

## **GÖRÜNÜR TOPRAK BASINCI YAKLAŞIMIYLA İKSA SİSTEMİ TASARIMININ GRANÜLER ZEMİNLER İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **CONSIDERATION OF RETAINING STRUCTURE DESIGN WITH APPARENT EARTH PRESSURE APPROACH ON GRANULAR SOILS**

**Bünyamin ODABAŞI<sup>1</sup>, Sami ARSOY<sup>2</sup>**

#### **ÖZET**

İçten destekli iksa sistemleri; günümüzde gerek altyapı projelerinde gerekse bitişik nizam yapıların yoğunlukta olduğu ve şevli temel kazılarının yapılamadığı şehir merkezlerindeki yapı inşaatlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Söz konusu sistemlerin doğru bir şekilde projelendirilmesi hem ekonomik anlamda hem de güvenlik anlamında büyük önem arz etmektedir. İçten destekli iksa sistemlerinin tasarımı, hâlihazırda dayanma yapılarının tasarımında yaygın olarak kullanılan Rankine veya Coloumb gibi belli kabuller (zeminin kuru ve limit denge durumunda olması vb.) altındaki teorik yaklaşımlara dayanan yanal toprak basıncı teorilerinden ziyade arazi ölçümlerine dayanan görünür toprak basıncı dağılımları kullanılarak yapılmaktadır. Görünür toprak basıncı diyagramları için Terzaghi&Peck (1967) ve Tschebotarioff (1973) gibi birçok öneri mevcuttur ve bu öneriler için çeşitli hesap yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar arasında çoğu zaman tasarımı ciddi anlamda etkileyecek farklılıklar bulunmaktadır. Çalışma kapsamında granüler zeminlerde içten destekli iksa sistemlerinin tasarımında kazı güvenliği için yanal ve düşey hareketler gibi problemlere karşı sunulan çözümlerle birlikte literatürde yer alan ve yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı dağılımları derlenerek sunulmuş ve bu dağılımlardan elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Derin Kazılar, Görünür Toprak Basıncı, İçten Destekli İksa Sistemleri, Limit Denge, Yanal Toprak Basıncı, Yanal ve Düşey Hareketler*

#### **ABSTRACT**

Internally supported excavation systems; is frequently used both in infrastructure projects and in excavation for foundations at city centers where adjacent structures are congested. Proper design and implementation of these systems are of great importance both in terms of economy and safety. Internally supported excavation systems; is frequently used both in infrastructure projects and in excavation for foundations at city centers where adjacent structures are congested. Proper design and implementation of these systems are of great importance both in terms of economy and safety. The design of internally supported shoring systems is to use the apparent soil pressure distributions based on field measurements rather than the lateral soil pressure theories based on theoretical approaches such as Rankine or Coloumb, considering the ground conditions weather it is dry and/or is in limit equilibrium state, etc. .There are many suggestions for apparent earth pressure diagrams, such as Terzaghi & Peck (1967) and Tschebotarioff (1973). Differences often exist among the results obtained using various earth pressure calculation methods, which will significantly affect the design. Within the scope of this study, common apparent earth pressure distributions in the literature are compiled and presented with solutions for problems such as lateral and vertical movements for

<sup>1</sup> Doktora Öğr., Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, bunyaminodabasi@gmail.com (Sorumlu yazar)

<sup>2</sup> Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, samiarsoy@yahoo.com

excavation safety in the design of internally supported shoring systems in granular soils, and the results obtained from these distributions are interpreted.

**Keywords:** *Apparent Earth Pressure, Deep Excavations, Internally Supported Excavation Systems, Lateral and Vertical Movements, Lateral Earth Pressure, Limit Equilibrium State*

