

## KIYI YAPILARINDA KAZIKLI SİSTEMLERİN KULLANILMASI

Prof.Dr. Ergün Toğrol

İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Geoteknik Anabilim Dalı, Maslak, İSTANBUL

### ÖZET

*Kıyı yapılarında sık kullanılan kazıklı sistemlerin tasarımında zemin incelemelerinin önemi araştırılmıştır. Bu amaçla, bir kıyı yapısı için tasarlanmış kazıklı sistemin bir elemanı üzerinde yapılan kazık yükleme deneyi sonuçları, statik ve dinamik değerlendirmelerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.*

### KAZIKLI SİSTEM

17 Ağustos 1999 tarihli Gölcük depreminden sonra Marmara'nın depremden en çok etkilenen bir kıyısında yapılmaya başlanılan iskele inşaatında kazıklı sistemden yararlanılmaktadır. Bu amaçla iskele sahasında ayrıntılı bir zemin incelemesi yapılmıştır. Ayrıca kazık taşıma gücünün tahkiki için kazık yükleme deneyi yapılmıştır.

Kazık yükleme deneyi düzeni Şekil 1'de deney sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Deneyde, çapı 812 mm., et kalınlığı 11.1 mm. olan açık uçlu çelik boru kazık kullanılmıştır. Maksimum deney yükü 540 ton olmuştur.

### KAZIK YÜKLEME DENEYİ SONUÇLARININ YORUMLANMASI

Kazık taşıma gücünü belirlemenin en iyi yolu, kazık yükleme deneyi yapılmasıdır. Kazık taşıma gücünün aşılması halinde göçme meydana gelir ve kazığa etkiyen yükü daha fazla arttırmaya gerek kalmadan kazığın zemine battığı görülür. Yükleme deneylerinde, çeşitli nedenlerle, her zaman kazığın bu şekilde göçmesine yol açacak bir yüke ulaşılamaz. Bu yüzden, deneyde erişilen aşamaya bakılarak kazığın göçme yükünün tahminine gidilir.

Kazık göçme yükünün kazık yükleme deneyleri sonuçlarına bakılarak tahmininde kullanılan yöntemlerden birisi Chin (1978) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde, yükleme deneyi sonuçlarından yararlanılarak, her P yük kademesindeki  $\Delta$  oturma miktarı göz önüne alınır ve "oturma ( $\Delta$ ) ile  $\Delta/P$  arasındaki bağlantı" grafik olarak çizilir. Elde edilen çizgisel bağlantının eğiminden taşıma gücü hesaplanır.

Öteyandan “oturma-yük” eğrisinden kazık göçme yükünün veya emniyetli kazık yükünün belirlenmesi için kullanılan kriterlerden de yararlanılması mümkündür. Bu kriterlerden bazıları şunlardır:

- (1) Yük arttırılmadığı halde oturmanın sürekli artması halinde taşıma gücüne ulaşılmış demektir.
- (2) Kazık çapının %10 u kadar bir net oturma meydana getiren deney yükü taşıma gücü olarak kabul edilir.
- (3) Oturmaların yüklerle orantılı olmamaya başladığı yük taşıma gücü olarak kabul edilir.
- (4) Yükün her tonu için 0.25 mm. den daha fazla net oturmaya yol açan yük taşıma gücü kabul edilir.

İncelediğimiz deneyde Chin yöntemi ile yapılan değerlendirmede, kazığın  **nihai çevre sürtünmesi**,  $Q_s = 298$  ton;  **toplam taşıma gücü**,  $\Sigma Q_d = 1384$  ton olarak belirlenmiştir.

Yukarıda sayılan kriterlerdeki sınır değerlerin hiçbirine ulaşılmamıştır. Dolayısıyla, deney sırasında tatbik edilen 540 ton değerindeki maksimum yük emniyetli sınır içinde bulunmaktadır.

