

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİSMİK SÜREKLİLİK TESTİ YÖNTEMİ VE  
UYGULAMALAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeofizik Müh. Ömer Faruk SALMAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Günay BEYHAN**

**Haziran 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


## SİSMİK SÜREKLİLİK TESTİ YÖNTEMİ VE UYGULAMALAR


### YÜKSEK LİSANS TEZİ


Jeofizik Müh. Ömer Faruk SALMAN

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 10/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr. Selim FIRAT  
Jüri Başkanı

  
Yrd. Doç. Dr.  
Cemal ZEYHAN  
Üye

  
Yrd. Doç. Dr.  
Ayhan KESKİNSEZER  
Üye

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans tezim boyunca değerli yardımları ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Günay BEYHAN' a sonsuz teşekkür ederim.

Benden desteklerini esirgemeyen GEOCON Zemin Uzmanları ve Müh. LTD. ŞTİ. çalışma arkadaşlarıma, Yüksek Müh. Ozan DADAŞBİLGE' ye ve bu yazının sunulmasına imkan verdiği için GEOGRUP İnşaat. Şirketi'nden Yüksek Müh. Orhan Esat İNANIR' a sonsuz teşekkürler. Ayrıca yaşamım boyunca benden maddi manevi hiç bir desteği esirgemeyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımla teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca benden yardımlarını esirgemeyen ve bana her konuda yardımcı olan çok değerli arkadaşlarım Sercan SARIKAYA ve Çağatay KONUK' a teşekkürü bir borç bilirim.

Gerek hayatımda gerekse çalışmalarım da bana her konuda destek olan sevgili nişanlım Ebru Seda DOĞAN 'a çok teşekkür ederim.

Ömer Faruk SALMAN

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜRLER.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KAZIKLI TEMELLER VE JET-GROUT İLE ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	4
2.1. Kazıklı Temeller.....	4
2.1.1. Kazık çeşitleri.....	5
2.2. Jet-Grout Yöntemi.....	9
BÖLÜM 3.	
SİSMİK DALGA TEORİSİ.....	13
3.1. Sismik Dalga Çeşitleri.....	13
3.2. Sismik Süreklilik Testi Yönteminin Kazıklara Uygulanması.....	16
BÖLÜM 4.	
SİSMİK SÜREKLİLİK DENEYLERİ.....	19
4.1. Süreklilik Deneylerinin Avantaj Ve Dezavantajları.....	20

4.2. Kazıklara Uygulanan Süreklilik Deneylerinin Çeşitleri.....	21
4.2.1. Sonic loglama.....	21
4.2.2. Nükleer loglama.....	22
4.2.3. Vibrasyon deneyi.....	22
4.2.4. Sismik süreklilik deneyi.....	23
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>SİSMİK SÜREKLİLİK TESTİ YÖNTEMİ (KAZIK SÜREKLİLİK DENEYİ).....</b>	<b>25</b>
5.1. Süreklilik Deneyinin Teorisi.....	26
5.1.1. Elastik çubuklarda dalga yayılımı.....	27
5.1.2. Yansıyan dalgalar.....	28
5.1.3. Hızın hesaplanması.....	28
5.2. Kazık Süreksizlikleri.....	29
5.2.1. Süreklilik deneyinin teorisi ve kazıklara uygulaması.....	31
5.3. Süreklilik Deneyi İçin P.E.T (Pile Echo Tester) Uygulaması.....	34
<b>BÖLÜM .6</b>	
<b>SÜREKLİLİK DENEYİ TESTİ ANALİZLERİ.....</b>	<b>39</b>
<b>BÖLÜM .7</b>	
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>46</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>50</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>52</b>
<b>EKLER A.....</b>	<b>53</b>
<b>EKLER B.....</b>	<b>91</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>97</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Kazık kesiti
a	: İvme
ASTM	: American Society for Testing and Materials
c	: Dalga yayılım hızı
$c_{30}$	: 30 MPa sınıfı beton
$E$	: Young Modülü
$\varepsilon$	: Deformasyon
F	: Kazığa etkiyen kuvvet
$f_c$	: Diğer beton sınıfları
G	: Rijitide modülü
JG	: Jet-Grout
L	: Kazık boyu
m	: Kütle
P	: Sismik dalga (boyuna dalga)
PET	: Pile echo tester
S	: Sismik dalga (enine dalga)
SIT	: Sonic integrity test
SH	: Enine olan parçacık hareketi yatay düzlem üzerinde olan dalga
SV	: Enine olan parçacık hareketi düşey düzlem üzerinde olan dalga
u	: Kazığın yer değiştirmesi
$V_p$	: P dalga hızı
$V_s$	: S dalga hızı
$V_R$	: Rayleigh dalga hızı
$\nu$	: Poisson oranı
$V_c$	: Ses dalgasının beton içinde yayılma hızı
x	: Kazık üzerindeki bir nokta

$Z$	: Empedans
$\Delta t$	: Kazık başlığına vuruş ile topuk yansıması arasında geçen süre
$\sigma$	: Gerilme
$\rho$	: Yoğunluk

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Fore Kazık Yapım Aşamaları .....	7
Şekil 2.2.	Mini Kazık İmalatı Yapım Aşamaları .....	9
Şekil 2.3.	Jet-Grout Yöntemi İle Zemin Islahı .....	9
Şekil 2.4.	Jet-Grouting Karışımının Nozzledan 250m/s Hızla Çıkışı .....	10
Şekil 2.5.	Jet-Grout Deldi Aşamaları .....	11
Şekil 3.1.	P Dalgası .....	14
Şekil 3.2.	S Dalgası .....	14
Şekil 3.3.	Rayleigh Dalgası ve Love Dalgası .....	15
Şekil 3.4.	Bir Ucundan Darbe Vurulan Silindirik Çubuk .....	16
Şekil 3.5.	Kazık Zemin Modeli .....	18
Şekil 4.1.	Sonic Loglama Deneyi .....	22
Şekil 4.2.	Vibrasyon Deneyi .....	23
Şekil 4.3.	Sismik Süreklilik Deneyi .....	24
Şekil 5.1.	Kazık Süreklilik Deneyi Ekipmanları .....	25
Şekil 5.2.	Donanım Kutu Diyagramı .....	26
Şekil 5.3.	Genel Süreksizlik .....	29
Şekil 5.4.	Süreksizliği Olan Bir Kazıktaki Yansımalar .....	29
Şekil 5.5.	Süreksizliği Olan A Çubuğu .....	30
Şekil 5.6.	Daralmış Bit En Kesitteki Çubuğun Karakteristiği .....	31
Şekil 5.7.	Darbe Topları: Serbest Uçlu ve Sabit Uçlu .....	32
Şekil 5.8.	Yaylarla İrtibatlanmış Kütleler:Serbest Sonlu ve Sabit Sonlu .....	32
Şekil 5.9.	Kazık Zemin Etkileşiminden Dolayı Azalan Dalga .....	34
Şekil 5.10.	Arazide Süreklilik Deneyi Uygulanışı .....	35
Şekil 5.11.	Hız ve Zamana Bağlı Sinyal Grafiği .....	38
Şekil A1	A15 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	53
Şekil A2	A22 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	54



Şekil A3	A42 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	55
Şekil A4	A71 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	56
Şekil A5	A84 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	57
Şekil A6	A258 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	58
Şekil A7	A272 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	59
Şekil A8	A298 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	60
Şekil A9	A330 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	61
Şekil A10	A478 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	62
Şekil A11	B133 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	63
Şekil A12	B155 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	64
Şekil A13	B173 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	65
Şekil A14	B175 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	66
Şekil A15	B221 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	67
Şekil A16	B238 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	68
Şekil A17	B314 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	69
Şekil A18	B329 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	70
Şekil A19	B372 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	71
Şekil A20	B603 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	72
Şekil A21	C490 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	73
Şekil A22	C530 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	74
Şekil A23	C581 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	75
Şekil A24	C628 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	76
Şekil A25	C676 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	77
Şekil A26	C725 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	78
Şekil A27	D43 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	79
Şekil A28	D65 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	80
Şekil A29	D82 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	81
Şekil A30	D107 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	82
Şekil A31	D143 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	83
Şekil A32	D174 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	84
Şekil A33	D195 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	85
Şekil A34	D220 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	86
Şekil A35	D257 numaralı kazığin hız-zaman grafiği görünümü .....	87

Şekil A36	D334 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	88
Şekil A37	D397 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	89
Şekil A38	D405 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	90
Şekil B1	FK5 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	91
Şekil B2	FK13 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	92
Şekil B3	FK25 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	93
Şekil B4	FK36 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	94
Şekil B5	FK43 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	95
Şekil B6	FK59 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü .....	96

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Kazık Boyuna Göre Kazık Çapı.....	8
Tablo 2.2.	1 m Kolon İçin Gereken Enjeksiyon Miktarı.....	12
Tablo 5.1.	Tipik Yansımalar.....	36
Tablo 5.2.	P.E.T. ile Tespit Edilemeyen Durumlar.....	37

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Süreklilik deneyi, sismik dalga teorisi, kazık kontrolü.

Bu çalışmada Merter METRO MAM/M1 Alışveriş Merkezi Projesi kapsamında jet grout temel sistemi ve Zincirlikuyu Zorlu Center Projesi kapsamında iksa sistemi olarak inşa edilen kazıklara süreklilik deneyleri uygulanmış ve “Pile Echo Tester (P.E.T.)” programı ile kazık sürekliliği ve imalat kalitesi incelenmiştir. Her iki proje kapsamında toplam 44 kazıkta uygulanan kazık süreklilik deneylerinden elde edilen sinyaller PET programı ile analiz edilmiş ve “hız-zaman” grafikleri çizilmiştir. Analiz yapılarak kazığın kesiti hakkında büyük bir yaklaşıklık ile bahsedilen kusurları saptamak mümkün olmuştur. Süreklilik deneyi sayesinde kazıkların güvenilirliğinin teknik olarak irdelenmesi, gerekirse kusurlu kazıklarda düzeltme önerilebilmesi ve böylece kazık imalat kalitesinin daha iyi belirlenebilmesi sağlanmıştır.

# **SEISMIC INTEGRITY TEST METHOD AND APPLICATIONS**

## **SUMMARY**

Key words: Integrity Test, Seismic Wave Theory, Pile Check

In this study, applied pile integrity testing in the grip of Merter METRO MAM / M1 Shopping Centre jet grout base system and in the grip of Zincirlikuyu Zorlu Center Project build as shoring system and with “Pile Echo Tester (P.E.T.)” integrity and production quality of piles has been checked. In two projects 44 units of piles were used, signals get from pile integrity tests has been analyzed with PET program and “velocity – time” graphics has been drawn. With these analyses approximate deficiencies of pile cross –sections has been confirmed. Through integrity testing reliability of the piles in technical, suggestions for correction of faulty piles assured and thereby pile production quality has been defined better.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Mühendislik yapılarında kazıkların kullanılması oldukça eskiye dayanmaktadır. İlk kurulduğu devirlerde Venedik ve Amsterdam gibi şehirlerin kazıklar üzerinde kurulup inşa edildikleri bilinmektedir. Kazıklı temeller günümüzde de özellikle karaların yanı sıra deniz üzerindeki yapıların inşasında, derin temeller olarak yapıları desteklemek amacıyla yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Yapıları desteklemek için inşa edilen kazıkların kusurlarının bulunmasında süreklilik deneyleri, son yıllarda gelişmiş bazı ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Süreklilik deneylerinin amacı, inşa edilmiş temelin yapısal olarak sağlam olup olmadığını ve önemli kusurları içerip içermediğini doğrulamaktır. Derin temellere olan ihtiyaç arttıkça, süreklilik deneylerinin de önemi artmaktadır (Tomlinson, 1977).

Yapıları desteklemek için inşa edilen jet-grout kolonu ve fore kazıklar, yeraltında imalatı sürdürülen, ama göz ile görülemeyen beton yapılarıdır. Üzerine gelen proje yükleri ve özellikle deprem anındaki ihtiyaç duyulan yüksek dayanımlı halleri bu tip alt yapı imalatlarının kalitesi ile orantılıdır. Standartlara uygun yapılan jet-grout kolonu ve fore kazıklar, işveren ve uygulayıcının ortak teminatıdır. Süreklilik Deneyi sayesinde bu imalatların kontrolünü yapmak mümkündür. Böylece kazı yapmadan yeraltındaki imalatın konumunu, problemlerini tespit edebilir, süreklilik deneyi sonucuna göre arızalı kazıkta tamirat veya yenileme düşünülebilir.

