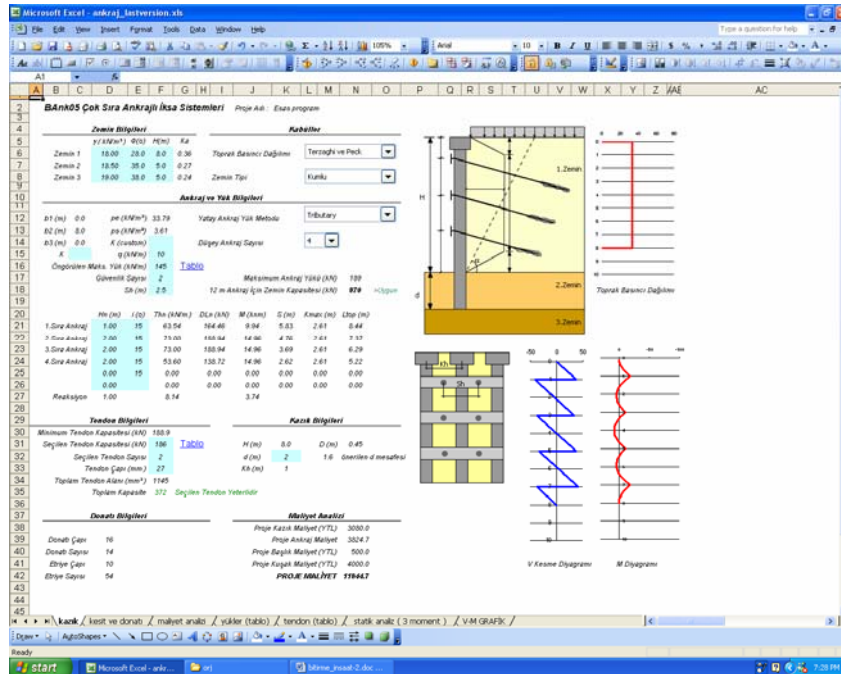
2.2. BAnk05 Programı (Ankrajlı Sistemler Modülü)

Mühendislik hesaplamaları oldukça uzun ve zahmetli matematiksel işlemlere dayanmaktadır. Günümüzde bu yorucu ve çok fazla zaman alacak işlemler bilgisayarlar yardımıyla bir kaç dakika içerisinde çözüme kavuşturulabilmektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada da çok fazla işlem yükü bulunmaktadır. Bu işlemleri çok kısa zamanda yapılabilmesi için bir bilgisayar programı geliştirildi. BAnk05 isimli bu program MS EXCEL ortamında hazırlanmıştır.

BAnk05 Programı (Şekil 2) MS EXCEL programı ile hazırlanmıştır. Bu tasarım sırasında programın yapmış olduğu hesaplardan bir tanesi sistemin statik olarak çözülmesidir. Bu çözümlemenin doğruluğunu geçerli sayabilmek için aynı sistem, inşaat mühendisleri tarafından sıkça kullanılan SAP2000 programı yardımıyla bir kez daha çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların birbirleriyle tutarlı olduğu görülmüştür.

Bu program yardımıyla aşağıdaki hesaplamalar yapılabilmektedir;

- Çok sıra ankrajlı bir sistemin beş ayrı standarta veya kişisel kabullere göre toprak basıncı dağılımlarının hesaplanması ve grafiksel gösterimi (Şekil 2)
- Çok sıra ankrajlı bir sistemin üç ayrı yaklaşımla moment, kesme ve reaksiyon değerlerinin hesaplanması (mesnet ve açıklıklardaki moment değerlerinin hesabı ve grafiksel gösterimi, kesme kuvveti hesabı ve grafiksel gösterimi) (Şekil 2)
- Ankrajların boyutlandırılması (Şekil 2)
- İksa sisteminin betonarme tasarımı
- Tasarım işlemlerine bağlı olarak ortaya çıkan projenin maliyet analizi
-



Şekil 2. Bank05 Programı Arayüzü (Ankrajlı Sistem Modülü)

3. ANKRAJSIZ KONSOL SİSTEMLERİN HESAP YÖNTEMİ

3.1. Toprak Basıncı Dağılımları

İksa sistemleri toprak kütlelerinin yanal yönde hareketini sınırlayarak onları tutmaya yarayan mühendislik yapılarıdır. Destekleme sisteminin elemanları, sisteme etkiyen toprak basınçlarına göre boyutlandırılır. Destekleme sistemine gelen toprak basınçları, önemli oranda sistemin deformasyonlarına bağlıdır. Başka bir deyişle bir destekleme sistemine gelen toplam yükü veya toprak basıncı dağılımını doğru olarak belirlemek için, oluşacak deformasyonları doğru olarak belirlemek gerekir.

