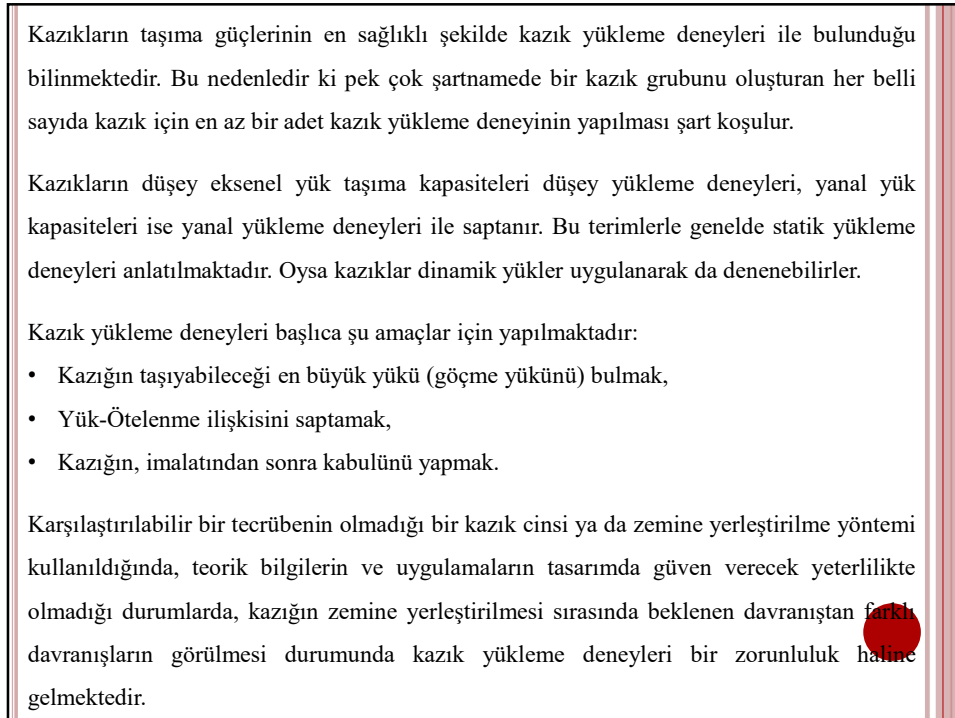




1

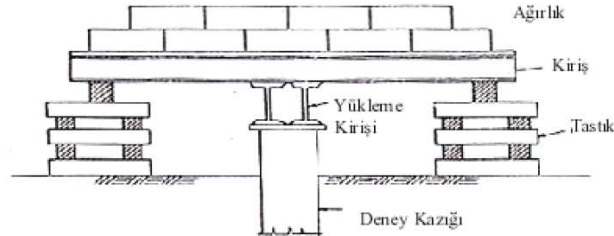


2

Bu bölümde daha çok eksenel düşey yükleme deneyleri üzerinde durulmuştur.

Deneylerin Yapılması

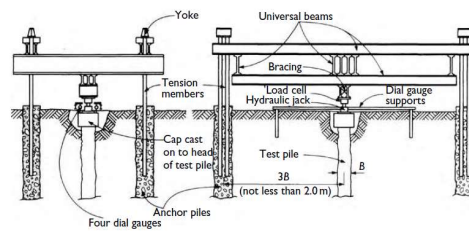
Deneylerin yapılması için yük uygulanmasını sağlayacak ve oturma miktarlarının ölçülmesine elverecek bir düzenek gereklidir. Aynı zamanda, deneylerde yüklemenin yapılması, zamana bağlı bir programa uygun olarak düzenlenmelidir.



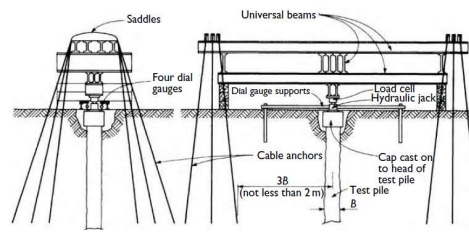
Şekil 1. Ölü Yük Kullanılarak Kazık Yükleme Deneyi Yapılması

Ölü Yük Kullanılarak Kazık Yükleme Deneyi, reaksiyon kuvvetlerinin çok fazla olmayacağı bir durumda bir platform kullanılarak bu platform üzerine ölü yük konulması (örneğin çimento torbalarının yığılması ile) gerçekleştirilebilir. Ölü yük ile yaklaşık **5000 kN** değerine kadar yükleme yapılabilir. Yükleme sistemi dengeli olmalı, yatay hareketler önlenmelidir. Eğimli kazıkların yükleme deneyleri ölü yük ile gerçekleştirilemez.