Süreklilik deneyi, kazık başına özel bir çekiçle vurulmak suretiyle oluşturulan bir darbenin yine kazık başına yerleştirilen bir ivmeölçerle kaydedilmesi esasına dayanmaktadır. İvmeölçerle kaydedilen sinyal, belirli büyütme değerleri kullanılarak dijital hale çevrilir. Sahada portatif bir bilgisayar vasıtasıyla alınan kayıtlar bu iş için özel olarak geliştirilen yazılımlar kullanılarak analiz edilmekte ve sonuçlar grafik olarak deney süresince elde edilmektedir. Bu veriler yardımı ile süreklilik deneyinden, kazık kesiti boyunca meydana gelebilen daralma, genişleme, kırıklar ve

kazık boyu yaklaşık olarak belirlenebilir. Ancak, kazıkların test edilmesinin yanı sıra kazığın uzunluğu, genişliği ve enine kesitteki değişimlerinin de değerlendirilmesi gerekir. Bu itibarla, kayıt alırken meydana gelen yansımaları çözebilmek için tek boyutlu sismik dalga teorisi iyi bilinmelidir. Bu alandaki ilk çalışmalardan birini oluşturan Isaacs, 1931 yılında sismik dalga teorisinin kazık çakma analizine pratik olarak uygulanmasında tek boyutlu dalga analizini göstermiştir. Sonrasında Fox (1932) ile çakma sırasında kazıklarda meydana gelen gerilme konusunda önemli bir çalışma yayınlamıştır. Ocak 1940'da Baston İnşaat Mühendisleri Odası Cumming tarafından sismik dalga analizinin kazığa boyuna yapılan etkiyi çözmeye üstünlüğü gösteren bir çalışma yayınlamasını müteakiben 1943' de Terzaghi düşen bir çekiç tarafından darbeye uğrayan kazık içinde oluşan dalga yayılım olayı konusunda geniş araştırmalar başlatmıştır (Mohamad ve George, 1999). Hasarsız kazık süreklilik deneyleri 1970'lerde ilk olarak Avrupa'da daha sonra da Amerika'da gelişmiştir. Bu testlerin sonuçlarının yorumlanmasında sismik dalga teorisi kullanılmıştır. Dalga teorisinin kazıklara uygulanması ile ilgili ulusal ilk seminer 1980'de İsveç Stockholm'de yapılmıştır. Birçok bilim adamı bu konuda çalışmalarda bulunurken 1960'da Jean Paquet kazık başlığına ağır bir vibratör bağlayıp, çeşitli frekanslar vererek bunların yorumlanmasında, düşük deformasyonlu sismik dalga teorisi analizi kullanılmıştır. Bunun sonucunda da kazık kalitesi hakkında bilgi elde edilmiştir. Paquet aynı uygulamayı daha sonra vibratör yerine çekiç etkisi kullanarak gerçekleştirmiştir.

Sismik dalga teorisi tek boyutlu (1 D) ve üç boyutlu (3 D) olabilmektedir. Bunlar sonlu elemanlar metodu ile geliştirilmiştir. İlk olarak Steinbach ve Vey 1975 yılında yüzey dalgalarında üç boyutlu etkilerin varlığını ifade etmiştir. 1982'de Smith ve Chow kazık çakma analizi için üç boyutlu dalga denklem modelini geliştirmişlerdir. Fukahara 1992'de kazıklarda düşük deformasyonlu süreklilik testlerini çalışmak için üç boyutlu sonlu eleman metodunun kullanımı konusunda çalışmalar yapmıştır. Liao ve Roesset 1997'de kazık süreklilik testlerinde üç boyutlu etkilerin önemini vurgulamak için tek boyutlu ve üç boyutlu dalga denklem modellerini kullanmışlardır.

Kazıklara uygulanan düşük deformasyonlu süreklilik deneyleri ASTM D-5882 standardına uygun olarak yapılmaktadır. Sismik dalga teorisi genel olarak süreklilik deneylerini yorumlamada kullanılmaktadır. Kaynaktan üretilen sismik dalgalar, kazık başlığından başlayarak aşağıya doğru hareket ederek kazık sonundan itibaren yansiyarak tekrar kazık başlığına geri döner (Chow ve diğerleri, 2003). Bu ölçümlerin analizinde çok sayıda yazılım geliştirilmiştir. Kazık imalat kalitesinin profesyonel bir şekilde analiz edilebilmesi ve yorumlanması için en çok tercih edilen yazılım PILE TEST firması tarafından geliştirilen PET (Pile Echo Tester) programıdır. Bu program sayesinde araziden alınan veriler değerlendirilerek kazık uzunluğu, farklı akustik özellikleri olan malzemelerin kazığa karışması, eksene dik çatlaklar, beton derzleri, kademeli betonlar, en kesitte değişme, zemin tabakalarındaki belirgin değişimler gibi meydana gelebilecek kazık özellikleri tespit edilebilmektedir. Dinamik kazık testleri yakın geçmişte Dünya çapında, derin temel uygulamalarında, özellikle su altı inşaatlarında sıkça kullanılmaktadır. Tahminlere göre her sene dünya çapında 5000'i aşkın iş sitesinde dinamik kazık testleri uygulanmaktadır (Mohamad ve George, 1999).

Bu çalışmada, İstanbul Merter' de METRO MAM/M1 Merter Alışveriş Merkezi Projesi ve İstanbul Zincirlikuyu mevkiinde Zorlu Center Projesi kapsamında, jet-grout ve kazıklı temel sistemi ile inşa edilen yapıların temellerindeki kazıklar üzerinde yapılan kazık süreklilik deneyleri ve PET ( Pile Echo Tester ) programı ile yapılan analizler incelenmiştir.

Her iki proje kapsamında 38 jet-grot ve 6 fore kazık olmak üzere toplam 44 kazıkta analiz yapılmıştır. Jet-groutlar 70cm çapında A Bölgesinde L=13.00m B Bölgesinde L=11.00m C Bölgesinde ise L=7.00m D Bölgesinde L=13.00m boylarında, fore kazıklar ise 70cm çapında ve L=8.00–10.00–12.00m boyunda imal edilmiştir.



## **BÖLÜM 2. KAZIKLI TEMELLER VE JET-GROUT İLE ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ**

Yeraltı yapılarının yapımında karşılaşılan zemin ile ilgili problemler zemin iyileştirme çalışmalarını zorunlu olarak gündeme getirmiştir. Yeni bir yapının inşası ve/veya mevcut bir yapının güçlendirilmesi için en önce yapının üstünde yer aldığı zeminin kuvvetlendirilmesi ve ıslahını gerektirir. Proje öncesi yapılan zemin etütleri, yapının kendine ait ve diğer ekstra yüklerin taşınmasını mümkün göstermiyorsa, yapının taşınması ya kazıklı temelle ya da taşıma gücü artırılmış zeminle (bazı durumlarda her ikisi ile) mümkündür. Teknoloji ilerledikçe yeni yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan en güncel olanı da jet-grout yöntemidir. Jet-grout yöntemi ilk olarak 70'li yılların başında Japonya'da denenmiş, başarılı olmuştur, yine 70'li yılların sonunda İtalya'da ve diğer Avrupa ülkelerinde uygulanmaya başlanmıştır. Ülkemizdeki ilk uygulaması 1986 yılında Haliç Kollektörleri Projesi kapsamında Ayvansaray tünel aynasının zemin ıslahında yapılmıştır (Çınar ve Akkaya, 2009).

### **2.1. Kazıklı Temeller**

Kazıklı temeller derin temel çeşitlerinden biridir. Derin temeller, zeminin üst tabakası yapıdan gelen yükleri taşımaya uygun olmadığı zaman yükü daha derindeki tabakalara aktaran temel sistemlerdir (Bowles, 1988). Bunlar, temel derinliğinin temel genişliğine oranı genellikle 5'den büyük olan temellerdir. Yüzeysel temellere göre maliyeti fazla olmasına rağmen yapı güvenliği sağladığı için kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Kazıklı temeller üst yapı yüklerinin sağlam zemine aktarılmasında, dayanma yapılarında rüzgar ve deprem gibi yanal yüklerinin karşılanmasında, suyla teması halinde kabarma ve göçme gösteren zeminlerde yükü aktif zonun dışına aktarmada, su altındaki temellerde kaldırma kuvvetinin etkisine karşı, köprü ayaklarında erozyon dolayısıyla oyulmaya karşı, zemin hareketini kontrol amacıyla ve gevşek granüler zeminlerin sıkıştırılması amacıyla kullanılabilir (Yıldırım, 2004).

Kaya ve benzeri sağlam zemine oturan kazıklar “uç kazığı” olarak isimlendirilirken, taşıyıcı tabakanın derinde olması halinde kazık “sürtünme kazığı” olarak inşaa edilir ve üst yapı yükleri çevre sürtünmesi ile taşınır.

Kazıklar tek başlarına nadiren kullanılır, sadece çok özel durumlarda tekil kazık kullanılması söz konusudur. Genellikle en az birkaç kazıktan oluşan gruplar halinde inşaa edilirler. Böylece eksantrik yüklerin karşılanması daha kolay olmaktadır.

Kazıklı temel tasarımında zemin profilinin ayrıntılı bir geoteknik araştırma ile belirlenip mühendislik özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Ancak bu işlem yapıldıktan sonra kazıklı temel sistemi projelendirilir.

Kazık çeşidi seçimindeki etkenler (Yıldırım, 2004);

- Yerleşim ve yapı cinsi
- Zaman ve yeraltı suyu durumu
- Uzun süre dayanıklılık
- Maliyet

Kazık çakılmasında kullanılan ekipmanlar kazığı çakma durumuna getiren vinç ve kazığı çakan tokmaktan oluşur. Çeşitleri serbest düşmeli şahmerdan, tek tesirli veya çift tesirli buharlı şahmerdan, dizel şahmerdan, hidrolik şahmerdan ve kazık vibratörleridir (Toğrol, 1970).

### **2.1.1. Kazık çeşitleri**

Kazıkları, zemine nüfuz etme şekilleri ve zeminde yarattıkları deformasyonlara göre çeşitlere ayırmak mümkündür. Burada kazıklar çakma kazık, yerinde dökme kazık, delme kazık ve kompozit kazık olmak üzere dört grupta incelenmiştir (Tomlinson, 1977).

Çakma kazıklar; ahşap kazıklar, çelik kazıklar ve betonarme kazıklar olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Betonarme kazıklarda prekast betonarme kazık ve ön germeli betonarme kazık olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Yerinde dökme kazıklar; ucu kapalı bir kaplama borusunun zemine sokulması ile donatı kafesi indirilip betonlama suretiyle hazırlanan kazıklardır. Bunlar sondaj deliği içinde kaplama borulu veya kaplama borusuz imal edilen deformasyon kazıklarıdır. Ucu açık bir kaplama borusu zemine sokularak ve içi temizlenerek hazırlanan kazıklara ise sondaj kazığı veya fore kazık denilmektedir (Toğrol ve Tan, 2003).

Yerinde dökülen kazıkların yapımında genellikle kaplama borusu denilen çelik bir boru kullanılır. Kaplama borusu kalınlıkları değişik olmakla beraber boyları çoğunlukla 2 m olan parçalar halinde bulunur ve bu parçalar zemine sokulduka bir diğer parça bunun üzerine vidalama veya kaynaklama ile birleştirilir. Böylece kaplama borusu istenilen boyda yapılarak istenilen derinliğe kadar zemine sokulur. Bu işlemden sonra içteki zeminin dışarı atılması sonucu ortaya çıkan oyuk betonla doldurulup kazık yapımı tamamlanılır (Köseoğlu, 1971).

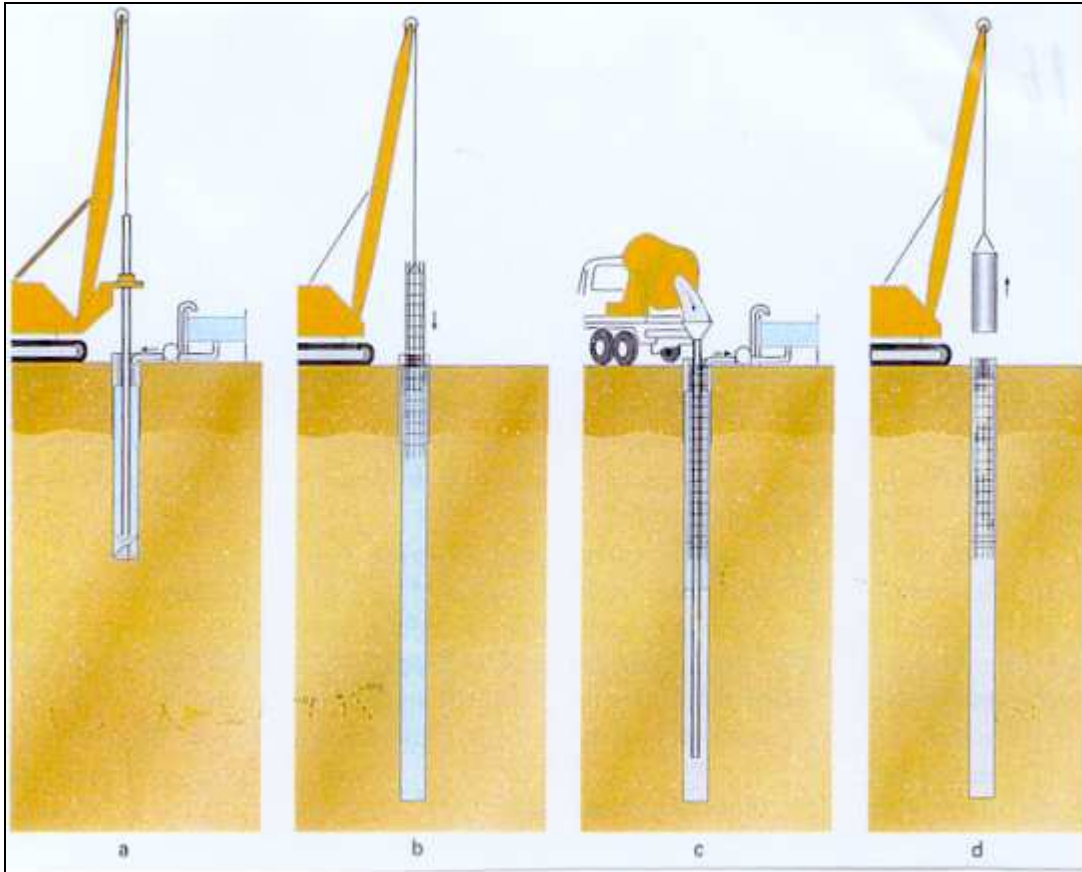
Kaplama borusuz kazıklar; zemin içine silindirik bir çukur açan çelik bir çarığın çakılması ile kendini tutabilen çukurun betonlanması ile imal edilen kazıklardır. İstenilen derinliğe kadar oyuk açıldıktan sonra beton dökümü 50 cm uzunluğunda tabakalar halinde yapılır. Bu beton tabakaları döküm sırasında özel uçlarla tokmaklanır. Bunlar kendini iyi tutabilen ve suyun nüfuz etmediği zeminler için uygundur (Köseoğlu, 1971).