Zemin dayanma yapıları toprak kütlelerinin yanal hareketini önlerken, zemin ile yapının değme yüzeyinde oluşan basınç “yanal toprak basıncı” denir. Dağılımı, şiddeti, büyüklüğü ve bileşke tatbik noktası yalnızca duvar arkasındaki toprağın özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda yapı ile toprağın birbirlerine göre relatif hareketine de bağlı olan bu basınç için aşağıdaki sınır değerler tarif edilir;

1. Yapıya doğru harekete geçen zemin kütlelerinin, yapıya dayandığı anda sistemin, kazı içine hareket etmesi sonucu meydana gelen “aktif toprak basıncı” (p_a)
2. Sistemin arkasındaki zeminin sıkıştırarak biçimde arkaya doğru hareket etmesi sonucu zeminin, destekleme sistemine etkittiği ve sistemin yeter derecede zemine doğru yer değiştirmesinden meydana gelen “pasif toprak basıncı” (p_p)
3. Duvar zemine ya da zeminin duvara göre hiç hareket etmediği durumda oluşan “sükunetteki toprak basıncı” (p_o)

3.2. Rankine Teorisine Göre Aktif Ve Pasif Toprak Basınçları

Rankine [4] minimum aktif ve maksimum pasif zemin basınçlarını hesaplamada en basit yöntemi geliştirmiştir. Rankine bir istinat yapısının arkasındaki zeminin gerilme şartları ve dayanım zarfları hakkında varsayımlarda bulunarak, yanal zemin basıncı problemini tanımlanır hale getirmiş ve istinat yapısı üzerine etkiyen statik basınçları doğrudan hesaplamıştır.

Rankine minimum aktif şartlarda istinat duvarının arkasındaki bir noktadaki basıncı,

$$p_A = K_A \sigma_V - 2c\sqrt{K_A} \quad (5)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada K_A : minimum aktif zemin basınç katsayısı, σ_V : ilgi konusu noktadaki düşey efektif gerilme ve c : zemin kohezyonudur. Asal gerilme düzlemleri düşey ve yatay olduğu zaman minimum aktif zemin basınç katsayısı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir:

$$K_A = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (6)$$

Yatay ile β açısı yapan kohezyonsuz arka dolgu durumunda K_A 'yı hesaplamada $\beta \leq \phi$ için sonsuz şev çözümleri [5],[6] kullanılabilir:

$$K_A = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (7)$$

Aktif zemin basınç bileşkesi P_A 'nın etkidiği nokta, yüksekliği H olan duvarın tabanından $H/3$ kadar yukarıdadır ve büyüklüğü de aşağıdaki bağıntıda verildiği gibidir:

$$P_A = \frac{1}{2} K_A \gamma H^2 \quad (8)$$

Maksimum pasif şartlarda Rankine teorisi duvar basınçlarını aşağıdaki şekilde ifade eder:

$$P_P = K_P \sigma_V + 2c\sqrt{K_P} \quad (9)$$

Burada, K_p : maksimum pasif zemin basınç katsayısıdır. Yatay arka dolguları tutan düz yüzeyli düşey duvarlarda,

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (10)$$

3.3. Sükunetteki Toprak Basıncı

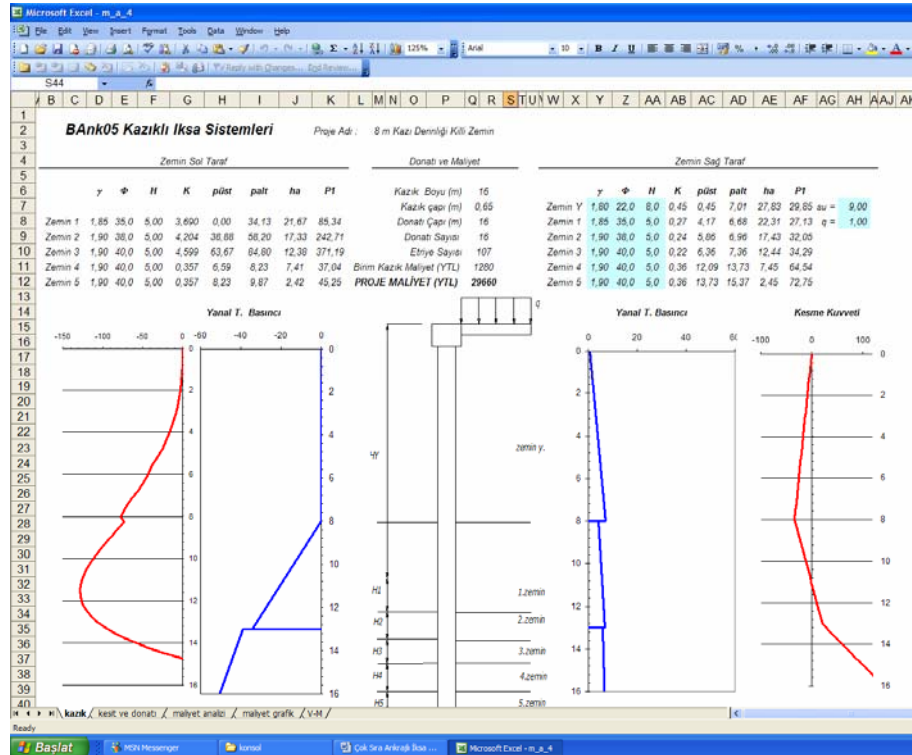
Zemin içerisinde yatay toprak basıncı deformasyonu olmaksızın normal konsolide olmuş kum ve killerin durumunu sağlayan toprak basıncına sükunetteki toprak basıncı denir [7]. Sükunetteki toprak basıncı aşağıdaki eşitlikle gösterilir:

$$K_o = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} = 1 - \sin \phi \quad (11)$$

3.4. BAnk05 Programı (Ankastre Sistemler Modülü)

Bu program yardımıyla aşağıdaki hesaplamalar yapılabilmektedir;

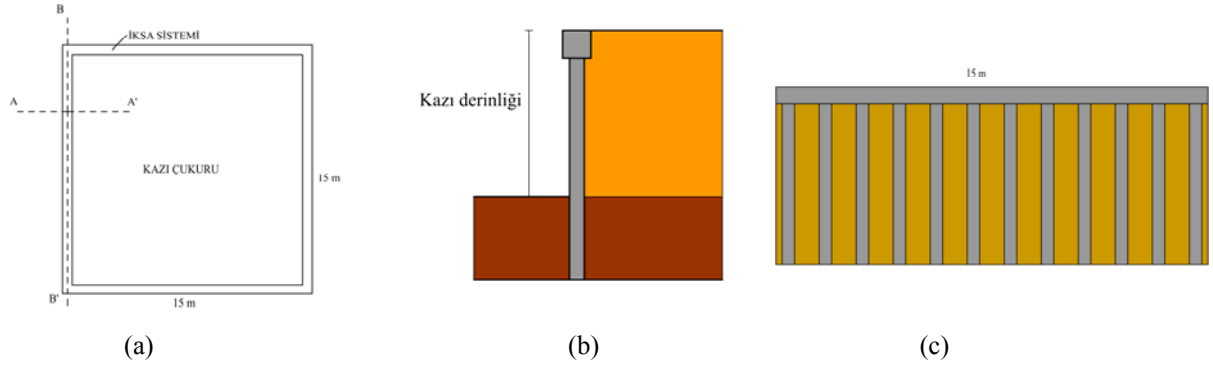
- Ankrajsız bir iksa sisteminde mevcut zemine ve dış yüklere bağlı olarak oluşan aktif, pasif ve sükunetteki toprak basıncı dağılımları ve bunların grafiksel gösterimi (Şekil 3)
- Ankrajsız bir iksa sisteminde kesitte oluşan kesme kuvvetleri, moment değerleri ve bunların grafiksel gösterimi (Şekil 3)
- Ankrajsız bir iksa sisteminin betonarme tasarımı
- Tasarım işlemlerine bağlı olarak ortaya çıkan projenin maliyet analizi



Şekil 3. BAnk05 Programı Arayüzü (Ankastre Sistem Modülü)

4. ÖRNEK BİR UYGULAMADA İKSA SİSTEMLERİ VE MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde killi ve kumlu olmak üzere iki çeşit zemin tanımlanmıştır. Bu zeminlere ait iksa sistemlerinin toplam kesit uzunluğu 60 m olup, kazı derinliği sırasıyla 4 metreden 16 metreye kadar 2 metre arayla değiştirilerek, BAnk05 programı yardımıyla önce ankastre fore kazıklarla, daha sonra tek sıra ve çok sıra ankrajlı iksa sistemleri ile çözülmüş, bunların maliyet analizleri ve maliyetler arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 4. (a) Uygulama Alanının Plan Görünüşü, (b) Uygulama Alanının A-A' Kesiti Görünüşü, (c) Uygulama Alanının B-B' Kesiti Görünüşü

4.1. Analizlerde (Hesaplarda) Kullanılan Zeminin Tanımı

BAnk05 programının kullanılacağı zeminlere zeminlere ait parametreler (Tablo 1.a ve Tablo 1.b) ve plan (Şekil 4.a), kesit (Şekil 4.b), cephe (Şekil 4.c) görünüşleri verilmiştir. Zeminlerin kayma mukavemeti açıları haricindeki tüm özellikleri benzerdir. Şekil 4.a-b-c de verilen görünüşler iki zemin tipi için de geçerlidir. BAnk05 programı kullanılarak bu zeminlere iksa sistemi uygulanacaktır. İksa sisteminin kazı derinliği ilk olarak 4 m kabul edilmiştir. Bu kazı derinliği için problem, fore kazık ankastre iksa sistemiyle ve ankrajlı iksa sistemiyle çözülmüştür. Daha sonra aynı sistemin kazı derinliği 6 m kabul edilerek çözülmüştür. Bu işlem kazı derinliği 16 m oluncaya kadar yapılmıştır.