Burada, özellikle deniz yapılarında çok karşılaşılan önemli bir husus ortaya çıkmaktadır. Chin yöntemi ile kazığın çevre sürtünmesi  $Q_s = 298$  ton, toplam uç mukavemeti  $Q_p = 1086$  ton olarak belirlenmiştir. Bir başka deyişle kazığa gelen yükün büyük bir kısmı kazık ucunun zeminden gördüğü mukavemet ile taşınmaktadır. Kazığın zemin içindeki boyu 54.75m. dir. Kazık çapı 812 mm. olduğuna göre, kazığın zemin içindeki çevre alanı,

$A_s = 139.666 \text{ m}^2$  ve kazık birim çevre alanına gelen ortalama sürtünme,

$$f_s = 2.1 \text{ ton/m}^2$$

Kazık uç alanı (kazık ucu kapalı olarak hesaplanarak)  $A_p = 0.518 \text{ m}^2$  olduğuna göre kazık ucuna etkiyen zeminin mukavemeti,

$$q_d = 2097 \text{ ton/m}^2$$

olarak hesaplanır.

## ARAZİ PROFİLİ VE KAZIK YÜKLEME DENEYİ

Kazık yükleme deneyinin yapıldığı yerde arazi profilinin dikkate değer özellikleri bulunmaktadır. Deniz dibi derinliği 12.55 m. dir.

Deniz dibi 19.80 m. derinliğe kadar, 7.25 m. kalınlıkta, çok yumuşak bir **kil tabakası** ile örtülüdür. Kil tabakasının altında 4.00 m. kalınlıkta bir **kumlu çakıl tabakası** yer almaktadır.

23.00 m. ile 39.50 m. derinlikleri arasında **yüksek plastisiteli kil tabakasına** rastlanmıştır. Bu tabaka içinde yapılan Standart Penetrasyon Deneyleri sonuçları  $N = 2$  ile  $N = 10$  arasında değişmekte ve derinlikle artmaktadır. Bu tabaka için yapılan değerlendirmede, kayma mukavemeti,  $s_u$  [ton/m<sup>2</sup>] ile derinlik,  $h$  [m.] arasında düzgün bir bağıntı elde etmek mümkün olmaktadır:

$$s_u - 13 = 0.31 (h - 23).$$

Bu bağıntıdan da görüldüğü gibi, 23.00 m. derinlikte zeminin kayma mukavemeti,  $s_u=1.3$  ton/m<sup>2</sup>, 39.50 m. derinlikte kayma mukavemeti  $s_u=6.4$  ton/m<sup>2</sup> dir.

39.50 m. ile 46.50 m. derinlikleri arasında alçak plastisiteli killer, yüksek plastisiteli killer, siltli tabakalar dönüşümlü olarak arazi profiline hakim bulunmaktadır. Bu 7.00m. kalınlığındaki bir anlamda "karmaşık" yapının 17 Ağustos 1999 tarihli depremle bir ilgisi bulunup bulunmadığı araştırılmaya değer. Kazık yükleme deneyi yapılan yerde olmamakla birlikte, aynı proje dahilinde, yükleme deneyi yapılan yere 50 m. ile 100 m. kadar uzaklıkta yapılan zemin inceleme sondajlarında bu seviyelerde metan gazı çıkışı gözlenmiştir. Bu gözlemleri kaydetmekle yetinip esas konumuz olan kazık yükleme deneyine dönüyoruz.

46.50 m. derinliği ile 66.05 m. derinliği arasında **kumlu çakıllı tabakaya** rastlanmıştır. Bu tabakalarda yüksek Standart Penetrasyon değerleri elde edilmiştir.

Burada Standart Penetrasyon Deneyleri ile ilgili olarak bazı noktalara işaret etmekte yarar vardır. Bu deney, zeminin sıklığı veya katılığı hakkında bilgi edinebilmek amacı ile nümune alma kaşığının belli bir ağırlıktaki bir tokmakla zemine çakılması ile yapılır. Birbirini izleyen üç 15 cm. lik nüfuz miktarı için darbe sayıları kaydedilir ve son iki çakma sırasında ölçülen darbe sayıları toplanarak Standart Penetrasyon