Kaplama borusu yerinde bırakılan kazıklar; zemine çakma ve delme ile sokulan borular genellikle sökülmeden yerinde bırakılır. Bunların boyları genellikle 20 m ve 30 m arasında değişmektedir (Tomlinson, 1977). Yerinde bırakılan bu boru betona zarar veren su ve zemin etkilerine karşı iyi bir koruyucu görevi görür. Ayrıca kaplama borusu yerinde bırakılan kazıklarda önemli bir çevre sürtünmesi oluşmaz. Bu kazıkların çakımı sırasında çevrede gürültü, titreşim meydana gelebilir.

Kaplama borusu çıkarılan kazıklar; zeminde sıkıştırma ve sarsma ile sokulan kazıklarda genellikle kaplama boruları çıkarılır. Bu kazıklarda beton döküldükçe boru çekilir ve en sonunda tamamen çıkarılır. Bu kazıkların çevre yüzeyi düzgün bir şekle sahip olmayacağından çevre sürtünmesi oldukça fazladır.

Yerinde dökme kazıkların donatısı, önceden hazırlanmış donatı kafesinin, genellikle betonlama işlemine başlamasından önce, kazık çukuruna yerleştirilir. Betonlama, tremi borusu ile kazık çukurunun altından başlanarak veya beton pompası ile yapılır. Betonun kazık çukurunu tamamen doldurmasına ve araya yabancı madde karışmamasına dikkat edilmelidir. Aşağıda Şekil 2.1’de yerinde dökme kazık imalatı gösterilmektedir.

Yerinde dökme kazıkların birçok çeşidi vardır. Bunların arasından birisinin seçilmesinde kazık çakılacak arazinin geoteknik özellikleri ve o tip kazığın imal olanakları oynar (Toğrol ve Tan, 2003). Yerinde dökülen kazıkların çapı, kazık boyuna ve ihtiyacına göre belirlenir. Kazık çaplarının en küçük değerleri kazık boyuna bağlı olarak Tablo 2.1’de verilmiştir (Köseoğlu, 1971).



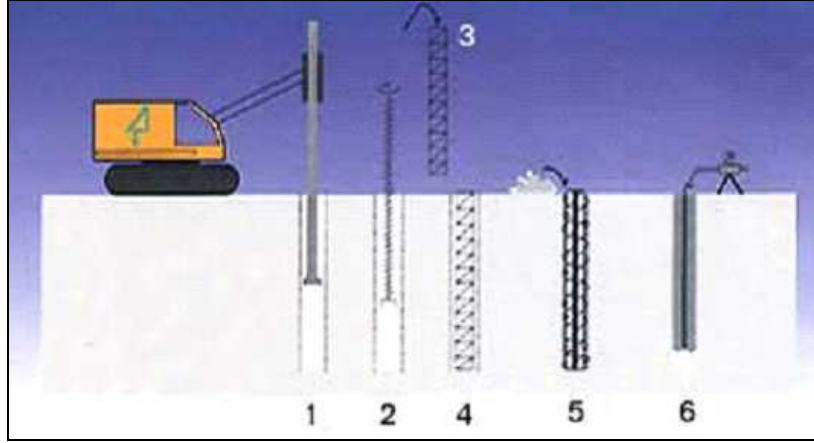
Şekil 2.1. Fore kazık imalatı yapım aşamaları; a: Delgini yapılması, b: Donatının yerleştirilmesi, c: Betonun dökülmesi, d: Kaplama borusunun çıkarılması (Özcan ve Özdemir, 2006)

Tablo 2.1. Kazık Boyuna Göre Kazık Çapı (Köseoğlu, 1971)

Kazık Boyu - L (m)	Kazık Çapı – d (cm)
< 10	30
< 15	35
< 20	40
< 30	50

Yerinde dökme kazıkların bütünlüğü beton kalitesinin yetersiz olması, beton içine yabancı madde karışması, kılıfının hızlı çekilmesi, kazık ucunun yerleştirileceği zeminin örselenmiş olması ve donatı kafesinin yerinde olmaması gibi nedenlerle bozulabilir. Bunun için kazık çeperlerinin stabilitesinin sağlanması, kazık çukurunun betonlanmadan önce iyice temizlenmesi ve kılıf yukarı çekilirken dikkat edilmesi gibi hususlar göz önüne alınmalıdır. Ayrıca kazık çukurunun güvenliğinin sağlanması, yıkılmaması için kayma mukavemeti yeterli süspansiyonlardan yararlanır. Bunlar arasında bentonit süspansiyonu, polimer süspansiyonları bulunmaktadır.

Delme kazıklarda da çok sayıda zemin delme tekniği kullanılarak zeminin kazılıp dışarı çıkarılması suretiyle zeminde boşluk açılır. Kaplamalı veya kaplamasız olabilen bu boşluk betonlanarak veya betonlandıkça kaplama yukarı çekilerek doldurulur. Bu şekilde oluşturulan kazıklara delme kazıklar denir. Delme tekniğiyle oluşturulan bu deliklere ahşap, beton veya çelik yerleştirilebilir. Bu kazıklar yerinde kazık ve boru şeklinde delme kazık olmak üzere iki çeşittir.

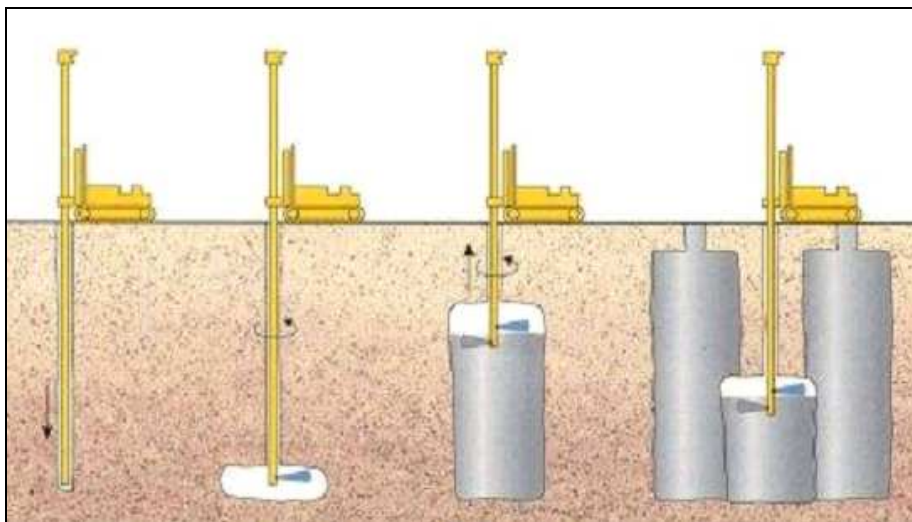


Şekil 2.2. Mini kazık imalatı yapım aşamaları; 1:Yer, su/hava sirkülasyonu ile delinir, 2:Burgu ile delinir, 3:Demir kafes hazırlanır, 4:Demir kafes ve enjeksiyon borusu yerleştirilir, 5:Delik içine mıcır doldurulur, 6:Deliğe çimento enjekte edilir ([http://www.altyapi.com/yapim\\_minikazik.html](http://www.altyapi.com/yapim_minikazik.html))

Kompozit kazıklarda ise, önceden hazırlanmış ve yerine yapılmış kesimlerin bir araya getirilmesi ile oluşmuştur (Köseoğlu, 1971). Kompozit kazıklar genellikle kazığın alt kısmı ahşap veya çelik, üst kısmı ise betonarme olarak yapılan kazıklardır (Toğrol ve Tan, 2003).

## 2.2. Jet-Grout Yöntemi

Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu gevşek zeminlerde kazık uygulamalarında (fore kazık-mini kazık) zorluklar yaşanmaktadır. Bu tür zeminlerde jet grout yöntemi ile zemin iyileştirme tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Jet-grout yöntemi ile zemin ıslahı (Pekarun ve Doğanışık, 2004)

Jet-grout yönteminde kolon 300–600 bar veya genellikle 400–450 bar basınçla püskürtülen su ve çimento karışımının zeminin boşluklarını doldurup ve sıkıştırılması suretiyle elde edilir. Yüksek basınç, sevk edilen enjeksiyonun (grout) nozzle'lerden geçerken yüksek bir kinetik enerji kazanmasını sağlar. Su-çimento karışımının hızı 250m/sn değerlerine ulaşır ve enjeksiyon zemini yırtarak zeminle birleşir (Şekil 2.4). Çimento ve zeminin karışımından nispeten yüksek mukavemetli bir kolonun meydana gelmesini, aynı zamanda zeminin sıkılaştırılarak konsalide olmasını da sağlamaktadır (Özcan ve Özdemir, 2006).

Jet grout' un özelliklerini belirleyen parametreler; zemin cinsi, jet enjeksiyon tiji içerisindeki akışkan basıncı, jet enjeksiyon tiji içerisindeki akışkan debisi (nozzle çapı), enjeksiyon şerbetinin bileşimi, jet enjeksiyon tijinin çekme hızıdır.

Delgi sırasında kuyu ağzının yeraltı su seviyesinin üzerinde olması çalışabilme açısından tercih edilir. Delme metodu zemin cinsine bağlı olarak seçilir. Delme işleminin kolaylaştırılması, uç takımın soğutulması ve zeminin enjeksiyona hazırlanması amacıyla delme sırasında değişik akışkanlar kullanılabilir. Bunlar su, hava, bentonit şerbeti veya grout olabilir.

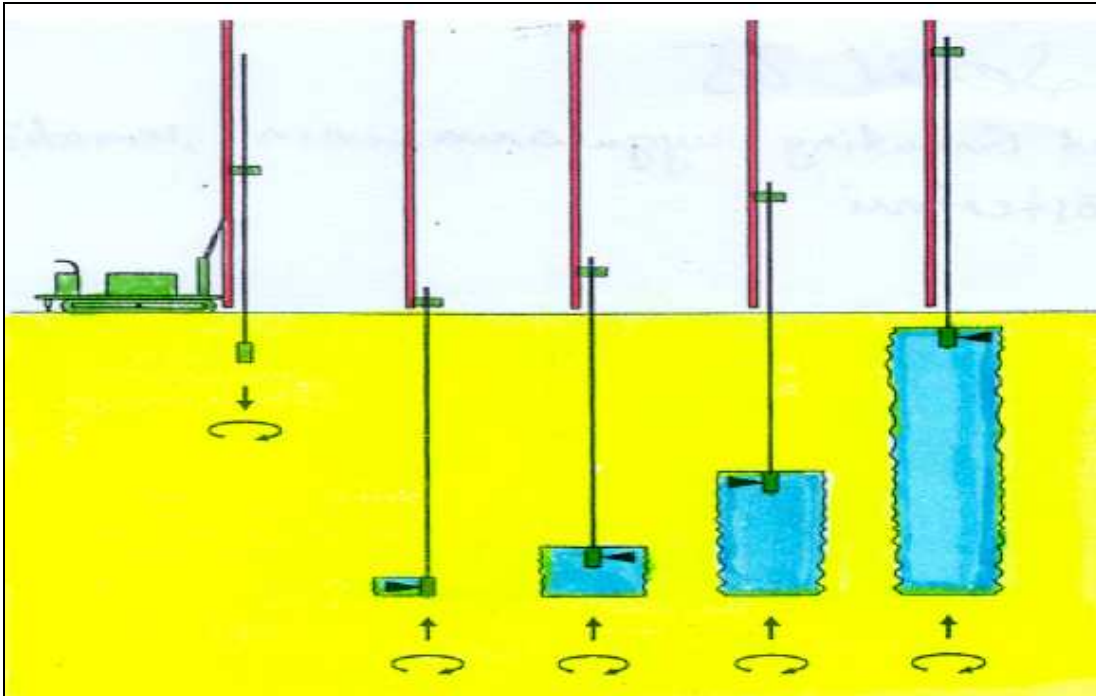


Şekil 2.4. Jet Grouting karışımının nozzleden 250m/s hızla çıkışı (Özcan ve Özdemir, 2006)

Uç takımı olarak yumuşak karakterli zeminlerde genellikle kil matkabı, sert karakterde ise tricone bitler ve bloklu zeminde DTH elemanlar tercih edilir. Bağlantı manşonlarında 600–700 bar basınca dayanıklı sızdırmazlık elemanları ve delgide 90 mm çapında tijler kullanılmalıdır.