## 1. GİRİŞ

Hâlihazırda dayanma yapılarının tasarımında yaygın olarak kullanılan Rankine ve Coloumb gibi yanal toprak basıncı teorilerinde, iksa yapısının belli bir deplasman yapması sonucu oluşan zeminin tümünden yenildiği limit denge durumu ele alınmaktadır. Destekli kazı sistemlerinde ise, kullanılan yatay destekler iksa sisteminin deplasmanını sınırladığı için limit denge durumundaki yanal toprak basıncının tasarımda kullanılması uygun olmamaktadır. İksa sisteminin deplasman miktarı arttıkça sisteme etki eden yanal toprak basıncı azalarak sükûnet halinden limit denge durumuna ulaşılır. Söz konusu yanal toprak basıncı değişimi net olarak belirlenemediğinden destekli kazı sistemlerinin tasarımı için arazi ölçümlerine dayanan görünür toprak basıncı yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşım kimi araştırmacılar (Terzaghi&Peck, Tschebotarioff vd.) tarafından, çeşitli kazılarda, arazide yatay destek elemanlarında yapılan ölçümler kullanılarak geri analizle iksa sistemi arkasındaki yanal toprak basınçlarını hesaplanıp genelleştirilmesi ile ortaya konmuştur. Ancak bazı durumlarda farklı görünür toprak basıncı yaklaşımlarıyla elde edilen sonuçlar arasında tasarımı etkileyecek derecede farklılıklar bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında içten destekli iksa sistemlerinin tasarımı için hâlihazırda yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı dağılımları derlenerek içten destekli iksa sistemi yapım adımları sunulmuş ve farklı arazi ölçümlerinden elde edilen değerler ile kıyaslanarak yorumlanmıştır.

## 2. İÇTEN DESTEKLİ İKSA SİSTEMLERİ VE GÖRÜNÜR TOPRAK BASINCI YAKLAŞIMI

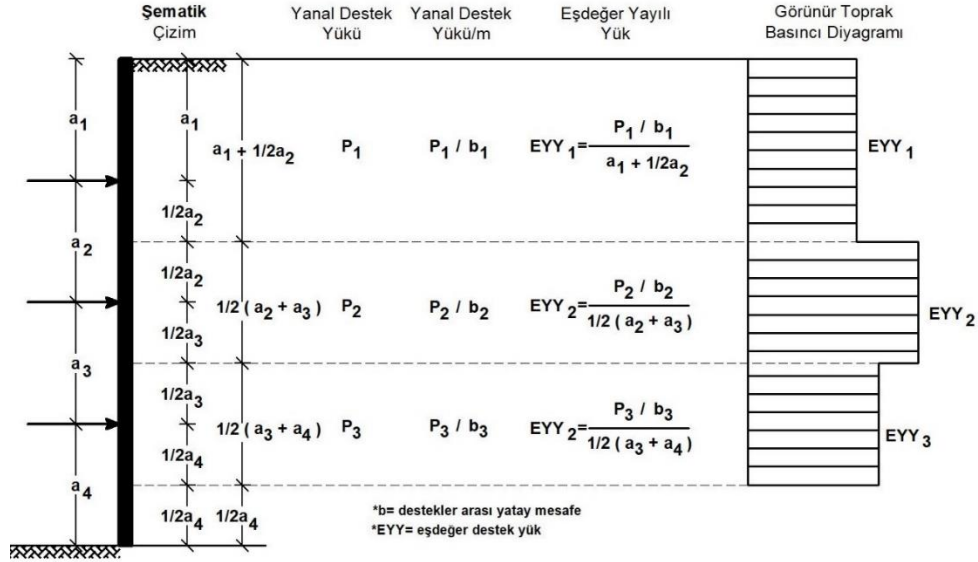
İçten destekli kazı sistemleri; iksa elemanı (palplanş, fore kazık, ahşap kaplama, diyafram duvar vb.), göğüsleme kirişleri ve yatay destek elemanından oluşur ve şu sıralama ile inşa edilirler. İlk önce düşey iksa elemanı imalatı tamamlanarak ilk yatay destek kotuna kadar kazı yapılır ve karşılıklı olarak göğüsleme kirişleri yerleştirilir. İlk sıra yatay destek elemanı karşılıklı yerleştirilen göğüsleme kirişleri arasına konulur. Planlanan zemin kotuna ulaşıncaya kadar bu adımlar tekrar edilir ve yapı temeli inşa edilip yapının yan duvarlarının imalatı yatay destek kotlarına kadar tamamlanarak yatay destek elemanları sırayla kaldırılır. Tüm bu imalat süreçlerinin öncesinde gelen projelendirme safhasında en kritik adım ise göğüsleme kirişleri ve düşey iksa elemanının da tasarımında kullanılan yatay destek elemanlarına gelecek yüklerin belirlenmesidir. Söz konusu yükler ise ancak iksa sistemi arkasındaki yanal toprak basıncının belirlenmesiyle elde edilebilir.