3



Şekil 2. Çekme Kazıkları Kullanılarak Kazık Yükleme Deneyi Yapılması



Şekil 3. Germe Kabloları Kullanılarak Kazık Yükleme Deneyi Yapılması

Şekil 2 ve Şekil 3' te, kriko kullanılarak yük uygulanan ve deney kazığının çevresindeki çekme kazıklarından (veya çekmeye çalışan ankrajlardan) dayanak alan bir yükleme düzeneği bulunmaktadır. Literatürde, çekme kazıkları kullanılması halinde 15000 kN kademesine kadar yükleme yapılabildiği bildirilmektedir. İki kazığın yetmediği durumlarda üç veya dört çekme kazığı kullanılabilir. Bu tip yükleme deneylerinde; yükü uygulamakta kullanılan kriko, hesaplanan nihai taşıma gücünden 1.5 ila 2.0 katı fazla yük uygulayabilecek kapasitede olmalıdır. Bu nedenle, deneylere geçilmeden önce, deney kazığının taşıma gücünün teorik yöntemlerle saptanması uygun olur. Deney sırasında yer alan oturma miktarları, çok sağlıklı ölçümlerle kayda geçirilmelidir.

4

Yükleme Programı

Kazıklar üzerinde düşey yüklemeye deneyleri iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlardan ilki; Building Research Establishment tarafından geliştirilmiş olan Sabit Penetrasyon Hızı (Constant Rate of Penetration – CRP) yöntemi diğeri de Korunan Yük (Maintained Load – ML) yöntemidir.

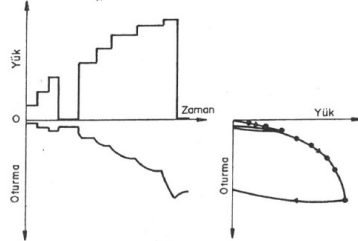
CRP yönteminde; aksenal düşey yük, kazığın zemine sabit bir hızda penetre olmasını sağlayacak şekilde kademeli olarak göçme durumuna kadar artırılır. Yani; her bir yüklemeye kademesinde kazığın zemine sabit bir hızda penetre olmasını sağlamak esastır. Nihai taşıma gücünün saptanmasında kullanılan bu deneyin avantajı çabukluğudur.

Kademeli yük yöntemi olarak da bilinen ML yönteminde ise, servis ya da işletme yükünün 1.5 ya da 2 katı değerindeki bir yüke, yükün aşama aşama artırılarak uygulanması ile ulaşılır. Her bir yüklemeye ve boşaltma kademesinde zaman/oturma ilişkisi kaydedilir. ML deneyinde yüklemeye, göçme meydana gelene kadar da devam edebilir.



5

Kademeli Yüklemeye Deneyleri, uzun süren fakat nihai taşıma gücü yanında oturma miktarlarının da saptanmasının istendiği durumlarda tercih edilen deneylerdir. Adından anlaşılacağı gibi deneyde belirli yükler kademeli olarak yüklenir yine kademeli olarak boşaltılır ve her yük kademesinde oturma hızı belli bir miktara düşünceye kadar beklenir. Bu deneylerde yüklemeye ve yükü boşaltma sırasında uygulanacak yükler ve her kademe de uygulanacak bekleme süreleri önceden tesbit edilmelidir.