Projede belirtilen derinliğe ulaşıldığında delme ve akışkan basma işlemi durdurulur. Çelik bir bilye grout borusuna yollanarak groutun yönü 'monitor' diye adlandırılan ve delgi ucunun hemen arkasında bulunan 2.0mm – 2.5mm çapındaki 2–4 adet nozzle 'ları taşıyan takıma çevrilerek su / çimento oranı genelde 1/1 (ancak proje koşullarına göre 0,7 ye kadar inebilir) olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Yüksek basınçlı grout pompalanmaya başlanması ile enjeksiyon fazına geçilir. Ortalama 250 m/sn hızlı grout, delici takımın rotasyon hareketi ile dairesel kesitli bir grout tabakası formunu alan delici takımın önceden belirlenmiş dönme hareketi, sabit bir hızla çekme hareketi ile birleşince düşey kolon şeklinde bir yapı meydana gelir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Jet-grout delgi aşamaları (Özcan ve Özdemir, 2006)



Zemine çimento enjeksiyonu, istenilen jet grout üst kotuna kadar yapılarak enjeksiyonun kinetik enerjisinden zarar görmemesi için, jet grout üst kotunun her zaman yüzeyden 30 cm aşağıda bırakılması uygun olur.

Basıncılı enjeksiyon sırasında delici takımın etrafından dışarıya belli miktarda zemin materyalinin taşması uygun görülmektedir. Bu durum, grout ile karıştırılan zemin içinde aşırı basınç oluşmadığına işaret edeceğinden, aşırı basınç oluşması halinde zeminde kırılmalar ve kolonlarda süreksizlik gibi problemler meydana gelebilir.

Oluşacak kesitlerin ebatları zemin özelliklerine bağlı olduğu gibi; dönüş hızı, çekme hızı, grout basıncı, grout debisi, nozzle çap ve adedine de bağlıdır. (1) metrelik kolon için gerekli enjeksiyon miktarı Tablo 2.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. (1) m Kolon İçin Gerekli Enjeksiyon Miktarı (<http://www.zeminarastirmamerkezi.com/jetgrouting.html>)

Kolon Çapı (cm)	1 m'lik Kolonun Hacmi (m <sup>3</sup> )	Çimento Miktarı (kg)	Enjeksiyon Miktarı (lt)
40	0,13	57	75
60	0,28	127	170
80	0,50	226	301
100	0,79	353	471

## **BÖLÜM 3. SİSMİK DALGA TEORİSİ**

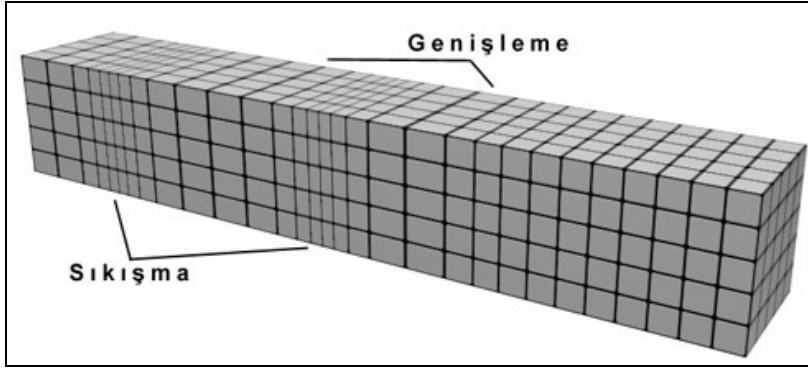
Dinamik kazık çakma analizi ile ilgili temel uygulamalar, Newton'un kazık ve bütün çakma sistemini tek bir rijit parça olarak düşündüğü teorinin benimsenmesi ile oluşmuştur. Bu teori, uygulamadaki kolaylığı nedeni ile pratikteki kullanımda popüler olmuş ve sonuçta dinamik formül adını almıştır. Daha sonraki zamanlarda kazık çakma dinamiğinin sismik dalga yayılım teorileri ve elastik çubuklarda tek boyutlu dalga mekaniği tarafından daha doğru bir şekilde ifade edildiği fark edilmiştir. Kazık çakma analizinde sismik dalga teorisinin kullanımının pratik çözümleri son 25 yıl içinde dijital bilgisayar ve elektronik ölçüm aletleri ile daha ekonomik ve pratik bir hale gelmiştir. Günümüzde ise, deformasyon ölçerlerle kazık içinde oluşan dalga gücü ölçümleri sıklıkla uygulanmaktadır (Mohamad ve George, 1999). Bu çalışmalarda, kazıklara uygulanan düşük deformasyonlu süreklilik deneyleri ASTM D-5882 standartına uygun olarak yapılmaktadır.

### **3.1. Sismik Dalga Çeşitleri**

Bir deprem meydana geldiğinde deprem kaynağından bütün yönlere doğru sismik dalga yayılımı şeklinde bir enerji açığa çıkar. Değişik tipte enerji dalgaları zemini de değişik yollardan etkiler ve zemin içinden değişik hızlarda yayılırlar.

Başlıca dört çeşit dalga vardır. Bunlar P, S, Rayleigh ve Love dalgalarıdır. P dalgası bunlar içinde gideceği noktaya en çabuk ulaşan, en hızlı dalgadır.

P dalgası ve ya diğer bir deyişle boyuna dalgalar, sıkışma veya ilk dalgalar olarak bilinirler. Dalganın yayımın doğrultusunda titreşim gösterirler. Dalga yayımında hacim değişikliğiyle birlikte şekil değişimi de oluşur. Bu şekil değişimi sırasında açılar değişmez.

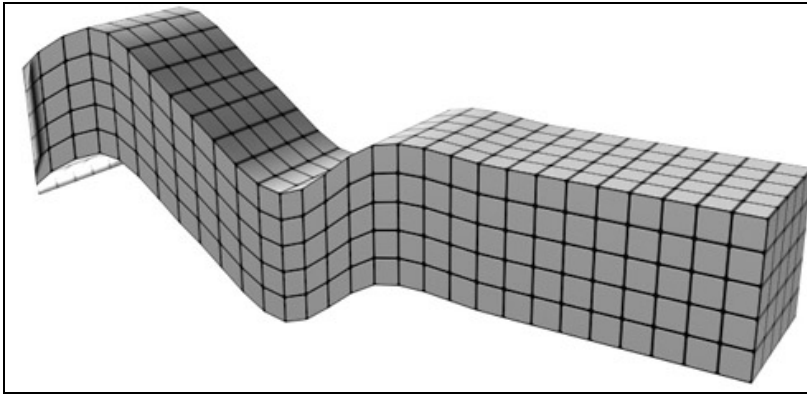


Şekil 3.1. P dalgası (<http://mimoza.marmara.edu.tr>)

Boyuna dalgalar her türlü ortamda yayınırlar. En hızlı yol alan dalgalar olduğundan deprem kayıtlarında en önce kaydedilir. P dalgaları  $V_p$  hızı ile yayılır. Bu  $V_p$  hızı;

$$V_p = [E(1 - \nu) / \rho(1 + \nu)(1 - 2\nu)]^{1/2} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; E: Elastisite Modülü,  $\nu$ : Poisson Oranı,  $\rho$ : Yoğunluktur.



Şekil 3.2. S dalgası (<http://mimoza.marmara.edu.tr>)

S dalgası veya bir diğer ismiyle enine dalgaların, yayınımları sırasında elamanlarda şekil bozulmaları, yani açılarda değişim gözlenir. Bunun nedeni dalga yayınımlarında, parçacıkların titreşim doğrultusunun, dalga yayınımlarına dik olmasıdır. S dalgalarının yayınımlarında, enine olan parçacık hareketi yatay düzlem üzerinde ise dalga SH adını alır. Eğer parçacık hareketleri düşey düzlem üzerinde kalıyorsa SV adını alır. S dalgasının hızı olan  $V_s$ ;

$$V_s = (G / \rho)^{1/2} = (E / 2\rho(1 + \nu))^{1/2} \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir.

P ve S dalga hızlarının oranı ise;

$$V_p/V_s = [2(1-\nu)/(1-\nu)]^{1/2} \quad (3.3)$$

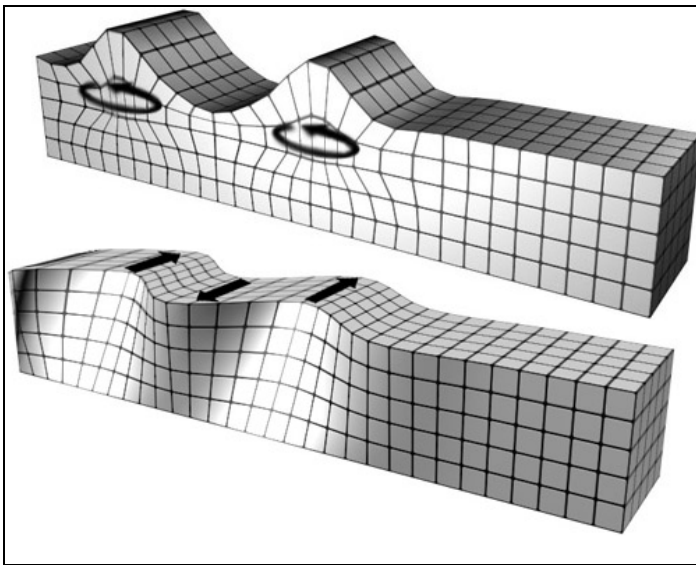
bağıntısı ile verilir. Poisson oranının ( $\nu$ ) genellikle 0.25 olan değeri yukarıdaki bağıntıda yerine konursa  $V_p/V_s = 3V_1$  olur. Bu da katılarda P dalgasının, S dalgasından 1,7 kat daha hızlı olduğunu gösterir. Sıvılarda rijidite modülü  $G = 0$  olduğundan bu tür ortamlarda S dalgası yayılımı gerçekleşmez.

Yüzey dalgaları, Rayleigh ve Love dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu tür dalgalar yan sonsuz ortamlarda meydana gelirler.

Rayleigh dalgaları, elastik katı bir cismin sadece serbest yüzeyinde yayınırlar. Partikül hareketi daima düşey düzlemde olmak üzere eliptiktir.

Love dalgaları, salınım düzlemleri yatay olduğu halde yayılım doğrultusuna dik salınan parçacık hareketinden meydana gelir. Daima dispersiyon gösterirler.

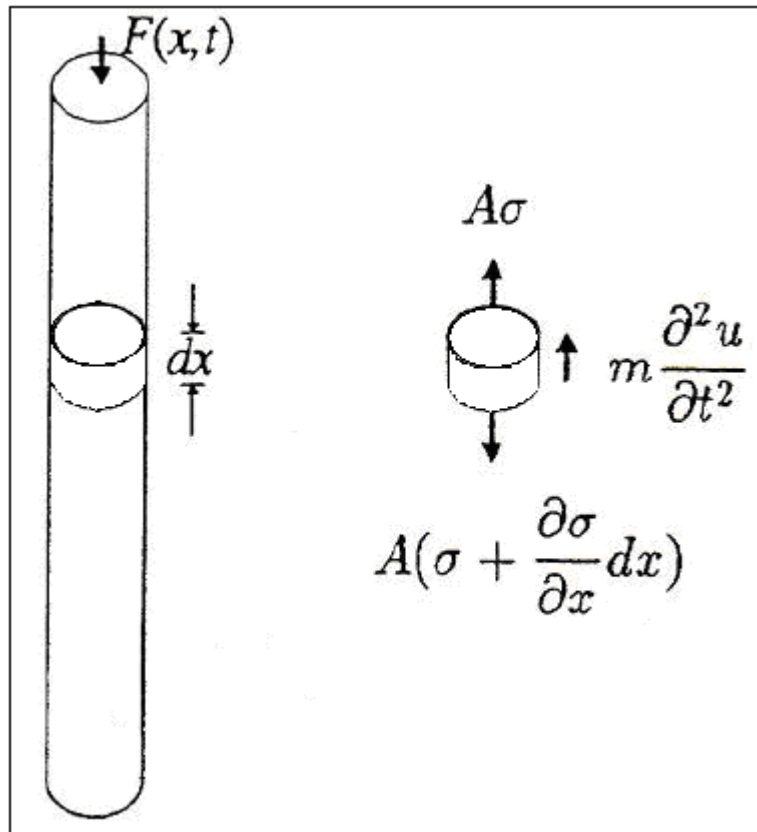
Love dalgalarının hızı, Rayleigh dalgalarının hızından büyüktür.  $V_R$ , Rayleigh dalgası hızı ve  $V_s$ , S dalgası hızı olmak üzere;  $V_R = 0.92 V_s$  şeklinde doğrusal bir ilişki vardır.