Destekli kazı sistemlerinde sisteme etki eden yanal toprak basıncı sistemin deplasman şekline ve miktarına bağlıdır. Kazı alanına doğru herhangi bir deplasman (dönme,ötelenme) durumunun gerçekleşmediği sükûnet hâlimden, kazı alanına doğru belli bir miktar deplasman olması durumunda gerçekleşen destek sistemi arkasındaki zeminin tümünden yenildiği aktif limit denge durumuna kadar kazı sistemine etki eden yanal toprak basıncı azalma eğilimindedir. Yanal toprak basıncındaki bu değişim Eş.1 ile ifade edilebilir.

$$E = [(1-\alpha)K_0 + \alpha K_a] \gamma z \quad (1)$$

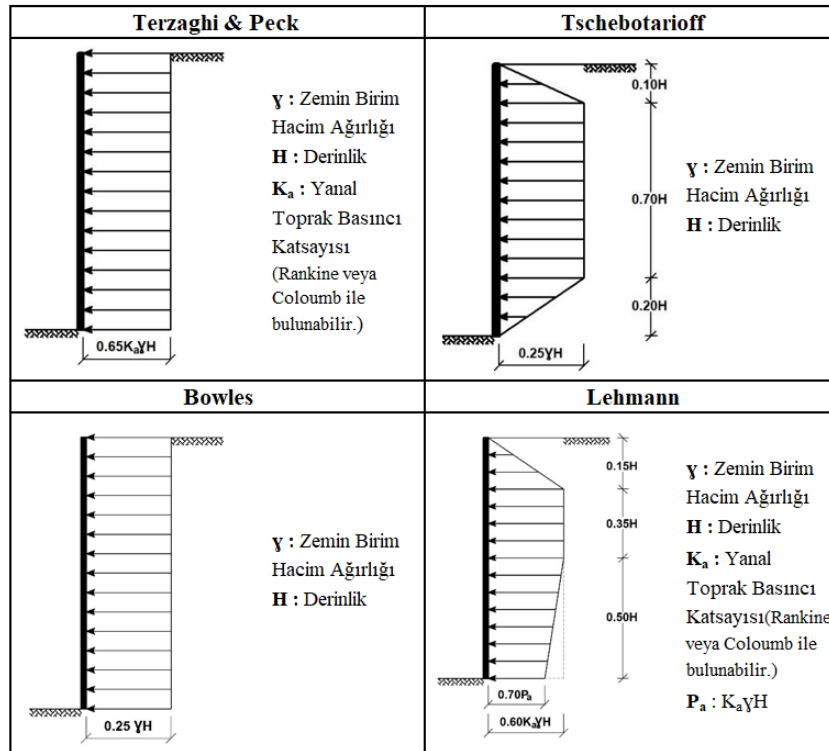
Eşitlikte  $K_0$  sükûnet hali yanal toprak basıncı katsayısını,  $K_a$  aktif limit denge durumu yanal toprak basıncı katsayısını,  $\gamma$  zeminin birim hacim ağırlığını  $z$  ise yüzeyden derinliği temsil etmektedir. Eşitlikteki  $\alpha$  katsayısı sistemin yanal deplasmanının olmadığı durumda 0, yenilmeye sebebiyet veren deplasman durumunda ise 1 alınmalıdır. Geleneksel dayanma yapısı tasarımlarında  $\alpha$  katsayısı 1 alınıp aktif limit denge durumunda hesap yapılmakta ve devrilme, dönme, toptan göçme gibi stabilite tahkiklerinde güvenlik katsayıları kullanılmaktadır. Destekli kazı sistemlerinde ise yanal destekler sistemin deplasmanını sınırladığından  $\alpha$  değeri 0 ile 1 arasında kalmaktadır. Söz konusu değeri teorik olarak belirlemek oldukça zor olduğundan destekli kazı sistemlerinin tasarımı yapılan arazi ölçümlerine dayanarak gerçekleştirilen görünür toprak basıncı dağılımları kullanılarak yapılmaktadır. Arazi ölçümlerinden görünür toprak basıncı diyagramları ilk olarak Terzaghi&Peck tarafından Şekil.1’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Arazide ölçülen yatay destek yükleri, desteklerin plandaki aralığına bölünerek 1 m başına olan değeri bulunmuştur. Bulunan bu değerlere karşılık gelen eşdeğer yayılı yükler destekler arası mesafelerle orantılı olacak şekilde elde edilmiştir.