Şekil 4. Kademeli Yüklemeye Deneylerinin Sonuçlarının Gösterimi

Servis Yükünün Yüzdesi Olarak Uygulanacak Deney Yüklü	Bekleme Süresi	Kademe
25	1 Saat	Yüklemeye
50	1 Saat	Yüklemeye
100	1 Saat	Yüklemeye
75	10 Dakika	Boşaltma
50	10 Dakika	Boşaltma
25	10 Dakika	Boşaltma
0	1 Saat	Boşaltma
100	6 Saat	Yüklemeye
125	1 Saat	Yüklemeye
150	6 Saat	Yüklemeye
125	10 Dakika	Boşaltma
100	10 Dakika	Boşaltma
75	10 Dakika	Boşaltma
50	10 Dakika	Boşaltma
25	10 Dakika	Boşaltma
0	1 Saat	Boşaltma

6

Kademeli yükleme deneylerinde yük her an sabit olmalıdır. Bunun için yükün bir krik o ile tatbik edildiği deneylerde yük göstergesi sürekli olarak izlenmeli ve bir yük azalması durumunda, bu azalma pompa çalıştırılarak giderilmelidir. Her kademede oturma okumaları başlangıçta daha sık, deney ilerledikçe daha uzun süreli zaman aralıkları ile yapılır. Her yük kademesinde oturma hızı 0.1 mm / 20 dakika' ya düşünceye kadar deneye devam edilir. Kademeli kazık yükleme deneylerinde oturmaların kabul edilebilir bir hıza kadar düşmesini beklemek gerektiğinden bu deneyler uzun süre alırlar. Bir kademedan bir sonraki kademeye geçişte uygulanacak artışlar çoğu kez güvenli çalışma yükünün %25'i kadar alınmaktadır. Deneyler sırasında birçok şartnameye göre boşaltma kademelerine de yer verilir.

Daha kısa sürede sonuç almak istendiği durumlarda, daha hızlı olan kademeli çabuk yükleme deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde yükler hesapla bulunan servis yükünün %200'üne kadar çıkılacak şekilde 30-40 kademe halinde ve 5, 10, 15 dakikalık zaman aralıklarında uygulanır. Bu tip bir deney 2-4 saat içinde bitirilebilir ve nihai taşıma gücü sağlıklı olarak tesbit edilebilir. Bu metotla oturmaların da saptandığı söylenilir. Ancak bulgular kademeli yükleme deneyi ile bulunanlar kadar gerçekçi olmayabilir.

7

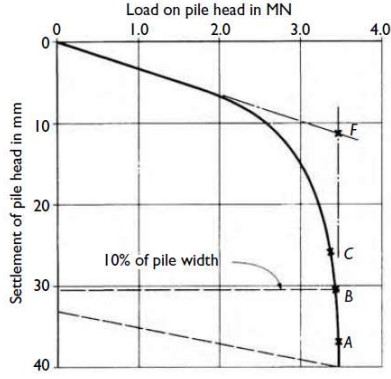
Deneylerin boşaltma kademelerinde zeminin doğrusal elastik davranış göstermemesi nedeni ile bir miktar "kalıcı oturma" olmaktadır. Her kademede görülen bu kalıcı veya plastik oturmalar ile toplam oturmalar arasındaki fark ve/veya bu farkın yük ile değişim hızı, kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesi için kullanılan bazı kriterlerde önemli rol üstlenmektedirler.

- Deney kazıkları projede kullanılacak kazıkları yeterli bir şekilde örnekleyebilmeli, gerek malzeme, gerekse yapım açısından onlardan farklı imal edilmemelidir.
- Kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesinde zemin koşullarının kısa mesafeler içinde farklılıklar gösterebileceğı de dikkate alınmalıdır.
- Kazık yükleme deneylerinde zaman faktörü önemli bir husustur. Kazık yükleme deneyleri kazığın yapımından belli bir süre geçtikten sonra; örneğın TS 3167 uyarınca çakma kazıklarda çakılma işleminin bitmesinden sonra kohezyonsuz zeminlerde en az 3 gün, kohezyonlu zeminlerde ise en az 3 hafta geçtikten sonra yapılmalıdır.

8

Kazık Yükleme Deneylerinin Yorumlanması

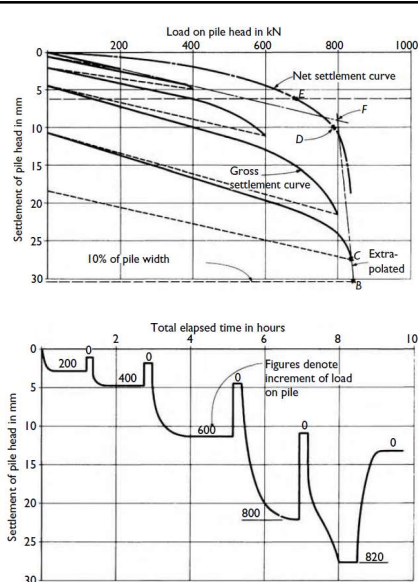
Şekil 5' te CRP yükleme deneyi için tipik bir yük-oturma eğrisi ve Şekil 6' da da ML deneyi için tipik bir yük-zaman-oturma eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 5. Sıkı Çakıl zeminde 305 mm x 305 mm Boyutlarındaki Kazık Üzerinde Yapılan CRP Düşey yükleme Deneyi Sonucu Elde Edilen Yük-Oturma Eğrisi