değeri olarak verilir. Sondaj çukurunda yapılan bu deneyde derinlik arttıkça çeşitli hataların sonucu etkileme olasılığı da artmaktadır. Nümune kaşığına darbe ile iletilen enerji miktarını etkileyen, tijlerin ağırlığı, tokmağın verimliliği, kaplama borusu kullanıp kullanılmaması gibi nedenleri dikkate alan düzeltme sayıları uygulanmaktadır. Bu yüzden korelasyonlarda genellikle bu hatalara karşı düzeltmeleri içeren ve %60 değerinde bir etkinlik kabul eden  $N_{60}$  değerinin kullanılması tercih edilmektedir. Ölçülen  $N$  değerlerine uygulanan düzeltmeler aşağıdaki tabloda verilmektedir.

**TABLO 1. Ölçülen  $N$  değerlerine uygulanacak düzeltmeler.**

Tij uzunluğu	>10 m.	1.0
	6-10 m.	0.95
	4-6 m.	0.85
	3-4 m.	0.75
Sondaj çukuru çapı	65-115 mm.	1.0
	150 mm.	1.05
	200 mm.	1.15

Standart Penetrasyon deneyi sonuçlarının derinlikle değişiminin incelenmesinde kullanılan diğer bir kavram “Dinamik Standart Penetrasyon Mukavemeti”dir. Şu şekilde elde edilir:

$$(N_1)_{60} = N_{60} (10 / \sigma'_{vo})^{1/2}$$

Burada  $\sigma'_{vo}$  [ton/m<sup>2</sup>] efektif jeolojik yükü göstermektedir. Bu ifade, 46.50 m. nin altındaki çakıllı kumlu tabakalardaki yüksek Standart Penetrasyon değerlerine uygulanırsa,  $N = 50$  kabul edilerek  $(N_1)_{60} = 25$  değeri bulunur. Standart Penetrasyon değerleri ile kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ) arasındaki amprik bağlantılardan (Terzaghi ve diğerleri, sf.151)

$$\phi = 38^\circ$$

değeri elde edilir. Bu değere tekabül eden Terzaghi taşıma gücü faktörü  $N_q = 60$  olarak alınırsa kazık uç mukavemeti,

$$Q_p = A_p \cdot N_q \cdot \sigma'_{vo} = 0.5128 \times 60 \times 38.33 = 1179 \text{ ton.}$$

olur. Bu değer, kazık yükleme deneyi sonuçlarının Chin yöntemi ile analiz edilmesi sonucu bulunan kazık uç mukavemeti değeri ( $Q_p = 1086$  ton) ile karşılaştırılabilir.

## ÇAKIM SIRASINDA YAPILAN GÖZLEMLER

57.00 den sonra, kazık çakımı sırasında darbe sayısında belirli bir artış gözlenmiştir.

57.00 m. ile 66.05 m. derinlikleri arasında ortalama refü

$$s = 25 \text{ darbe/10 cm.}$$

olmuş, bu derinlikte refü birdenbire artarak

$$s = 170 \text{ darbe/10 cm.}$$

değerine ulaşılmıştır. Kazık 67.50 m. derinliğine kadar çakılmıştır.

Kazık çakımı DELMAG 46 çekici ile II.enerji seviyesinde yapılmış,

$$s = 110 \text{ darbe/10cm.}$$

değerinde bir refü elde edilmesi halinde kazık taşıma gücünün

$$Q = 540 \text{ ton}$$

olacağı hesaplanmıştır.

## SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

Kıyı yapılarının gerçekleştirilmesinde kazıklı sistemlerin kullanılması önemli yararlar sağlamaktadır. Kazık çap ve boylarının doğru seçilmesi ve kazıkların taşıyabilecekleri yüklerin tahminindeki isabet iyi bir tasarımın ön koşullarıdır. Kazıklı sistemlerin tasarımında zemin özellikleri ve zemin davranışı hakkında doğru bilgi sahibi olunması gerekir.

Yukarıda anlatılan örnekte, 812 mm. çapında , 67.50 m. boyunda çelik boru kazık ile ilgili değerlendirmeler verilmiştir. Kazık çok yumuşak ve gevşek tabakalardan geçerek çok yüksek mukavemetli bir tabakaya oturtulmuştur. Deniz dibinin kalın gevşek ve çok yumuşak tabakalarla örtülü olması hali için tipik bir örnektir.