Şekil 3.3. Sırasıyla, Rayleigh dalgası ve Love dalgası (<http://mimoza.marmara.edu.tr>)

### 3.2. Sismik Süreklilik Testi Yönteminin Kazıklara Uygulanması

Bir temel kazığı çakma veya test sırasında bir çekiç tarafından vurma suretiyle yüklendiğinde kazıkta bir başlangıç dalgası oluşur. Kazıktaki süreksizlikler, kusurlar ve kazığı çevreleyen zemindeki etkileşimler başlangıç dalgalarına ters yönde yayılan yansıma dalgalarını oluşturur. Başlangıç dalgası, yansıma dalgası ve sonraki yansımalar kazık uzunluğu boyunca birbiri üzerine tesir ederler. Bu işlemler tek boyutlu dalga teorisine göre sayısal olarak değerlendirilir. Aşağıdaki şekilde içsel sönümleme veya zemin etkileşimine maruz kalmayan silindirik bir çubuk görülmektedir (TNO Building and Construction, 1997).



Şekil 3.4. Bir uçundan darbe vurulan silindirik çubuk (TNO Building and Construction Research, (1997))

$$c = \sqrt{(E / \rho)} \quad (3.4)$$

$c$  : Dalga yayılım hızı

$E$  : Elastisite Modülü

$\rho$  : Yoğunluk

$$F = -EA\varepsilon = EA(\partial u / \partial x) \quad (3.5)$$

$u$  : Kazığın yer değiştirmesi

$x$  : Kazık üzerindeki bir nokta

$A$  : Kazık kesiti

$F$  : Kazığa etkiyen kuvvet

$\varepsilon$  : Deformasyon

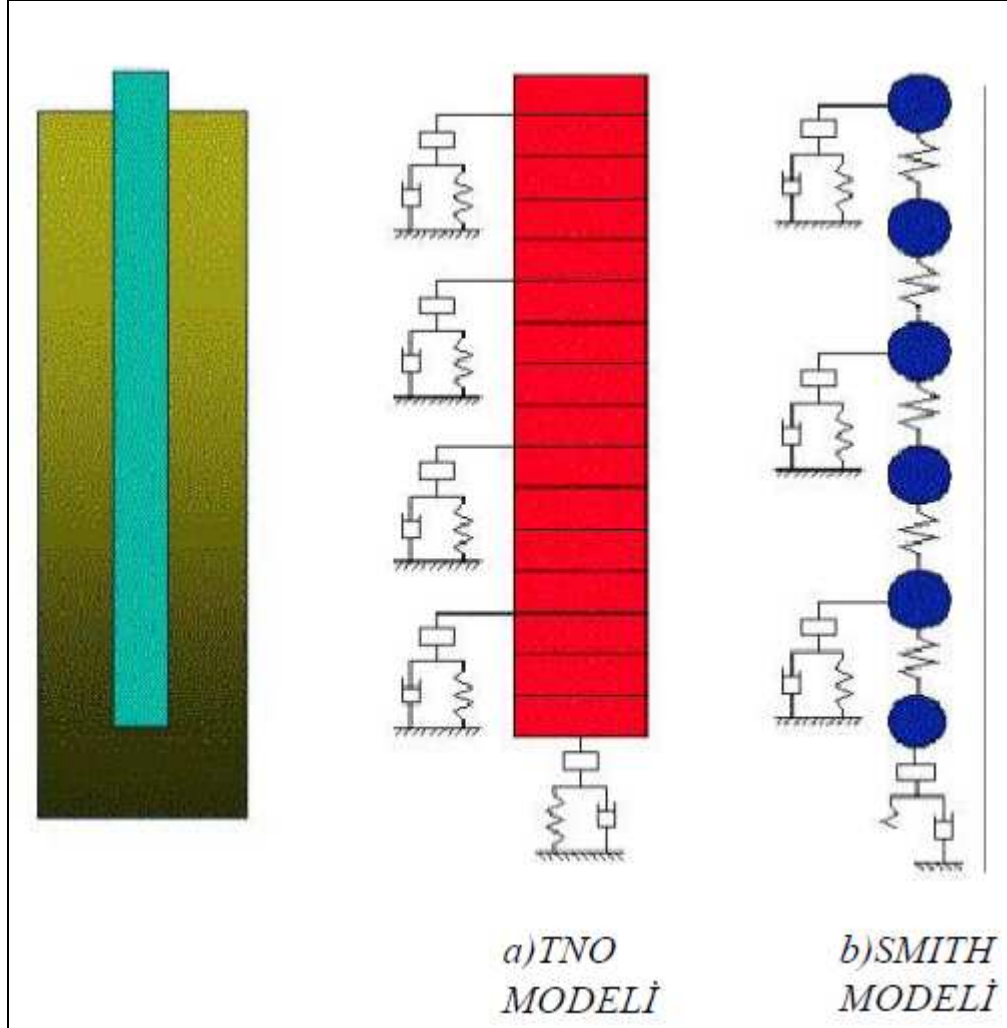
$$Z = -EA/c = A\sqrt{(E / \rho)} \quad (3.6)$$

$Z$  : Empedans

İçerdeki rutubet veya toprakla etkileşime bağlı kalınmadan silindir çubuğun durumu dalga teorisine bir giriş olarak düşünülebilir. Çubuğun kütle yoğunluğu  $\rho$ , kesit alanı  $A$  ve elastisite modülü  $E$  ile gösterilir. Zaman bağımlı bir kuvvet  $F(t)$  çubuk üstüne yüklenir. Böylece, çubuğun çok küçük parçasının hareketi olan  $dx$  ifadesinden Newton'un 2. kanununa ( $F = m.a$ ) ulaşılır.

Şekil 3.5'te kazık zemin modelleri görülmektedir. TNO modeli, tek boyutlu sürekli kazık ve süreksiz zemin modelinden oluşmaktadır. Bu modelde, kazık küçük alt elemanlara bölünmektedir. Kazık ile zemin arasındaki etkileşimler, çevre sürtünmesi ve uç sürtünmesi olarak ele alınmaktadır. Sürtünmeler yaylar ile bu sürtünmelerden kaynaklanan zeminin sönümlenme etkisi ise "dashpot" sistemleri ile gösterilmektedir. TNO modelinin dayandığı temel çözüm yöntemi, karakteristik metot olarak adlandırılmaktadır. SMITH modelinde ise kazık parçalara ayrılmaktadır. Bu parçalar arasındaki yaylar, kazığın malzeme özelliğinden kaynaklanan elastisitesini

göstermektedir. Her bir parçaya bitişik olarak gösterilen yay ve dashpotlar ise TNO modelinde olduğu gibi kazık-zemin etkileşimini ve sönümlenmeyi göstermektedir.



Şekil 3.5. Kazık zemin modeli (Deneç, 2006)

Deneylerin problemsiz yapılabilmesi ve iyi sonuçlar alınabilmesi için,

- Kolon başının rahat ulaşılabilir olması,
- Çatlaklardan arındırılmış (kırım, hava tutulmuş) olması,
- Varsa suyun uzaklaştırılmış (kuru ortam tesis edilmiş) olması,
- Kırımın proje mukavemetindeki beton seviyesine kadar yapılmış olması,
- Kazık başı yüzünün yeterli düzlükte tıraşlanmış olması,

olmazsa olmaz şartlardandır.

## **BÖLÜM 4. SİSMİK SÜREKLİLİK DENEYLERİ**

İmal edilmiş kazıkların uygunluğunun anlaşılabilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birini, büyük çaplı kazıklarda rotari sondaj makinesi ile ortasında delik açılıp, sürekli karot alınarak kazığın sürekliliği hakkında tahminler yapılması oluşturmaktadır. Açılan delikten kamera sokularak kazık incelenebileceği gibi, deliğe su doldurularak kaçak olup olmadığı kontrol edilebilir (Toğrol ve Tan, 2003). Ayrıca kazık sürekliliğinin tahmininde, dinamik yük deneyleri de kullanılan yöntemler arasındadır.

Kazık kusurlarının bulunmasında çok kullanılan bir diğer yöntem ise, süreklilik deneyleridir. Derin temellere olan ihtiyaç arttıkça süreklilik deneylerinin de önemi artmaktadır. Süreklilik deneylerinin amacı, inşaa edilmiş temelin yapısal olarak sağlam olduğunu ve önemli kusurlar içermediğini doğrulamaktır. Süreklilik deneylerinden elde edilen verilerle, kazık cidarı boyunca ortaya çıkan süreksizlikler tespit edilir ve kazık kalitesinin kontrolü sağlanır. Süreklilik deneyi, kazık başında özel bir çekiçle oluşturulan darbenin yine kazık başına yerleştirilen bir ivmeölçerle kaydedilmesi esasına dayanmaktadır. İvmeölçerle kaydedilen sinyal, belirli büyütme değerleri (amplification factor) kullanılarak dijital hale çevrilen kayıtlar, çeşitli yazılımlar kullanılarak analiz edilmektedir. Elde edilen sonuçlar ise, hız-zaman grafikleri şeklinde yoruma hazır getirilmektedir.

Süreklilik deneyinde her kazık için en az üç ayrı kayıt alınmakta ve ayrıca ölçüm yapılan tüm kazıkların ortalama sinyali de elde edilmektedir. Bu işlem tüm saha için geçerli olabileceği gibi, belirli bir bölgede yer alan kazıkların ortalaması şeklinde de olabilmektedir. Kazıkların değerlendirilmesinde bu saha ortalamasından meydana gelen sapmalar kazık kalitesi hakkında önemli ipuçları vermektedir.



Süreklilik deneyinden elde edilen sonuçların yorumundan; zemin yapısı, kazık tasarım özellikleri, kazık imalat yöntemi ve bu imalat yönteminin kazık formuna olası etkileri ortaya çıkarılabilmektedir.

Bu veriler yardımı ile süreklilik deneyinden, kazık kesiti boyunca meydana gelebilen daralma, genişleme, çatlaklar ve kazık boyu yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Ancak burada kazık kesitindeki genişleme, kazık performansını olumsuz yönde etkileyecek bir durum olmayıp, kazığın çevre sürtünmesi ile taşınan yükü arttıran bir özellik olduğu unutulmamalıdır.

Sahadan alınan kayıtlardan elde edilen grafiklerden, kazıklarda kusur olan noktalar ve bunların hangi derinlikte olduğu belirlenebilmektedir. Bu konudaki en çarpıcı örneklerden biri olarak kazıkların üstteki ilk 1–2 m' sinde kazık betonunun düşük mukavemet göstermesi veya kesitte daralma şeklinde görülen bozukluklar verilebilir. Bu duruma, özellikle delme kazık (fore kazık) yöntemi ile yapılan imalatlarda sıkça rastlanmaktadır

Burada belirtilen çeşitteki süreksizliklerde kazık, süreksizlik meydana gelen derinliğe kadar kesilmek suretiyle kısaltılır ve daha sonra kesilen kısım yerine kazık etrafında kalıp yapılarak istenen kota tekrar beton dökülmesi ile kazık teşkili yapılır. Eğer deneylerden olumlu sonuç alınmışsa kazık başı tamamlama betonları dökülür ve kazık boyları istenen seviyeye getirilmiş olur.

#### **4.1. Süreklilik Deneylerinin Avantaj Ve Dezavantajları**

Kazık imalat kalitesinin belirlenebilmesi için uygulanan kazık süreklilik deneylerinin avantajlarını aşağıda sıralanmak mümkündür;

- Basit,
- Ucuz,
- Hızlı,
- Kazık başlığında ufak bir hazırlık gerektirir,
- İnşaat öncesi kazık seçimi gerektirmez,

- Kazıktaki büyük kusurları saptamada çok etkilidir,
- Bir gün içinde yüzlerce kazıkta deney yapılabilir,
- Ekipmanı mobildir ve uygulaması kolaydır,
- Çok fazla iş gücü gerektirmez.