Nihai taşıma kapasitesi ya da göçme yükü birkaç farklı yol ile yorumlanabilir. Zemin mekanik anlamında göçme, yükte ilave bir artış oluşmaksızın kazığın zemine batması olarak değerlendirilir. Yapı mühendislerinin gözüyle kazıklardaki göçme ise kazıkların desteklemiş oldukları yapıda kabul edilebilir sınırların ötesinde distorsiyon (biçim bozulması-yamulma) ve çatlaklar oluşmasına neden olan oturma değerlerine ulaşmasıdır. Bahsedilen bu oturma değerleri, kazıkları destekleyen zeminde nihai kayma göçmesi sonucu oluşandan çok daha az olabilir.

9



Şekil 6. Katı-Sert Kil zeminde 305 mm x 305 mm Boyutlarındaki Kazık Üzerinde Yapılan ML Düşey yükleme Deneyi Sonucu Elde Edilen Yük-Oturma ve Zaman-Oturma Eğrileri

Göçme Yükü Tayin Yöntemleri

Göçme yükünün tanımlanmasında kullanılan bilinen yaklaşımlardan bazıları Şekil 5 ve 6 kullanılarak aşağıda tanımlanmıştır.

- Şekil 5' te A noktası. Yükte artış yokken oturma artmaya devam ettiği yük değeri,
- Şekil 5 ve Şekil 6' da B noktaları. Kazık çapı ya da genişliğinin %10' u değerindeki toplam oturmaya neden olan yük değeri, Yükte artış yokken oturma artmaya devam ettiği yük değeri,
- Şekil 5 ve Şekil 6' da C noktaları. Yükteki artış ile orantısız oturma artışının görüldüğü yük değeri,
- Şekil 6' da D noktası. Yükteki artış ile orantısız net oturma artışının görüldüğü yük değeri,
- Şekil 6' da E noktası. Plastik yenilmeye neden olan yük değeri ya da 6 mm' lik net oturmaya neden olan yük değeri,
- Şekil 5' te F noktası. Toplam oturma eğrisinin başlangıç kısmı ve düz kısmı boyunca çizilen teğetlerin kesişim noktasına karşılık gelen yük değeri,

10

Pek çok araştırmacı göçme yükünün saptanması için uzun deneyimler sonucunda çeşitli "göçme yükü" tanımları ve/veya grafik yöntemleri önermişlerdir. Q_{max} yükünün saptanmasında bu önerilerden biri veya birkaçı kullanılmalıdır. Araştırmacılar, tanımladıkları göçme kriterlerinde kazanılabilir (elastik) veya kalıcı (plastik) oturmalar ile bunların toplamı olan toplam oturma miktarı, oturmanın yük ile artış hızı ve benzeri bulguları baz olarak alırlar.

Kriterin Tanımı	Kriter / Kullanan
Toplam oturma sınırlaması	En fazla 25 mm (Hollanda)
Plastik oturma sınırlaması	6.30 mm (AASHO)
Plastik oturma sınırlaması	8.40 mm (Magnet)
Plastik oturma sınırlaması	12.70 mm (Boston)
Sınırlama = Plastik oturma / Elastik oturma	Max. 1.50 (Christiani – Nielsen)
Sınırlama = Toplam oturma / Yük	6.35 mm/ton (California, Chicago)
Sınırlama = Toplam oturma / Yük	0.76 mm/ton (Ohio)
Sınırlama = Toplam oturma / Yük	1.27 mm/ton (Raymond)
Sınırlama = Toplam plastik oturma / Yük	1.50 mm/ton (Raymond)
Sınırlama = Kademe (plastik oturma / Yük)	4.50 mm/ton (Raymond)

11

Terzaghi Yöntemi

Bu yöntem; pek çok kuruluş tarafından benimsenmiştir ve geniş uygulama alanı vardır. Terzaghi güvenli yükün tanımını aşağıdaki şekilde yapmaktadır:

- ✓ Kazık, güvenli yükün iki katı yükü göçme olmaksızın taşıyabilmelidir.
- ✓ Bu yükün %50 fazlası altındaki kalıcı oturma ton başına 0.25 mm. den büyük olmamalıdır.