Her bir problemin sonucu olarak bulunan maliyetler Tablo 2, Tablo 3'de verilmiştir. Bu maliyetler kazı derinliğine bağlı olarak grafiklendirilmiştir.

Tablo 1. (a) Killi Zemin, (b) Kumlu Zeminin Karakteristik Parametreleri

(a)			(b)		
	γ (kN/m ³)	Φ (°)		γ (kN/m ³)	Φ (°)
Zemin 1	18,00	22,0	Zemin 1	18,00	28,0
Zemin 2	18,50	35,0	Zemin 2	18,50	35,0
Zemin 3	19,00	40,0	Zemin 3	19,00	38,0

4.2. Maliyet Analizi

BAnk05 Programı kullanılarak tanımlanan iki zemin önce fore kazık ankastre daha sonra tek sıra ve çok sıra ankrajlı sistemler şeklinde çözülmüştür. Tablo 2.a'da killi zeminin fore kazıklı iksa sistemi ile, Tablo 2.b'de killi zeminin tek sıra ve çok sıra ankrajlı iksa sistemi ile farklı kazı derinliklerindeki çözüm özetleri görülmektedir.

Tablo 2. (a) Killi Zemin Modelinde Ankastre Fore Kazık İksa Sistemi Maliyetlerinin Derinlikle Değişimi
(b) Killi Zemin Modelinde Ankrajlı İksa Sistemi Maliyetlerinin Derinlikle Değişimi

(a)						(b)					
Maliyet Analizi	Kazı Derinliği (m)	Kazık Boyu (m)	Kazık Çapı (m)	Kazık Aralığı (m)	Maliyet (YTL)	Maliyet Analizi	Kazı Derinliği (m)	Kazık Boyu (m)	Kazık Çapı (m)	Kazık Aralığı (m)	Maliyet (YTL)
1	4	9,5	0,5	0,9	25.990	1	4	5	0,5	1	30.068
2	6	14	0,65	0,75	52.280	2	6	7,5	0,5	0,5	67.338
3	8	16	0,65	0,75	59.320	3	8	10	0,65	0,5	95.000
4	10	23	1	0,5	131.800	4	10	12	0,65	1	110.000
5	12	28	1	0,5	174.360	5	12	14,5	0,65	1	147.890
6	14	31	1,5	1,5	251.000	6	14	17	0,65	0,75	195.774
						7	16	19,2	0,8	0,8	251.600
						8	18	22	0,8	0,8	298.000
						9	20	24	0,8	0,8	360.000

Tablo 3. (a) Kumlu Zemin Modelinde Ankastre Fore Kazık İksa Sistemi Maliyetlerinin Derinlikle Değişimi (b) Kumlu Zemin Modelinde Ankrajlı İksa Sistemi Maliyetlerinin Derinlikle Değişimi