Süreklilik deneylerinin avantajları olduğu kadar çeşitli kısıtlamaları da vardır. Bu dezavantajlar ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Beton kalitesi hakkında sınırlı bilgi verir,
- Kazık taşıma gücü kapasitesi hakkında bilgi vermez,
- Doğru data elde etmek için kazık yüzeyi çok temiz olmalıdır,
- Kazıktaki ufak kusurlar kolaylıkla görülemez,
- Büyük çevre sürtünmesine maruz çok uzun kazıklarda, kazık boyu belirlenmesi zordur,
- Dalga hızı belirlemede yapılacak ufak bir hata, kazık boyu bulunmasında yanlış sonuçlar verebilir,
- Kazık ucundan yansıyan dalgalar kesit değişiminden, sürtünmeden ve adhezyondan (farklı malzemeler arasındaki çekim kuvveti) etkilenebilir,
- Bu metot büyük bir boşluk ile bir kılcal çatlak arasındaki farkı ayıramayabilir çünkü ikisi de dalgayı tamamen yansıtır.

## **4.2.Kazıklara Uygulanan Süreklilik Deneyi Çeşitleri**

Süreklilik deneyleri, tamamlanmış bir temelin kalitesini değerlendirmek için çeşitli tahribatsız yöntemleri kapsar.

### **4.2.1. Sonik loglama**

Kazık içine beton dökülmeden önce yerleştirilmiş olan kılavuz borulardan indirilen ekipmanda bulunan ve ses dalgaları üreten bir kaynaktan gönderilen sinyallerin, diğer borudan indirilen alıcı vasıtası ile kaydedilmesine dayanmaktadır. Gönderilen ses dalgalarının beton içinde yayılma hızının bilinmesi beton kalitesindeki değişimin anlaşılmasını sağlar. Bu sistemin avantajı, kazık derinliği boyunca kazık kesitinin

taranabilmesidir. Böylece beton kalitesi ve kazığın sürekliliği hakkında kesin bilgiye ulaşılmış olur (Düzceer, 2002).



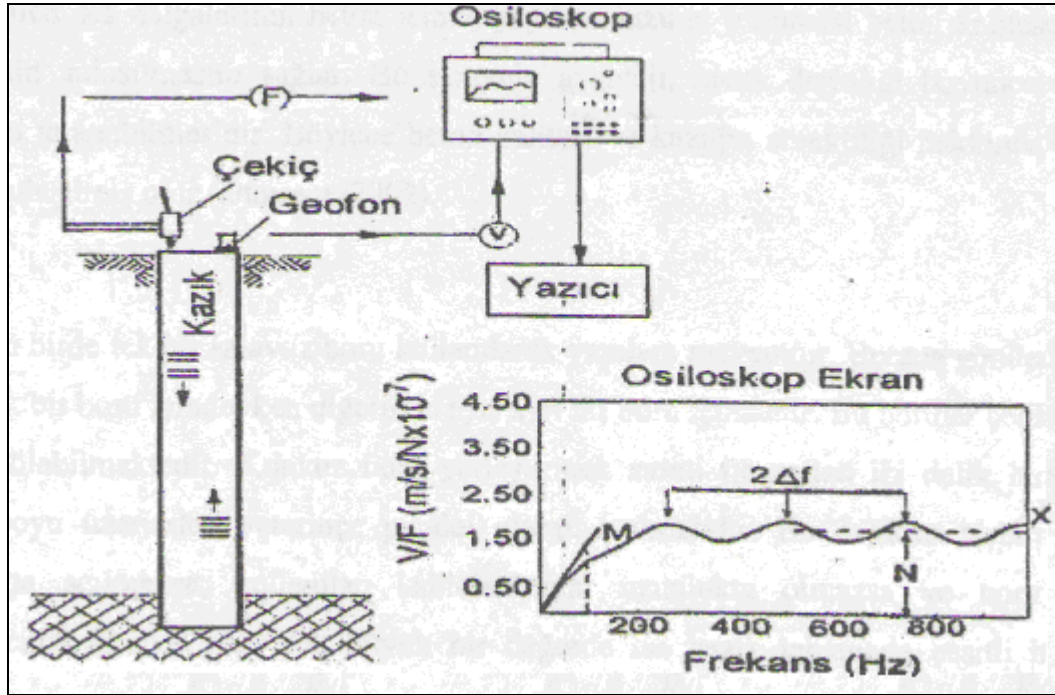
Şekil 4.1. Sonik Loglama Deneyi (www.piletest.com)

#### 4.2.2. Nükleer loglama

Bu yöntemde, basınç dalgaları yerine radyasyon kullanılır. Bu özelliği dışında nükleer loglama, sonik loglamadaki alıcıya benzemektedir.

#### 4.2.3. Vibrasyon deneyi

Kazığa uygulanan dinamik kuvvetin büyüklüğünü ölçmek için, içine yük hücresi yerleştirilmiş küçük bir çekiç ile kazık başlığına vurularak ortam titreştirilir. Dalganın geri dönüş hızının geofon aracılığı ile okunarak, kuvvet ve hız değerlendirilmesi ile bilgisayar ortamında frekans-hız/kuvvet grafikleri elde edilir. Bu grafiklerden yararlanarak kazık boyu, beton kalitesi ve kesit alanı hakkında bilgiye ulaşılmış olur. Ayrıca söz konusu bu grafikler yardımıyla kazıkların tepe noktaları kolaylıkla görülebilmektedir. Bu tepe noktalar, kazık efektif uzunluğunun anlaşılmasında ve kazıktaki belirgin hataların ortaya çıkmasında kullanılmaktadır (Fleming, 1992).



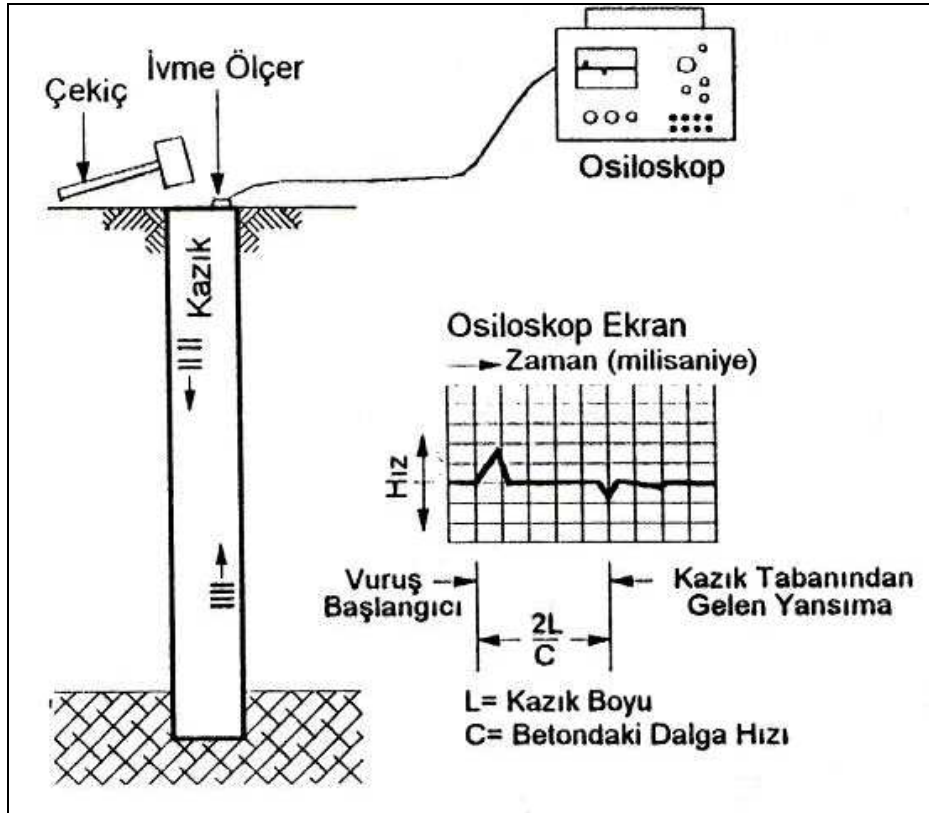
Şekil 4.2. Vibrasyon Deneyi (Düzceer, 2002)

Yerinde dökme kazıklar ve çakma kazıklar bu deney için uygun olmasına rağmen, birleşimli kazıklar birleşim yerlerinin son durumlarına bağlı olarak değişken sonuçlar göstermektedir.

#### 4.2.4. Sismik süreklilik deneyi

Oldukça güvenilir, hızlı ve ucuz bir yöntem olduğu için süreklilik deneylerinin en yaygın olanıdır. Bu yöntemin pratik oluşu sayesinde günde ortalama 100 adet kazık testten geçirilebilmektedir. Diğer önemli bir özelliği ise, uygulama sonunda kazıkta herhangi bir hasar meydana getirmemesidir. Bir başka ifadeyle bu deney tahribatsız düşük deformasyonlu kazık süreklilik deneyi sınıfına girmektedir.

Bu deneyde, kazık başlığına vurulan bir çekicinin yarattığı basınç dalgalarının beton içinde yayılarak, kazık ucundan veya kazık içindeki düşük kaliteli beton tabakasından yansıyor tekrar geri dönmesi arasında geçen sürenin ölçülmesi esasına dayanır (Şekil 4.3.), (Düzceer, 2002).



Şekil 4.3. Sismik Süreklilik Deneyi (Düzceer, 2002)

$$V_c = 2L / \Delta t \quad (4.1)$$

$V_c$  : Ses dalgasının beton içinde yayılma hızı

$L$  : Kazık boyu

$\Delta t$  : Kazık başlığına vuruş ile topuk yansıması arasında geçen süre

Beton kalitesine bağlı olarak kazık içersindeki dalga hızının 3500–4000 m/sn ve jet-grout içersindeki dalga hızının 2500–3500 m/sn civarında olduğu bilindiğinden kazık beton kalitesinde bozukluk olup olmadığını belirlemek mümkündür. Kazık kesitinde meydana gelen azalma ve artışlar, kazık geometrisi hakkında bilgi sağlar. Kazık beton kalitesinin kazık boyunca değişmediği kabul edildiğinde de kazık boyu belirlenmiş olur. Kazık beton kalitesinde bozukluk olduğu takdirde topuk yansıması daha önce meydana gelir. Yansıyan dalganın büyüklüğü ve yansıma zamanı, kazık başlığına monte edilmiş ivmeölçerler ile Rayleigh dalgaları kaydedilir. Daha sonra kazık boyunca yayıldıktan sonra tabandan yansıyan dalgaların ivme-zaman değerleri şeklinde kaydedilen değerleri hız-zaman grafiklerine dönüştürülür (Düzceer, 2002).

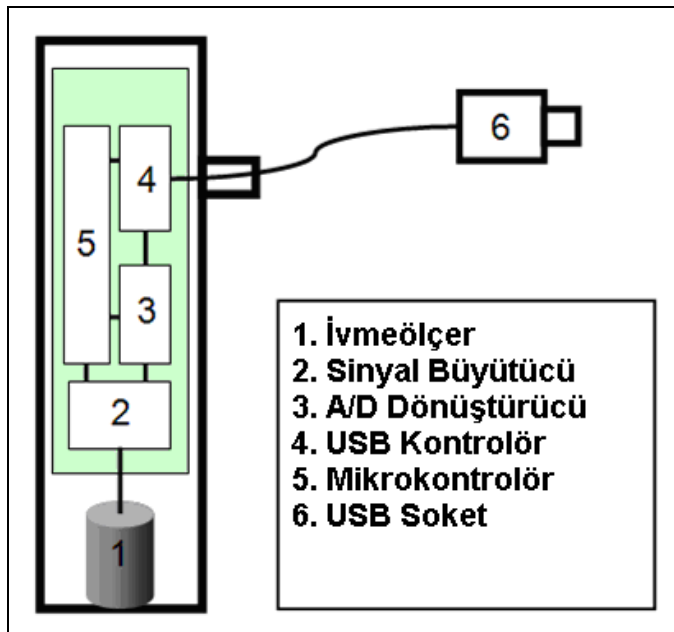
## BÖLÜM 5. SİSMİK SÜREKLİLİK TESTİ YÖNTEMİ (KAZIK SÜREKLİLİK DENEYİ)



Şekil 5.1. Kazık Süreklilik Deneyi Ekipmanlar (www.piletest.com)

Jet-grout kolonu ve fore kazıklar, yeraltında imalatı sürdürülen beton yapılarıdır. Üzerine gelen proje yükler ve özellikle deprem anında gereksinim duyulan yüksek dayanım, bu tip alt yapı imalatlarının kalitesi ile orantılıdır. Standartlara uygun yapılan jet-grout kolonu ve fore kazıklar, işveren ve uygulayıcının ortak teminatıdır. Kazık süreklilik deneyi sayesinde, zemini açmadan yeraltındaki imalatın konumu ve problemleri belirlenebilmektedir. Yapılan testler sonucunda kazıkta olumsuz bir durumla karşılaşıldığında onarım veya yenileme yoluna gidilmektedir. Süreklilik deneyi karotlu sondaj, kazı araştırması, yükleme deneyleri gibi zaman alıcı ve masraflı yöntemlerle karşılaştırıldığında, çabuk ve daha ucuzdur. Bu deney öncesi

uygulama yapılacak şantiyede kazık boyu, çapı, beton cinsi, zemin bilgileri, varsa çalışma sıkıntıları, imalat yapım yöntemi, muhafaza borusu, bentonit vb. gibi ön bilgilerin alınması zorunludur. Kazıkların birbirine ilintisiz yani tekil olması istenir. Deneyden elde edilen sonuçların yorumunda; zemin yapısı, kazık tasarım özellikleri ve kazık imalat yöntemi göz önüne alınmalıdır. Yerinde dökme kazık – jet-grouting kolonu için güvenilir deney gereksinimleri, yüksek kalitede zemin araştırması, iyi kazık ekipmanı-ekibi, deneyimli makine-ekip operatörü, yüksek kalitede beton, inşaat sırasında denetim, sahadaki kazıkların en az % 10'unun test edilmesi, yüksek güven için bütün kazıkların testi, ortalama saha sinyalinin belirlenmesi, zemin araştırma verileri ile referans sinyalinin kontrol edilmesi, referans sinyalinden sapan sinyallerin kontrol edilmesi gibi unsurlar, güvenilir yorum yapmak açısından oldukça önemlidir.