Şekil.1 Arazi ölçümlerinden görünür toprak basıncı diyagramlarının elde edilmesi.

Elde edilen basınç dağılımları; tasarımda kullanılabilmesi için, zemin birim hacim ağırlığı ve kazı derinliği gibi parametrelere bağlı olarak genelleştirilmiştir. Kimi araştırmacılar bu parametrelere ilave olarak aktif limit denge durumu yanıl toprak basıncı katsayısını da eklemişlerdir. Granüler zeminler için çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı dağılımları Şekil-2’de verilmiştir.



Şekil.2 Yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı dağılımları.

### 3. ÇALIŞMA KAPSAMINDA DERLENEN ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

Çalışma kapsamında yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı dağılımlarını değerlendirmek amacıyla granüler zeminlerde çeşitli arazi ölçümlerinden derlenen veriler kullanılmıştır. Kullanılan verilere ait temel bilgiler Tablo-1'de özetlenmiştir.

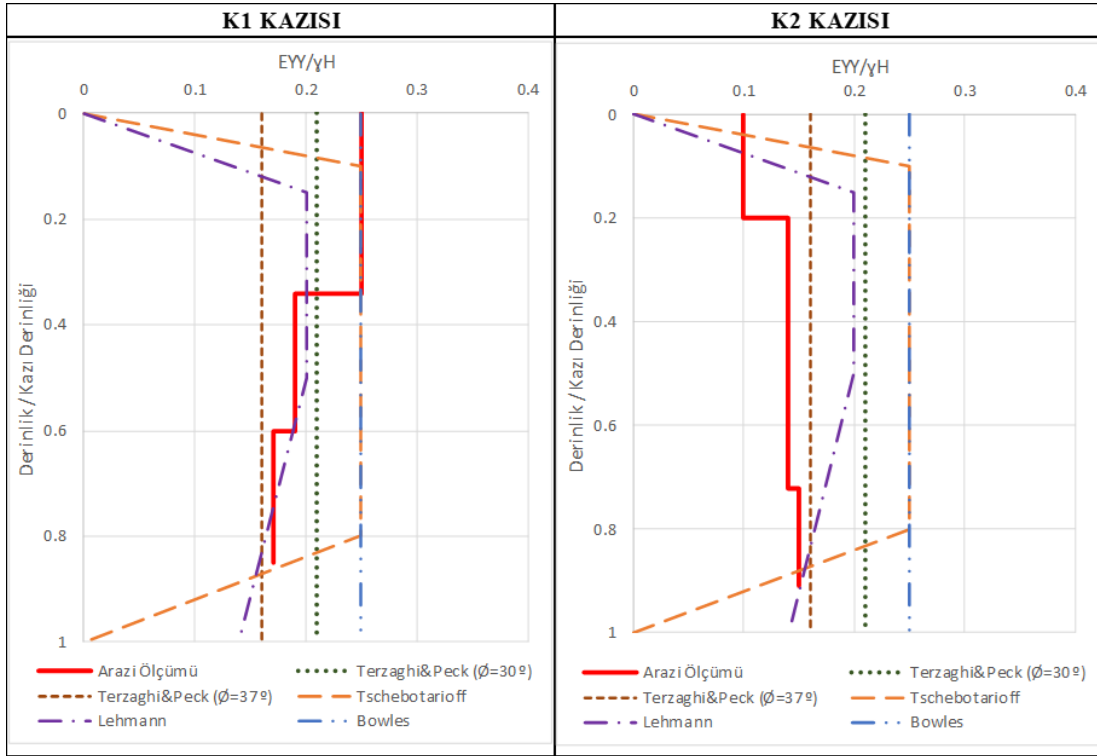
Veriler; arazide yatay destekler üzerinde yapılan yük ölçümleri kullanılarak Şekil-1'de verilen yaklaşım ile iksa sistemi arkasındaki yanal toprak basıncı dağılımı hesaplanıp zemin birim hacim ağırlığı ve derinliğe bağlı olarak boyutsuz hale getirilerek elde edilmiştir. Elde edilen dağılımlar yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı dağılımları ile kıyaslanmıştır.