Kazık taşıma gücünün tahmininde (1) *Statik kazık formülleri*, (2) *Dinamik kazık formülleri*, (3) *Kazık yükleme deneylerinden* yararlanılmaktadır. Statik kazık formüllerinde yararlanılırken zemin ile ilgili verilere dayanılmaktadır. Kıyı yapılarında, özellikle derinlikler arttıkça zemin incelemeleri bir yandan güçleşirken bir yandan da pahalılaşmakta, incelemenin kısa kesilmesi istekleri ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden bir çok kıyı inşaatında, bilgi eksikliği, değerlendirmeyi güçleştirmektedir.

Dinamik formüller, günümüzde daha çok çakma derinliğinin refü değerleri ile belirlenmesi amacı ile kullanılmaktadır. Nitekim, incelenen örnekte, 110darbe/10cm. gibi bir refü değeri için kazık taşıma gücünün  $Q = 540$  ton civarında olacağı sonucuna varılmıştır. Birçok halde, bu refü değeri proje kriteri olarak kabul edilerek kazık çakma boyunun arazide belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Yukarıda da belirtildiği gibi, kazık taşıma gücünün belirlenmesi için en güvenilir yol kazık yükleme deneyi yapılmasıdır. Kazık yükleme deneyinde çevre sürtünmesi,  $Q_s=298$  ton, uç mukavemeti  $Q_p=1086$  ton ve toplam kazık taşıma gücü  $\Sigma Q = 1384$  ton bulunmuştur. Toplam taşıma gücünün önemli bir kısmı uç mukavemetinden kaynaklandığı görülmektedir. Birim alana gelen çevre sürtünmesi ( $f_s=2.1\text{ton/m}^2$ ), birim alana gelen uç mukavemeti ( $q_d = 2097 \text{ ton/m}^2$ ) yanında çok küçüktür.

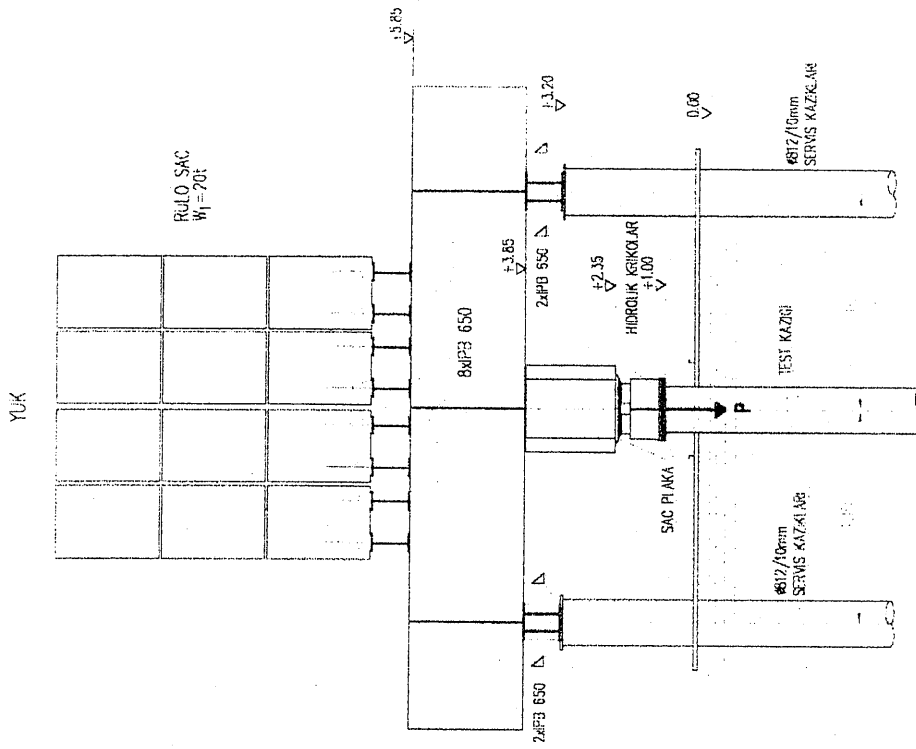
Arazi profilinde, birçok kıyı profilinde olduğu gibi, çakıllı tabakaların varlığı, çakıl içinde yapılan Standart Penetrasyon veya Koni Penetrasyon Deneylelerinin güvenilirliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu bakımdan, taşıma gücünün belirlenmesinde sadece statik formüllerden yararlanılması yeterli olmamaktadır. Yükleme deneyi yapılan yerde 46.50 m. nin altında zeminin kalın çakıllı tabakalar ile örtülü olması zemin incelemeleri sırasında arazi deneyleri yapılmasını büyük ölçüde engellemektedir. Bu koşullarda, kazık taşıma gücünün statik formüller ile tahmini ancak zemin özelliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmiş olması ve dikkatli bir değerlendirme yapılması ile mümkündür.