Şekil 5.2. Donanım kutu diyagramı (PET, user manual)

### 5.1. Süreklilik Deneyinin Teorisi

Uygulamada kazıkları test edilmesi ile sonuca gidildiği düşünülmemelidir. İkinci aşamada inşaat açısından kazığın kabulü ile ilgili sonuçlara varılması gerekir. Bunun içinde kazığın uzunluğu, genişliği ve enine kesitteki değişimlerini gözden geçirmek gerekir. Ancak, burada deney sırasında oluşturulan titreşimlerin yansımalarının

oluşumunu çözebilmek için, tek boyutlu sismik dalga teorisine ait temel prensipler iyi bilinmelidir.

### 5.1.1. Elastik çubuklarda dalga yayını

Kazık başında çekiçle vurularak oluşturulan P dalgaları aşağıya doğru seyahat ederken çok sayıda yansımalar meydana getirirler. Bu durumun analizi için, kazıklarda dalga yayını konusunda birtakım kabuller yapılmasını zorunlu kılar. Bu kabulleri aşağıda sıralayabiliriz:

- Kazık prizmatik (ya da silindirik), A en kesit, elastik Young Modülü E ve yoğunluğu  $\rho$  olan homojen bir kazık olarak kabul edilir.
- Dalga boyu, çubuğun yanal uzunluğundan daha büyük olmalıdır.
- Enine kesitler, birbirine paralel ve de uniform basınçlı kabul edilir.
- Düşey atalet etkileri göz ardı edilebilir.

Dalga yayını teorisinde öncelikle çubuk boyunca bir adet elementin göz önüne alınması gerekir. Element üstündeki gerilmeyi  $\sigma$  ile tanımlarsak altındaki gerilme  $\sigma + (\partial\sigma/\partial x)\Delta x$  şeklinde yazılır. Sistemi eşitlediğimizde dengene olmadığı için  $(\partial\sigma/\partial x)\Delta x$  gibi bir dengelenmemiş kuvvet görülür.  $\Delta x$  uzunluğundaki element Newton'un 2. kanununa göre ( $F = m.a'$ dan) :

$$A(\partial\sigma/\partial x)\Delta x = A\Delta x.\rho(\partial^2 u/\partial t^2) \quad (5.1)$$

Elastisiteden ötürü;

$$\sigma = E.\partial u/\partial x \quad (5.2)$$

A ve  $\Delta x$  'i eşitliğin her iki tarafından götürürsek 3. denklemi elde ederiz;

$$(\partial^2 u/\partial t^2) = E/\rho(\partial^2 u/\partial x^2) = c^2(\partial^2 u/\partial x^2) \quad (5.3)$$

Bu ifade prizmatik çubuktaki tek boyutlu dalga denklemdir.  $c = \sqrt{(E/\rho)}$  dalga yayılma hızı demek olup partikül hızından  $v = \partial u/\partial t$  farklıdır.



### 5.1.2. Yansıyan dalgalar

Dalgalar sonlu bir kazıkta ilerlerken kazığın sonundan geri yansıyacaktır. Dalganın yansıması ve özellikleri kazığın sonundaki sınır koşullarına bağlıdır. Kaya ve benzeri sağlam zemine oturan kazıklar “uç kazığı” olarak isimlendirilirken, taşıyıcı tabakanın derinde olması halinde yük aktarabileceği bir zemine oturtulamayan kazık “sürtünme kazığı” olarak inşa edilir ve üst yapı yükleri çevre sürtünmesi ile taşınır. Uç kazığında dalga değişmeden yansır, yani sıkışma dalgası sıkışma dalgası olarak ve çekme dalgası çekme dalgası olarak yansır. Sürtünme kazığında ise, yansıyan dalga işaret değiştirir. Sıkışmadan çekme dalgasına ya da çekmeden sıkışma dalgasına dönüşerek yansır.

$L$  uzunluğundaki bir prizmatik çubuğu ele alırsak ve tek bir uca kısa süreli dinamik bir yük etki ettiğinde meydana gelen dalga, çubuk boyunca yol alarak diğer uçtan yansır. Alınan bu yolun zamanı  $T = 2L/c$  'ye eşittir.

### 5.1.3. Hızın hesaplanması

Dalga hızı  $c = \sqrt{E/\rho}$  ile belirlenmektedir. Kütle yoğunluğu  $\rho$  betonlama sırasında belirlenir ve değişmez. Ancak Young Modülü  $E$ , beton sertleştikçe azalan bir hızda artar. Sonuç olarak dalga hızı  $c$ , betonun yaşı ile  $E$  Young Modülü artmaktadır.

Dalga hızı ve beton sınıfı arasındaki ilişki 30 MPa sınıfındaki ( $c_{30}$ ) beton için aşağıdaki bağıntıyla verilmektedir (Amir, 1988):

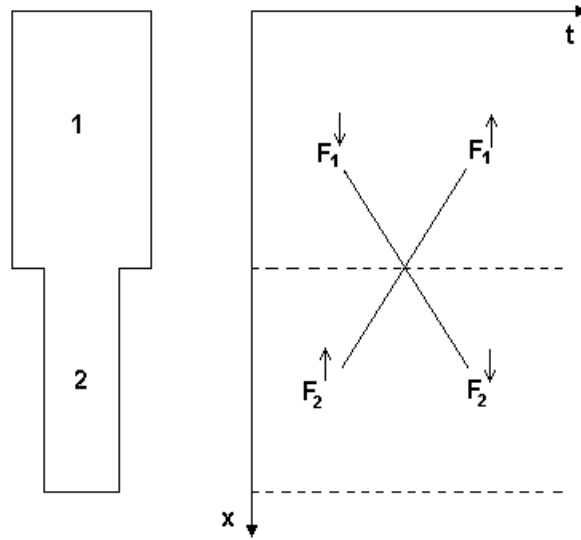
$$c_{30} = 3946 \cdot \log^{1/6}(t+1) \quad (5.4)$$

Burada  $t$  beton yaşıdır ve betonun kaç günlük olduğunu gösterir. Dalga hızı  $c$  için diğer beton sınıfları  $f_c$  tarafından verilir:

$$c = c_{30} (f_c / 30)^{1/6} \quad (5.5)$$

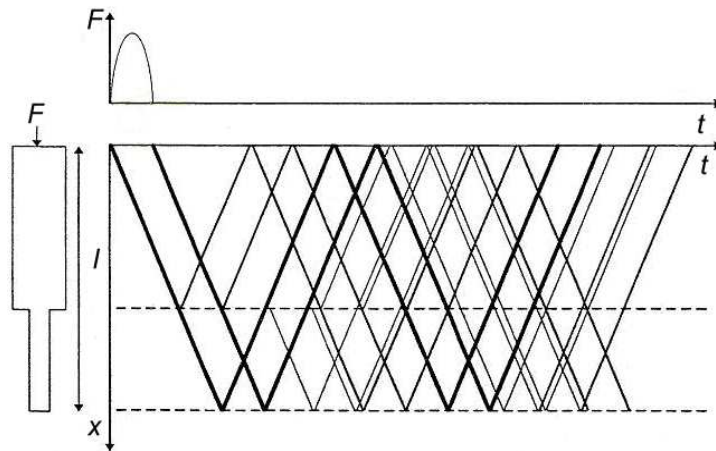
## 5.2. Kazık Süreksizlikleri

Kazık süreksizliğinde serbest uçlu ve sabit uçlu kazıklar dikkat edilmesi gereken özel konulardır. Bir süreksizlik anında kazığa etkiyen  $F$  kuvvetleri dengededir ve iki tarafta da hız eşittir. Şekil 5.3’de genel bir süreksizlik örneği görülmektedir.



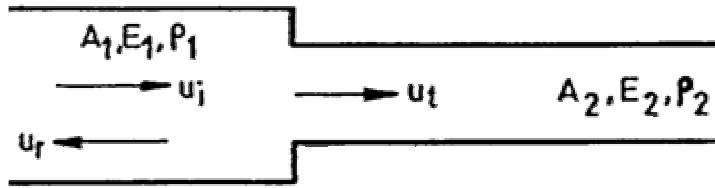
Şekil 5.3. Genel Süreksizlik (TNO Building and Construction Research, 1997)

Aşağıdaki şekilde süreksizliği olan bir kazıktaki yansımalar gösterilmiştir.  $F$ ; kazığa etkiyen kuvvet,  $x$ ; kazık boyunca herhangi bir nokta,  $t$  ise zamandır. Başlangıç dalgası ilk olarak aşağı doğru hareket etmekte ve kazık kesitinin değiştiği noktada çeşitli yansımalar yapmaktadır.



Şekil 5.4. Süreksizliği Olan Bir Kazıktaki Yansımalar (TNO Building and Construction Research, 1997)

Bir çubuğun enine kesitini incelediğimizde dalğanın ilerlemesine bağlı olarak A1 den A2 ye ani bir değişim meydana gelir. Burada E ve  $\rho$ ' nun değişmediği kabul edilmektedir. Çubukta yol alan bir dalga böyle bir süreksizlikle karşılaştığı zaman dalğanın bir kısmı geriye döner bir kısmı da süreksizliğin ötesine yol almaya devam eder. İlk dalga parametreleri "i" ile yansıyan dalga parametrelerini "r" ve iletilen dalga parametreleri "t" ile gösterilmektedir.

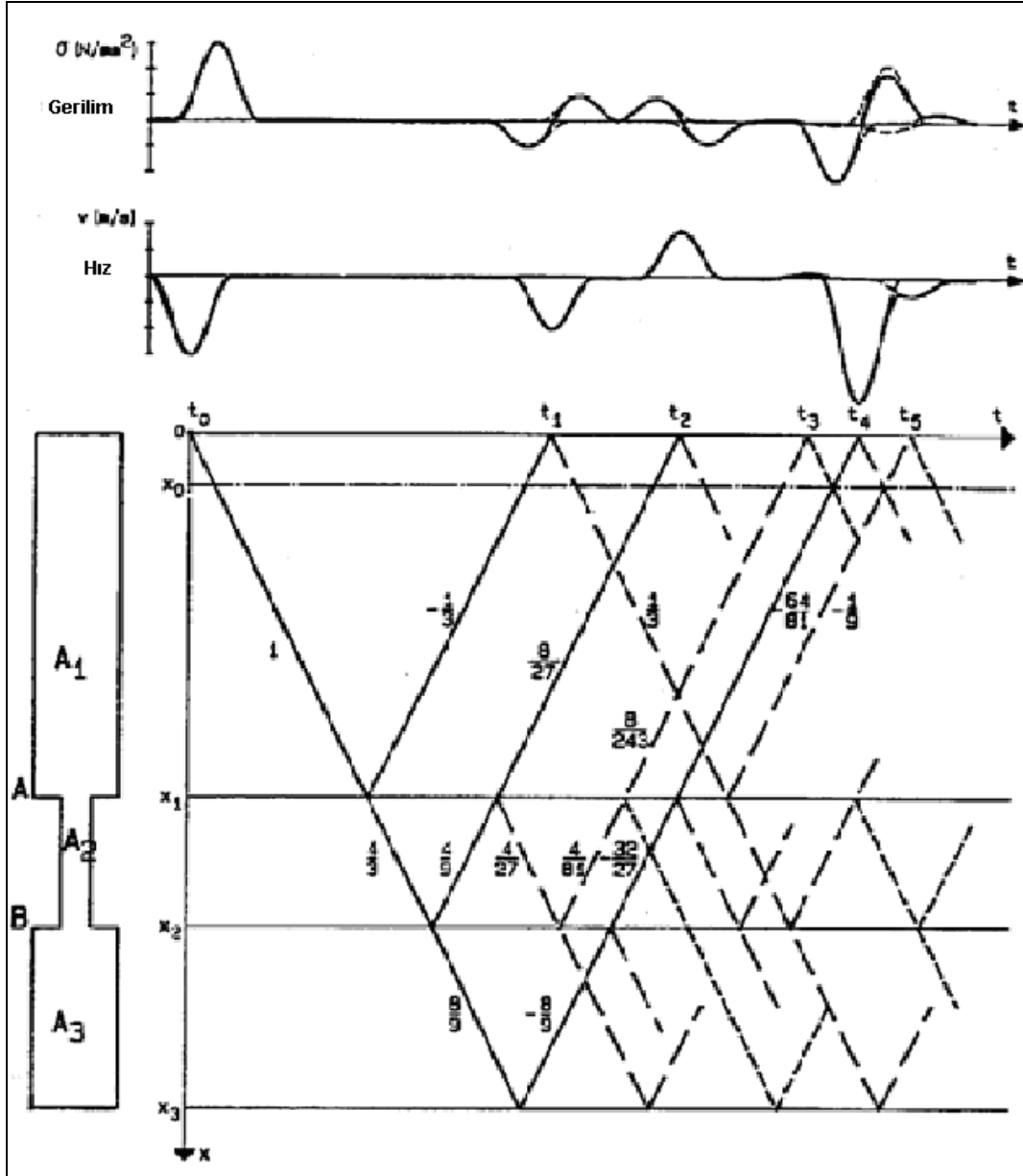


Şekil 5.5. Süreksizliği olan A çubuğu (PET, user manual)