Tablo.1 İncelenen arazi verilerine ait temel bilgiler

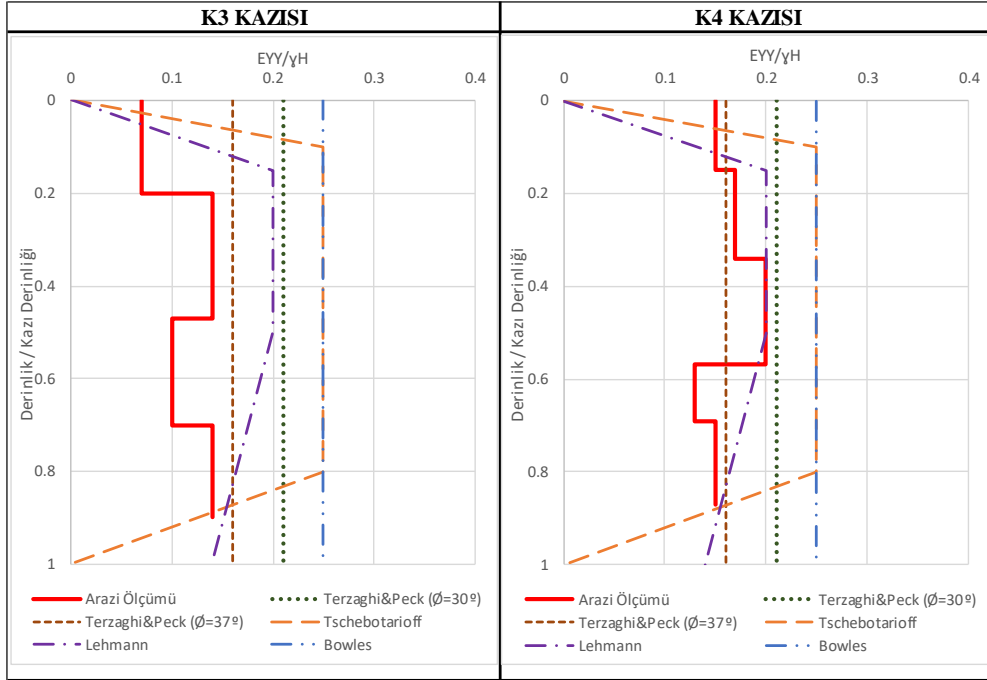
| VERİ | Yatay Destek Sayısı | Kazı Derinliği (m) | Zemin B.H.A (kN/m <sup>3</sup> ) | Referans                    |
|------|---------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| K1   | 3                   | 8,6                | 17,7                             | FLAATE, K S (1966)          |
| K2   | 4                   | 10,7-11,8          | 16,7-16,9                        | FLAATE, K S (1966)          |
| K3   | 4                   | 12,2               | 16,7                             | FLAATE, K S (1966)          |
| K4   | 5                   | 18,3               | 18,9                             | O'ROURKE and CORDING (1974) |
| K5   | 4                   | 11,9               | 19,6                             | FLAATE, K S (1966)          |
| K6   | 5                   | 20,7               | 19,6                             | ARMENTO. W J (1972)         |

Derlenen verilerde K1,K3 ve K5 kazılarında yeraltı su seviyesi bilgisi bulunmamakta olup sisteme etki eden bir hidrostatik kuvvet bulunmadığı kabul edilmiştir. K2,K4 ve K6 kazılarında ise suyun drenajı için düşey kaplama elemanları arasında boşluklar bırakılmıştır.