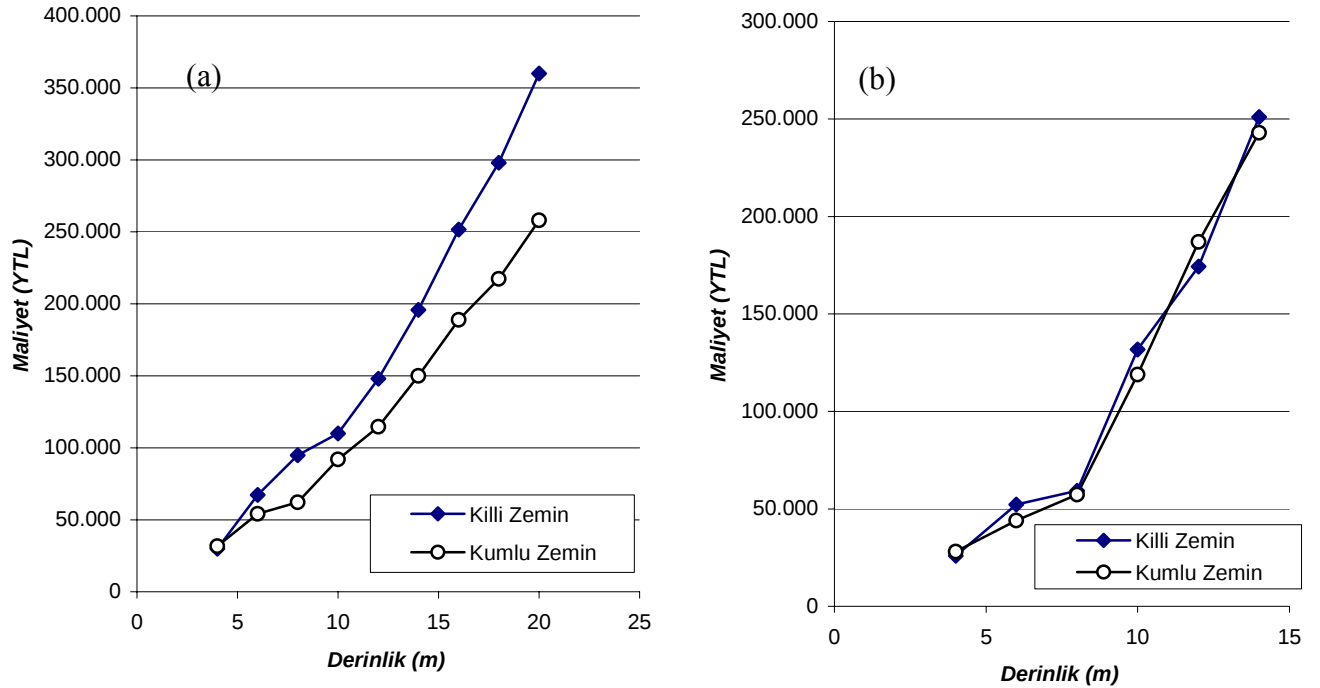
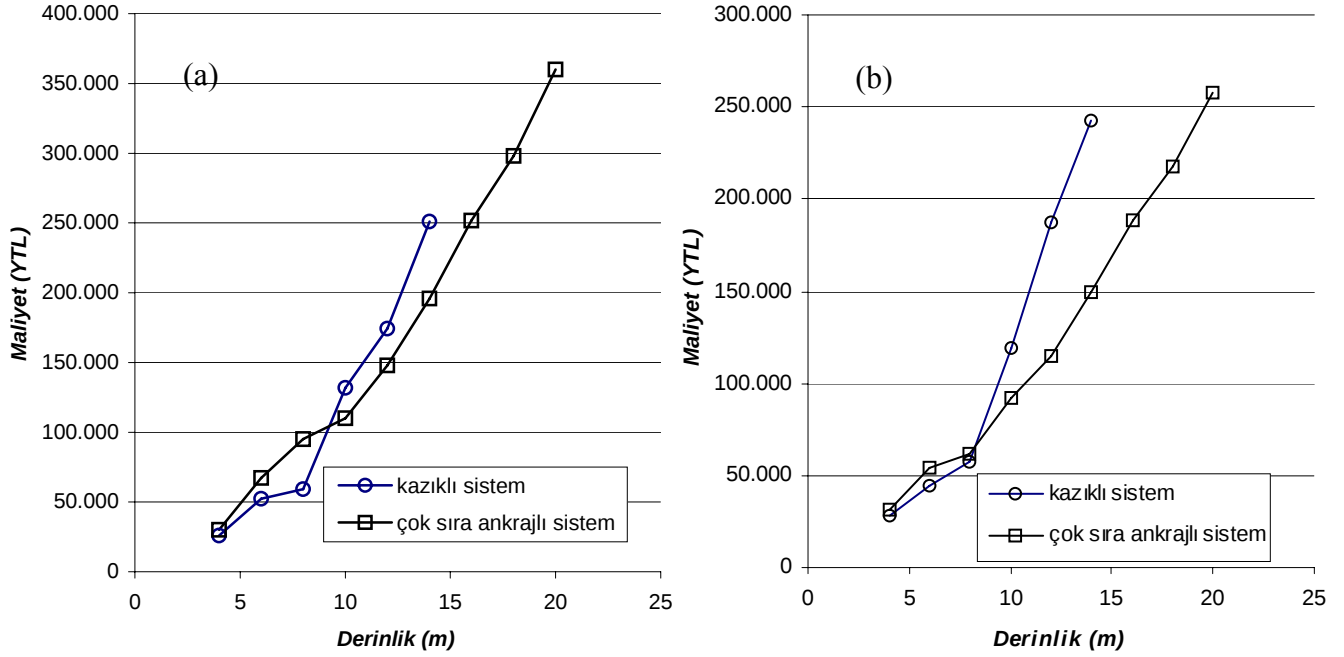
(a)						(b)					
Maliyet Analizi	Kazı Derinliği (m)	Kazık Boyu (m)	Kazık Çapı (m)	Kazık Aralığı (m)	Maliyet (YTL)	Maliyet Analizi	Kazı Derinliği (m)	Kazık Boyu (m)	Kazık Çapı (m)	Kazık Aralığı (m)	Maliyet (YTL)
1	4	9,5	0,5	0,75	28.080	1	4	5	0,45	0,5	31.810
2	6	13,5	0,65	1	44.040	2	6	7,5	0,45	0,5	54.166
3	8	16	0,8	1	57.400	3	8	10	0,5	1	62.182
4	10	23	1	0,75	118.920	4	10	12	0,45	1	92.000
5	12	26	1	1,25	187.000	5	12	14,5	0,5	1	114.758
6	14	30	1,5	1,5	243.000	6	14	17	0,5	0,75	150.000
						7	16	20	0,5	0,5	188.800
						8	18	22	0,5	0,5	217.260
						9	20	24	0,65	0,5	257.920