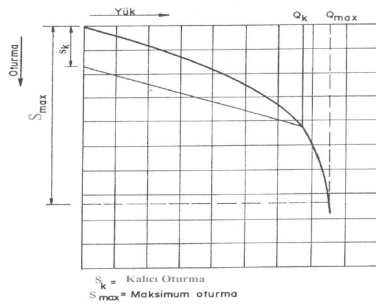
Bu durumda servis yükünün bulunabilmesi için önce göçme yüküne en az 2.0 olan bir güvenlik sayısı uygulanır. Bunu takiben; ikinci şartın sağlanabilmesi için yükleme eğrisi üzerinde servis yükü x 1.5 değerinden boşaltma eğrisine bir paralel çizilirse sıfır yük seviyesinde bulunacak olan kalıcı oturma görülerek seçilen servis yükünün yeterliliği irdelenebilir.

12

Boston Şartnameleri

Bu şartname kademeli yükleme deneylerinin yapılmasını öngörür. Bu deney sonuçlarından 24 saatte 5 mm.'den küçük oturma yaptıran yük bulunur. Bu yükün yarısı kazığın servis yükü olarak kabul edilir.

Diğer bir Boston şartnamesine göre ise yük-oturma eğrisinin “kalıcı oturma” dışlanarak bulunan eğiminin 0.025 mm/kN olduğu noktanın gösterdiği yük göçme yükü olarak kabul edilir. Bu ikinci şartname, aşağıda gösterilen çizim kullanılarak uygulanabilir.



Bu eğrinin gösterdiği deneyde kazık, Q_k yüküne kadar yüklenmiş sonra yük tamamen boşaltılmıştır. Bu durumda bir “kalıcı veya plastik oturma, S_k ” görülmüştür. Kazık, şekilde gösterilmemekle beraber Q_k yüküne kadar tekrar yüklenmiş ve bu yüklenme sonucunda Q_{max} ile gösterilen noktada göçmüştür. Bu Q_{max} yükü kazığın “göçme yükü” veya “nihai taşıma gücü” olmaktadır. Görüldüğü gibi bu yük altındaki oturma, küçük yük kademeleri altında gittikçe daha fazla artarak “akma” ya dönüşmüş bulunmaktadır. Böylece Q_{max} yükü seviyesindeki oturma da S_{max} olur ve nihai taşıma gücü Q_{max} bir güvenlik sayısına bölünerek “güvenli yük” veya “servis yükü” elde edilir.

13

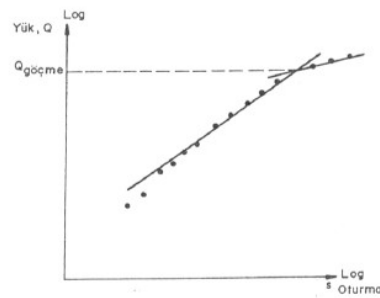
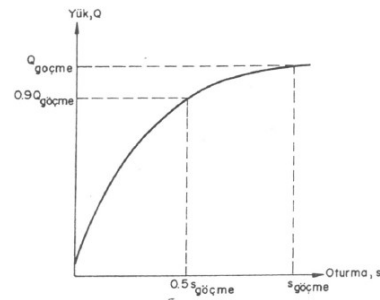
Brinch Hansen Yöntemi

Sabit Hızda Penetrasyon (CRP) yöntemi ile denenen kazıklar için kullanılan bu kriter ile göçme yükünün bulunması için;

- Şekilde gösterildiği gibi yük-oturma eğrisinin incelenmesi ile belirlenen göçme yükünün %90'ına karşılık gelen yük bulunur.
- Bu yükte gerçekleşen oturma miktarı gözlenir ve bu oturma miktarı iki ile çarpılır.
- Yukarıda b. adımında bulunan oturmaya neden olan yük göçme yükü olarak kabul edilir.