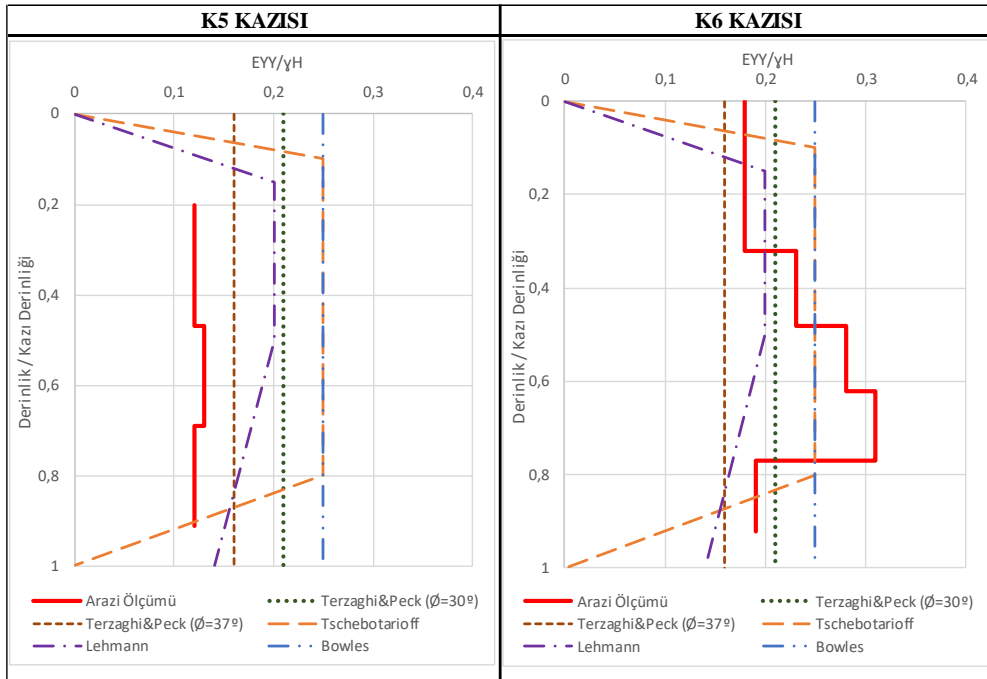
Bununla birlikte derlenen verilerde granüler zeminler için temel kayma mukavemeti parametresi olan içsel sürtünme açısı bilgileri detaylı olarak bulunmamaktadır. Derlenen verilerin özellikle Terzaghi&Peck görünür toprak basıncı önerisi ile kıyaslanabilmesi için içsel sürtünme açısının 30° ve 37° olduğu durumlardaki (aktif yanal toprak basıncı katsayısı için Rankine önerisi kullanılmıştır.) göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil.3 K1 ve K2 kazılarındaki arazi ölçümlerinin yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı dağılımları ile kıyaslanması



Şekil.4 K3 ve K4 kazılarındaki arazi ölçümlerinin yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı dağılımları ile kıyaslanması



Şekil.5 K5 ve K6 kazılarındaki arazi ölçümlerinin yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı dağılımları ile kıyaslanması