Tablo 3.a ve 3.b’de ise kumlu zemin için her iki iksa sistemiyle yapılmış çözümlerin özetleri görülmektedir. Her iki zemin ve her iki iksa sistemi üzerinden elde edilen bulgulara göre derinlik dağılımı ile maliyetler arasında doğru orantılı bir artış olduğu ilk bakışta görülmektedir. Tabloları daha iyi yorumlayabilmek için Bölüm 4.3’de yer alan grafiklerin incelenmesi gerekmektedir.

4.3. Maliyet Karşılaştırması

BAnk05 Programı yardımı ile çözülmüş iksa sistemlerinden elde edilen ve Maliyet Analizi Bölümü’nde de yer alan bulgulara dayanarak gerekli karşılaştırmalar yapıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmektedir.

Şekil 5.a’da, killi zemine uygulanmış olan ankastre ve ankrajlı iksa sistemlerinin maliyetlerinin derinlikle değişimi görülmektedir. Maliyetler her iki sistemde de derinlik artışı ile orantılı artış göstermektedir. 9. metrede her iki sistemin maliyetleri eşit olduğu görülmektedir. Grafikten çıkan sonuçlardan bir diğeri de 9. metreye kadar ankrajlı iksa sisteminin maliyetinin fore kazıklı sisteme oranla yüksek oluşudur. 9. metreden sonra ise ankrajlı sistemin maliyet artış miktarı düşmekte ve ankastre sistem daha yüksek maliyete ulaşmaktadır.



Şekil 6. (a) Killi ve Kumlu Zeminde Ankrajlı İksa Sisteminin Maliyetlerinin Derinlikle Değişimi
(b) Killi ve Kumlu Zemin Ankastre Fore Kazık Maliyetlerinin Derinlikle Değişimi

Kumlu zemin için aynı kıyaslama yapıldığında killi zemin modelinde bulunan sonuçlara benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Şekil 5.b). Bu zeminde iki sistemin maliyetleri yaklaşık 8 metrede kesişmektedir. 8 metreden önce ankastre sistemin, 8 metreden sonra ise ankrajlı sistemin daha düşük maliyete sahip olduğu görülmektedir.

Ankastre fore kazık iksa sistemi killi ve kumlu zeminde uygulandığında Şekil 6.b’ deki grafik elde edilmektedir. Görüldüğü üzere maliyetler her iki zeminde de birbirine çok yakındır. Her ne kadar kazı derinliği boyunca tutulan zeminler farklı olsa da diğer bir deyişle kazıkların üzerine gelen toprak basıncı değerleri birbirinden farklı olsa da, ankastre iksa sistemlerinde temel prensip kazıkların sağlam zemine ulaşması ve konsol davranması olduğu için en önemli faktör olan sağlam zemin her iki örnekte de aynıdır ve her iki örnekte de kazık boyları ve çapları birbirine çok yakın çıkmıştır. Dolayısıyla maliyetler de yakın hesaplanmıştır.

Killi zeminden elde edilen ankrajlı iksa sistemi maliyetlerinin kumlu zemin modelindeki maliyete oranla yüksek çıkmasını ise zeminlerin kayma mukavemeti açılarıyla açıklamak mümkündür. Killi zeminin kayma mukavemeti açısı 22 derece, kumlu zeminin kayma mukavemeti açısı 28 derecedir. Bu açılardaki fark nedeniyle (6) nolu denklem uygulandığında kilin K_A katsayısı daha yüksek çıkacaktır.

K_A ’nın yüksek olması nedeniyle toprak basıncı hesaplarında killi modelin değerleri daha büyük hesaplanır ve bu nedenle de kesme ve moment değerleri kuma göre yüksektir. Bu durum tasarım yapılırken maliyetin büyümesine yola açar.

Yapılan bu analiz ve karşılaştırma sonucu elde edilen bulgular sadece bu zemin için geçerli olup farklı zeminler de farklı sonuçlar elde edilecektir. BAnk05 programı ile aplikasyon yapılacak her türlü zemin için bu analizleri yapmak olasıdır.