De Beer Yöntemi

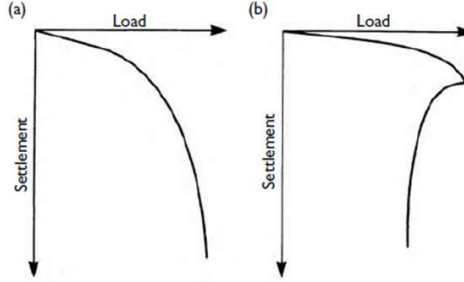
De Beer Yönteminde, kademeli yükleme (ML) deneyinden bulunan yük-oturma değerleri Şekil’de gösterildiği gibi log-log ölçekte grafiklenir ve iki doğru elde edilir. Bu doğruların kesişme noktası, göçme yükünü verir.



14

Kazık Yükleme Deney Eğrilerinin Yorumlanması

Yeterli tecrübesi olan bir mühendisin, kazık yükleme deneylerinden elde edilen yük-oturma eğrisinden kazığın göçme mekanizmasını tahmin edebilmesi ve eğer varsa çatlamış, kırılmış, özürlü yapılmış olan kazıkları ayırt etmesi olasıdır. Kazık yükleme deneylerine ait bazı tipik yük-oturma eğrileri ve yorumları aşağıda sunulmuştur.



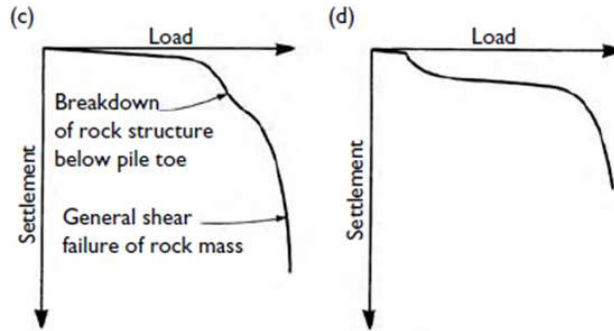
a) Yumuşak-Katı Kil ya da Gevşek Kum Zeminde Sürtünme Kazığı,

iyi yapılmış ve normal şartlar altında yüklenen bir sürtünme kazığından elde edilen yüklem eğrisi

b) Sert Kil Zeminde Sürtünme Kazığı,

sert-fisürlü bir kil bünyesindeki bir gevrek kırılmadan sonraki ferahlama, toparlanma ve göçme durumu görülmektedir.

15

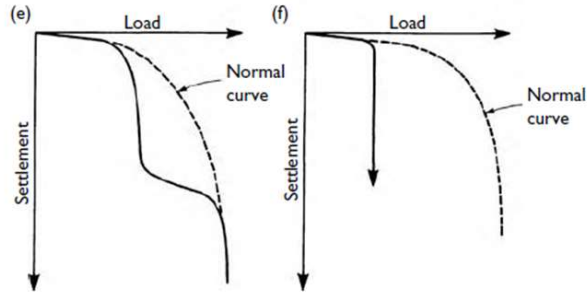


c) Zayıf Boşluklu Kayaca Oturan Uç Kazığı,

zayıf ve boşluklu kayalardaki uç kazıklarında karşılaşılabilecek iki hal beraberce gösterilmiştir. Birinci durumda kazık ucundaki gerilme yoğunluğu nedeniyle olabilecek bir kırılma sonucundaki ani oturma ve kazığın kırılmayan kayaca tekrar basması ile takibeden toparlanma sergilenmektedir. İkinci durumda ise aynen a şeklindeki benzer bir göçme söz konusudur.

d) Zemin kabarması nedeni ile yukarı kalkmış kazığın deney yükü ile tekrar kayaca oturması.

16



e) Gövdede Yükle Kapanan Boşluk

Özellikle fore kazıkların dökümü sırasında rastlanan, bir yapım hatası nedeniyle kazık bünyesinde boşluk kalması halinde yükleme sırasında bu boşluğun kapanması ve normal yük-oturma davranışına dönülmesi söz konusudur.

f) Deney Yüğü ile Kırılan Zayıf Kazık Beton

Kazık malzemesinin zayıflığı nedeni ile yük altında kazık kesidinde oluşan ani bir göçmeyi yansıtan bir eğri görülmektedir.

e. ve f. şekilleri, yapım hatalarına işaret etmektedirler.