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında yaygın olarak kullanılan görünür toprak basıncı dağılımı önerileri arazi ölçümleri ile kıyaslanmıştır. Eldeki veriler ile yapılan kıyaslamalarda özellikle Tschebortarioff ve Bowles önerilerinin hemen hemen tüm durumları kapsadığı görülmüştür. Yalnızca K6 kazısında bu durum sağlanmamakta olup buna arazi ölçümü verisinde belirtilmeyen süsarıj yükünün sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Terzaghi-Peck önerisi ise, Tschebortarioff tarafından da belirtildiği üzere sıkı kumlarda (büyük içsel sürtünme açısı değerlerinde) doğru sonuç vermemektedir. Bowles ve Tschebortarioff önerilerinin tasarımda kullanımı, iksa sistemi yapı elemanlarının dayanımı için güvenlik katsayıları kullanıldığı göz önüne alındığında uygun görülmektedir. Ancak uygulamada en azından ilk sıra destek elemanlarında yapılan yük ölçümlerine istinaden hangi dağılımın kullanımının daha uygun olacağı öngörülebilir. Yatay zemin hareketlerinin çok düşük değerlerde tutulmak istendiği kazılarda yatay destek elemanlarına ön yükleme yapılabilir. Ön yükleme değeri ise incelenen dağılımlardan en yüksek değeri veren dağılımdan elde edilen yatay destek yüklerine göre ya da aktif limit denge durumuna sebebiyet vermeyecek deplasman değerlerinde çalışıldığından sükûnet hali yanal toprak basıncı dağılımına göre de belirlenebilir. Ancak iksa sistemi arkasında pasif limit denge durumuna sebebiyet vermemek için ön yüklemeler, ilk etapta kazı kademelerine göre hesaplanan sükûnet hali yanal toprak basıncından elde edilen değerlere göre yapılmalı ve kazı derinliği arttıkça ön yükleme değerleri de nihai kazı derinliğe göre hesaplanan sükûnet hali yanal toprak basıncından elde edilen değere kadar kademeli olarak artırılmalıdır. Yeraltı su seviyesi altında yapılan kazılarda drenaj sistemi ile suyun kazı alanından tam olarak uzaklaştırılması büyük önem arz etmektedir. Drenajın tam olarak sağlanmadığı durumda toprak basıncı dağılımı kuru halde belirlenen dağılımdan daha büyük olabilecek olup K6 kazı verilerini inceleyen Twine ve Roscoe (1999) tarafından raporlanmıştır.

Sonuç olarak yapılan çalışma ve derlenen bilgiler, granüler zeminlerde içten destekli iksa sistemi tasarımının yüksek özen gösterilerek ve hem çalışma sahası hem de komşu sahalardaki zemin koşulları iyi irdelenerek yapılması gerektiği öne çıkmaktadır. Teorik olarak bakıldığında ise iksa sistemine gelecek olan yüklerin elde edilmesinde, zeminin limit denge durumu ile sükûnet hali arasındaki mobilizasyon derecesinden yola çıkılarak deplasman bazlı bir tasarım yöntemi geliştirilmesinin daha yararlı olacağı düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Armento, W. J., (1972), "Criteria for lateral pressures for braced cuts", American Society of Soil Mechanics Speciality Conference on Performance of Earth-Supported Structures, Indiana
- Flaate, K. S., (1966), "Stresses and movements in connection with braced cuts in sand and clay", PhD Thesis University of Illinois
- Hanna, H.T., (1982), "Foundations in Tension – Ground Anchors", Mc Graw Hill Book Co. Inc., New York.
- Karray M., Gobrial F., Morsi M.M., Fayed A.L., (2011), "Numerical analysis of the effect of Wall roughness in deep excavation in sand", International Journal of Geotechnical Engineering, DOI:10.3328/IJGE.2011.05.03.315-327.
- Moorman, C., (2004), "Analysis of Wall and Ground Movements Due to Deep Excavations in Soft Soil Based on New Worldwide Data Base", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol 44, (1), pp87-98
- NAVFAC, (1988), "Design Manuals 7.1 and 7.2, Foundations and Earth Structures", Department of the Navy, Alexandria VA.
- O'rourke T. D., Cording E. J., (1974), "Observed Loads and displacements for a Deep Subway Excavation", Proceedings of Rapid Excavation and Tunnelling Conference, San Francisco
- Peck, R. B., (1969), "Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground", 7th. International Con. Soil Mech. Found. Engrg., pp.225-281
- Terzaghi, K., Peck, R.B., (1967), "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley Sons Inc., New York.
- Tschebortarioff G. P., (1973), "Foundation, Retaining and Earth Structures", 2nd ed., Mc Graw Hill Book Co. Inc., New York.

- Twine D., Roscoe H., (1999), "Temporary Propping of deep excavations-guidance on design", CIRIA C517, London.
- Yıldırım, S. (2004), "Zemin İncelemesi ve Temel Tsarımı", Birsen Yayınevi, İstanbul.