4.4. Yatay Ankraj Yük Yöntemlerinin Karşılaştırılması

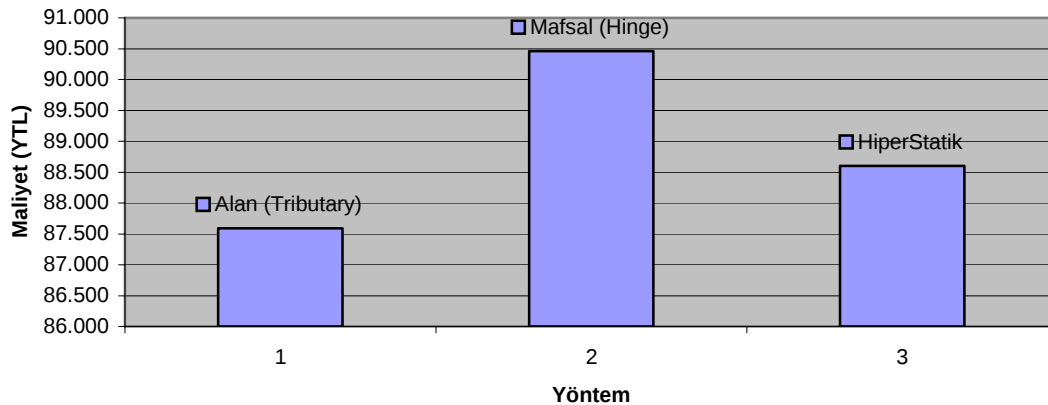
Geliştirilen bilgisayar programı BAnk05, tasarımcının boyutlarını belirlediği iksa sistemini üç farklı yöntem kullanarak statik açıdan çözümlenebilmekte ve kullanıcıya sistemin kesme kuvveti ve moment değerlerini verebilmektedir. Bu değerler ile tasarım yapıldığında kesme kuvveti ve moment değerlerinin büyüklüklerine bağlı olarak farklı maliyetler ve tasarımlar ortaya çıktığı görülmektedir. BAnk05 programının sunduğu çözüm yöntemleri; 1. Alan (Tributary) Yöntem, 2. (Hinge) Yöntem, 3. HiperStatik Yöntem’ leridir.

Bu yöntemleri karşılaştırmak için 12 m kazı derinliği ve 60 m kesit boyu olan bir zemin modelinde BAnk05 programı ile üç yöntem de kullanılarak çözümlenmeler yapılır. Elde edilen bulgular aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 4. BAnk05 Yatay Ankraj Yük Yöntemleri Karşılaştırması

	Kazı Derinliği (m)	Kazık Çapı (m)	Kazık Aralığı (m)	Düşey Ankraj Sayısı	Ankraj Boyu (m)					Maliyet (YTL)
					1.Ankraj	2.Ankraj	3.Ankraj	4.Ankraj	5.Ankraj	
Alan (Tributary) Yöntem	12	0,45	0,9	5	10,11	9,04	7,97	6,9	5,83	87.590
Mafsalsal (Hinge) Yöntem	12	0,45	0,8	5	10,59	9,51	8,44	7,37	6,3	90.460
HiperStatik Yöntem	12	0,45	0,9	5	10,35	9,28	8,21	7,14	6,07	88.602

Tablo 5. BAnk05 Yatay Ankraj Yük Yöntemleri Karşılaştırması Grafiksel Gösterimi



Tablolar incelendiğinde görülmektedir ki; maliyetler açısından bakıldığında en yüksek değere Hinge (Mafsal) Yöntemi, en ekonomik değere de Tributary (Alan) Yöntemi ulaşmaktadır. Hiperstatik Yöntem ile elde edilen tasarımın maliyeti ise diğer iki yöntemin maliyetlerinin arasında çıkmaktadır. Maliyet değerlerine paralel olarak ankraj boyları aynı sıralamada gözükmemektedir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Derin kazılar günümüz modern şehirlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Yapıların inşaa edilecek alanın hem çok sınırlı hem de çok değerli olması nedeniyle alanı en verimli şekilde kullanmak isteği doğmuştur. Bu istek sonucu sadece zemin seviyesinin üstü değil, altı da kullanıma açılmaya başlanmıştır.

Artık ihtiyaç haline gelen derin kazıların tasarımı inşaat mühendislerini bu alanda ciddi çalışmalara yöneltmiş oldukça başarılı uygulamalar yapılmıştır. Bu çalışmaların, mühendislik açısından güvenlik koşulları önemli olduğu kadar maliyetleri de son derece önemli bir husustur.

Derin kazılarda en önemli noktalardan bir tanesi kazı derinliği boyunca oluşacak basınç dağılımının tespitidir. Bu dağılım zeminin cinsine, su durumuna, yakın çevredeki bina, yol gibi dış etkenlerden gelen yüklere ve buna benzer bir çok faktöre bağlıdır. Geoteknik Mühendisliği alanında toprak basıncının dağılımı için geliştirilmiş bir çok yaklaşım mevcuttur. Kazı işlerinde kazı yüzeyinde oluşacak toprak basıncı dağılımını dengeleyebilmek için çeşitli iksa sistemleri tasarlayabilmek imkanı vardır. Çok derin olmayan kazılarda istinat duvarı gibi hem üretimi daha kolay hem de daha az maliyetli destekleme sistemleri kullanılırken derin bir kazıda bu ve buna benzer sistemler güvenlik ve maliyet açısından limit değerleri aşacaktır.