Sonuç olarak, kıyı yapılarının tasarımında kazıklı sistemlerin kullanılmasında zemin koşullarının doğru olarak değerlendirilmesi önemli olmaktadır. Bu değerlendirme, bilinçli yapılmış, kapsamlı bir zemin inceleme çalışmasını gerektirmektedir.

## KAYNAKLAR

**Chin, F.K.** (1978)“Diagnosis of pile condition”. *Geotechnical Engineering*, 9, sf.85-104.

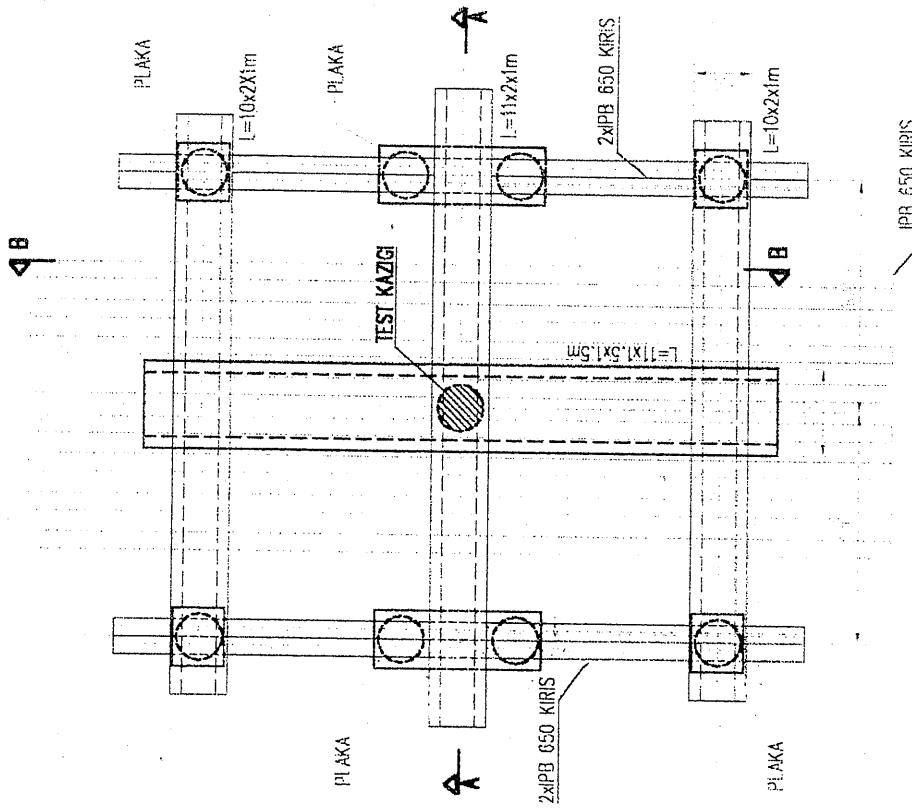
**Terzaghi, K., Ralph B.Peck, G.Mesri** (1995). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons Inc.549 sf.