Derin kazılarda oluşacak toprak basınçlarını dengelemek için iksa sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanıma sahip iki tanesi çok sıra ankrajlı iksa sistemleri, ankrajsız konsol olarak çalışan fore kazıklardır.

İnşaat mühendisliğinde en önemli hususların başında güvenlik ve maliyet gelmektedir. Gereğinden fazla güvenli bir yapı ekonomik olmayacak, standartların altında ekonomik bir yapıda güvenli olmayacaktır. Bu nedenlerle inşaat mühendisleri hem en güvenli hem de en düşük maliyette tasarım yapmak zorundadırlar. Derin kazılarda kullanılan iksa sistemleri içinde aynı gereklilikler vardır.

Bu bildiri kapsamında bu gereklilikleri göz önünde bulundurarak derin kazılarda kullanılan iksa sistemlerini hem güvenlik sınırları içinde hem de en düşük maliyette hesaplamayı amaçlayan BAnk05 adında bir bilgisayar tanıtılmıştır. Program MS EXCEL ortamında hazırlanmış olup son derece yalın ve anlaşılması kolaydır. Bu bilgisayar programı kullanıcıya konsol çalışan fore kazıklarla veya çok sıra ankrajlı iksalarla çözüm üretebilmek imkanı vermiştir. BAnk05 programı iksa sistemlerinde kullanılan malzeme ve işçilik maliyetlerini göz önüne alarak, kullanıcının tasarımını yapmış olduğu iksa sisteminin maliyet analizini yapmaktadır. İksa sistemi, program ile kısa bir sürede çözüldüğü için kullanıcı çok çeşitli çözümler üretilip bunların maliyet kıyaslamasını yapabilmekte bunun sonucunda da en güvenli ve en ekonomik sistemi seçebilmektedir.

Bu bildiri kapsamında tamamen kum ve tamamen kil zeminden oluşan iki farklı zemin profili tanımlanmıştır. Bu zemin profillerinde kazı derinliği, killi zeminde 4 metreden 16 metreye, kumlu zeminde 4 metreden 20 metreye kadar değiştirilmiştir. Bu değişen kazı derinliğine bağlı olarak hem konsol fore kazık hem de tek ve çok sıra ankrajlı iksa sistemleri için tasarımları yapılmış ve maliyetleri kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre killi zemin modelinde 9 metre kazı derinliğinde iki iksa sisteminin de maliyetlerinin yakın olduğu, 4-9 metreler arası fore kazıklı sistemin daha ekonomik olduğu, 9-20 metreler arası ise ankrajlı sistemin daha ekonomik olduğu görülmüştür. Kumlu zemin modelinde iksa maliyetlerinin 8 metre kazı derinliği seviyesinde eşit olduğu gözlenmiş, daha az derinlikte konsol sistemlerin, daha derin seviyelerde ise çok ankrajlı sistemlerin ekonomik olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar kullanılan iki farklı zemin cinsi ve özelliklerine göredir. Bir genelleştirme yapılması zor olsa da kumlu zeminlerde 8,0 m'den daha büyük kazı derinliklerinde ankrajlı sistemleri kullanmak daha anlamlıdır.

Bildiri kapsamında BAnk05 programının kullanıcıya sunduğu yatay ankraj yük yöntemleri; Alan (Tributary), Mafsal (Hinge) ve Hiperstatik Yöntem, bir zemin modeli üzerinde uygulandığı zaman Hinge Yönteminin en yüksek maliyete ulaştığı, Tributary Yöntemin en düşük maliyete ulaştığı görülmüştür. Hiperstatik Yöntem ise diğer iki yöntemin arasında bir maliyete sahip olmaktadır. Bu maliyet farkları tüm maliyetin ancak %5'i civarında olmaktadır. Seçilen yatay ankraj yük yöntemi, hem tasarım hem maliyet açısından sonucu önemli ölçüde etkilememektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Hatipoğlu, B., İncecik, M. (1994) Bir Derin Kazı Destekleme Yapısında Oluşan Yatay Hareketlerin İncelenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5.Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara
- [2] Terzaghi, K., Peck, R. B. (1967) Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, NewYork
- [3] Peck, R.B. (1969) Deep Excavations and Tunnelling in Soft Ground, State of Art Report, Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, Mexico, pp.225-290
- [4] Rankine, W (1857) On The Stability Of Loose Earth, Philosophical Transactions of The Royal Society of London, Vol. 147
- [5] Terzaghi, K. (1943) Theoretical Soil Mechanics, Wiley, Inc., NewYork
- [6] Taylor, D. W. (1948) Fundamentals of Soil Mechanics, Wiley, NewYork, pp 700
- [7] Sabatini, P.J., Pass, D.G., Bachus, R.C. (1999) Ground Anchors and Anchored Systems,