A-A KESİTİ 1/100

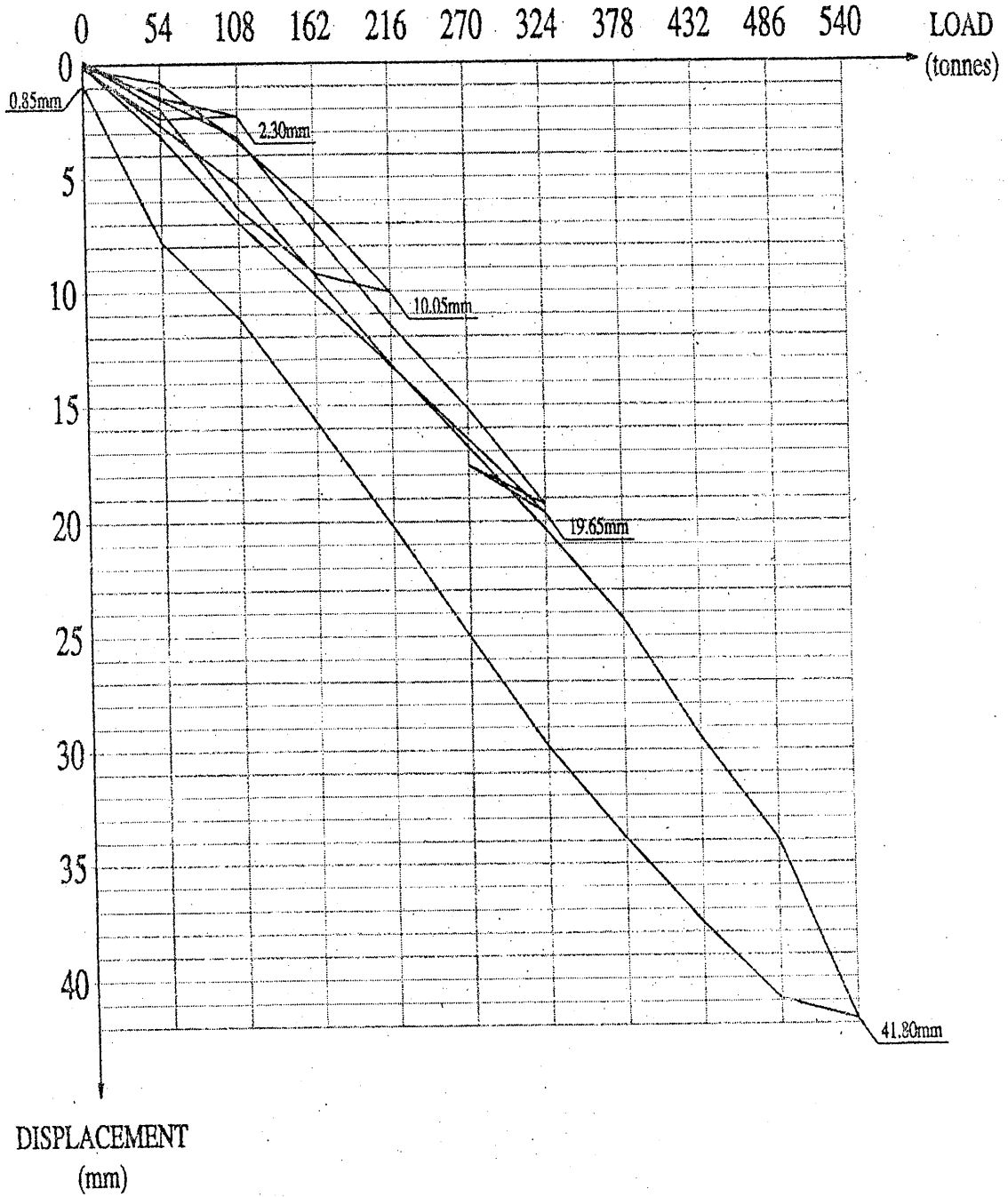
P=216x2.5= 540 TON

YÜK=800ton



KAZIK YÜKLEME TESTİ PLANI 1/100

IPB 650 KIRIS



ŞEKİL 2. KAZIK YÜKLEME DENEYİ (YÜK-OTURMA EĞRİSİ)