Denge ve sürekliliği göz önüne alarak aşağıdaki ilişkiyi verir:

$$\sigma_1 = -\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \sigma_i \quad (5.6)$$

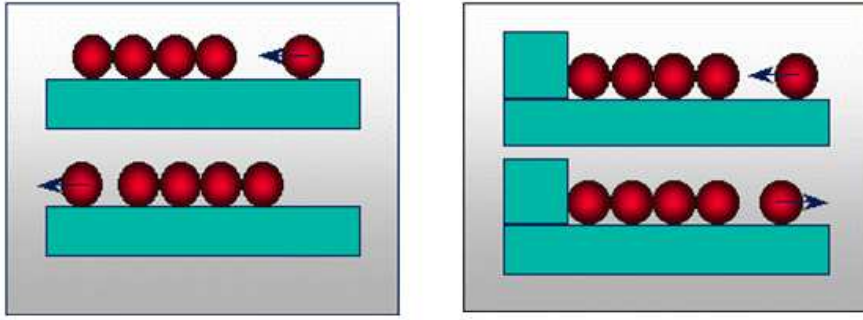
Bu iki denklemden rastgele şekilli bir çubukta hareket eden dalğanın davranışı modellenenabilir. Bunu göz önüne getirmenin bir yolu dalga yayılımını x-t düzleminde göstermektir. Bu düzlemde boyuna dalgaların çubukta ilerlemesi grafik olarak gösterilebilir. Böyle bir grafik reflectogram olarak adlandırılır. Şekil 5.6, azalmış bir enine kesitli çubuk için karakteristikleri göstermektedir. Çizgilerin yanındaki şekiller, karşılık gelen gerilmelerdir.



Şekil 5.6. Daralmış bir en kesitteki çubuğun karakteristiği (Vyncke and Nieuwenburg, 1987)

### 5.2.1. Süreklilik deneyi teorisinin kazıklara uygulması

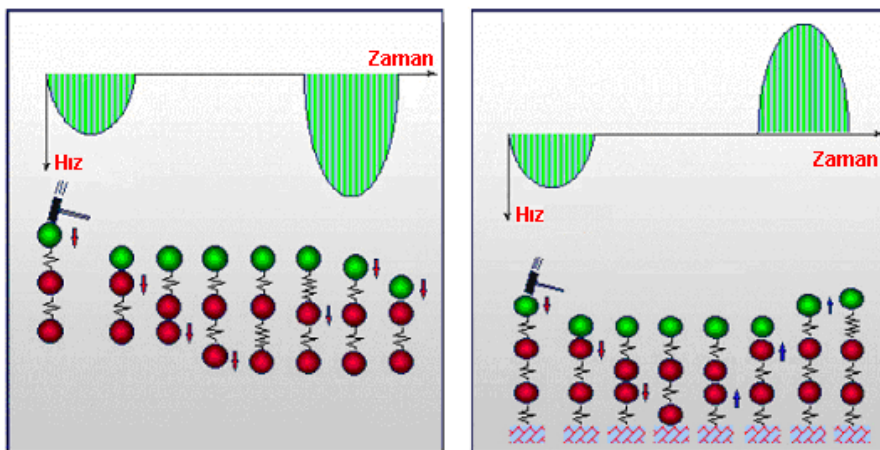
Bütünlük testinin uygulamasını tek bir topun bir dizi topa çarpması şeklinde düşünebiliriz. Burada iki durum söz konusu olabilir; son top serbestçe hareket edebilirse “serbest uçlu” ve son top hareketsiz ise sabit uçlu olarak sonuçlanabilir. Her iki durumda da, çarpan topun enerjisi ilk topa, sonra bir sonrakine aktarılır ve bu sırasıyla son topa kadar devam eder.



Şekil 5.7. Darbe Topları: Serbest Uçlu ve Sabit Uçlu (Özcan ve Özdemir, 2006)

Serbest uçlu durumda, son top enerjisini aktaramaz ve ileriye hareket eder. Çarpan top çarpışmadan sonra hareketsiz kalır. Sabit sonlu için ise, son top enerjisini aktaramaz ve enerji geri yansır. Enerji bir sonraki topa ve sonuçta tekrar geri hareket etmiş olan çarpan topa aktarılır. Böylece, serbest topu ele alırsak (bitim gözükmese bile), biri serbest bitim veya sabit bitimi belirleyebilir, (Serbest bitim: Çarpan top hareket etmez, Sabit Bitim: çarpan top geriye hareket eder).

Benzer durumu süreklilik deneyi içinde düşünebiliriz. Kazık için, serbest bitim veya sabit bitimin durumu kolayca yapılabilir. Çekiç darbesi üst top harekete geçirilir. Kazığın kütlesi ve elastik özelliği olduğundan, yayla bağlı top serileri modellenilebilir. Üstteki top altındaki yayı sıkıştırdığından enerjisini bir sonraki topa aktarır. Bu durum tüm kazık boyunca devam eder.



Şekil 5.8. Yaylarla İrtibatlanmış Kütleler: Serbest Sonlu ve Sabit Sonlu (Özcan ve Özdemir, 2006)

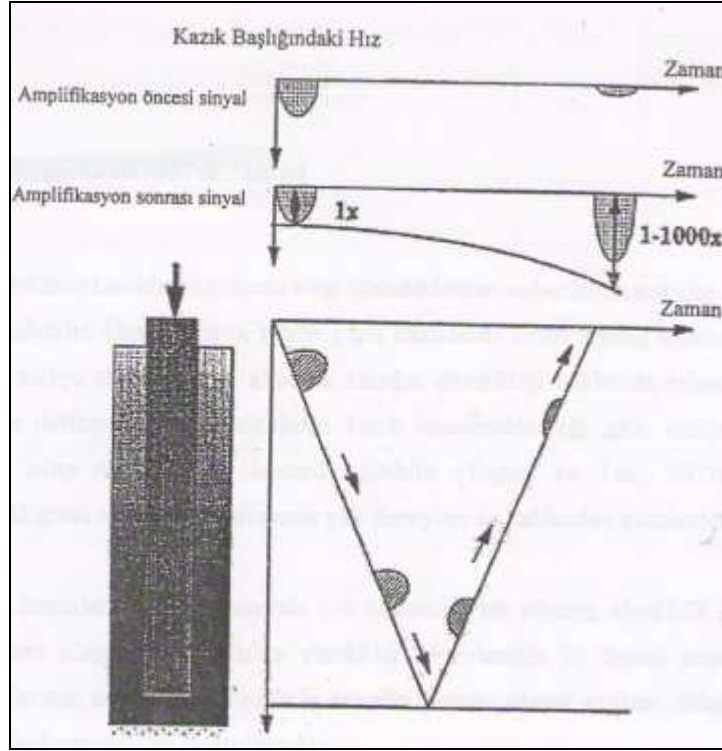
Serbest bitim durumunda, sınırlı olmayan sayıda son top üzerindeki yayı gerer ve sırasıyla üzerindeki topu aşağı çeker ve kazığın üzerine kadar devam eder. Üstteki top tekrar yukarı hareket eder. Böylece, üstteki topun hareketi darbe sırasında aşağı doğru, bir an için hareketsiz olur ve tekrar aşağı doğru hareket eder. Sabit sonlu durumda, sınırlanmış son top altındaki yayı sıkıştırır ve son topu yukarıya iter ve bu durum kazığın üstüne kadar devam eder. Üstteki top yukarı doğru hareket eder. Böylece, tepedeki topun hareketi darbe sırasında aşağı doğru, bir an için hareketsiz kalır ancak daha sonra tekrar yukarı doğru hareket eder.

Düzensizlik hareketine bağlı olarak yayılma hızının topu hareket ettirmesi, yayı sıkıştırması veya gemesi ve sonraki topu hareket ettirmesi, dalga hızı ile doğrudan ilgilidir. Eğer toplar ağır olursa gerilim dalga hızı daha düşük, daha gergin yaylar için ise yüksektir. Serbest sonlu durumda, yaylar aşağı yayınım sırasında sıkışır (sıkışmış dalga) ve yukarı yayınım sırasında ise gerilir (gerilmiş dalga). Sabit sonlu durumda ise, yaylar hem yukarı ve hem aşağı yayınım sırasında sıkışırlar.

Serbest uçlu bir kazıkta, kazığa etkiyen kuvvet sonucunda oluşan başlangıçtaki dalga ile bunun kazık ucundan yansıyan dalga aynıdır.

Kazık çukuruna bağlı olarak meydana gelen sürtünmeden dolayı kazıklarda hız azalmaktadır. Sert bir tabakadan yumuşak bir tabakaya geçişte, kesit azalmasında ortaya çıkan sinyallere benzer sinyaller oluşur. Benzer şekilde, yumuşak bir tabakadan sert bir tabakaya geçişte de kesit arttığında meydana gelen sinyallere benzer karakteristikte sinyaller oluşmaktadır.

Aşağıda Şekil 5.9'da kazık zemin etkileşiminden dolayı azalan dalga örneği görülmektedir (TNO Building and Construction Research, 1997). Burada zemin etkileşiminden dolayı azalan dalgaya amplifikasyon uygulanarak sinyal büyütülmüştür.



Şekil 5.9. Kazık Zemin Etkileşiminden Dolayı Azalan Dalga (TNO Building and Construction Research, 1997)

### 5.3. Süreklilik Deneyi İçin PET (Pile Echo Tester) Uygulaması

Araziden elde edilen veriler PET (pile echo tester) programı ile veri-işlem çalışmasına tabi tutulur. Bu çalışma sonucunda arazideki kazık şekillerinin tahmini yapılmakta ve kazıktaki kusurlar tespit edilebilmektedir.

Bütünlük deneyinde ivmeölçer kazığın üstüne bastırılırken, kazığa küçük bir el çekiciyle vurulur (Şekil 5.10). İvme sinyali hız sinyaliyle bütünleşir. Süreklilik deneyi tahmini kazık uzunluğu ve gerilim dalga hızı için girdi olarak programa aktarılır. Elde edilen yol-zaman grafiklerinden, çekicinin geliş darbesi ve açığa çıkan yansımaları görülebilmektedir.



Şekil 5.10. Arazide süreklilik deneyi uygulaması















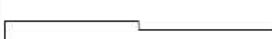



PET yöntemi sismik dalgaların yayılma prensibine dayandığından, sismik dalga yayılımını etkileyebilen birtakım faktörlerde kazık özellikleri adı altında tespit edilebilir. Söz konusu bu özellikleri sıralayacak olursak;

- kazık uzunluğu,
- farklı akustik özelliğe sahip malzemelerin kazığa karışması,
- kazık eksenine dik çatlaklar,
- beton derzleri ve kademeli betonlar,
- enine kesitte meydana gelen değişimler ve
- zemin tabakalarında meydana gelen belirgin değişimler belirlenebilmektedir.

Tablo 5.1' de farklı tanımlardaki kazıkların yansıma örnekleri verilmektedir.



Tablo 5.1. Tipik yansımalar (PET, user manual)



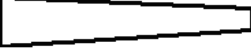



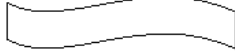

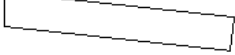
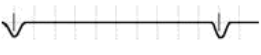
KAZIK PROFİLİ	TANIMLAMA	YANSIMALAR
	Düz kazık, serbest uç, uzunluk beklenildiği gibi	
	Düz kazık, soketli uç, uzunluk beklenildiği gibi	
	Düz kazık, soketli uç, beklenenden daha kısa	
	Artan empedans	
	Azalan empedans	
	Lokal olarak artmış empedans	
	Lokal olarak azalmış empedans	
	Uzunluk ortası süreksizliklerden oluşan çoklu yansımalarda topuk yansıması anlaşılıyor	
	Şekilsiz profil-Şekilsiz yansıma grafiği	

PET yönteminin birtakım handikapları vardır. PET yöntemi ile kazıkların aşağıdaki özellikleri tespit edilemez:

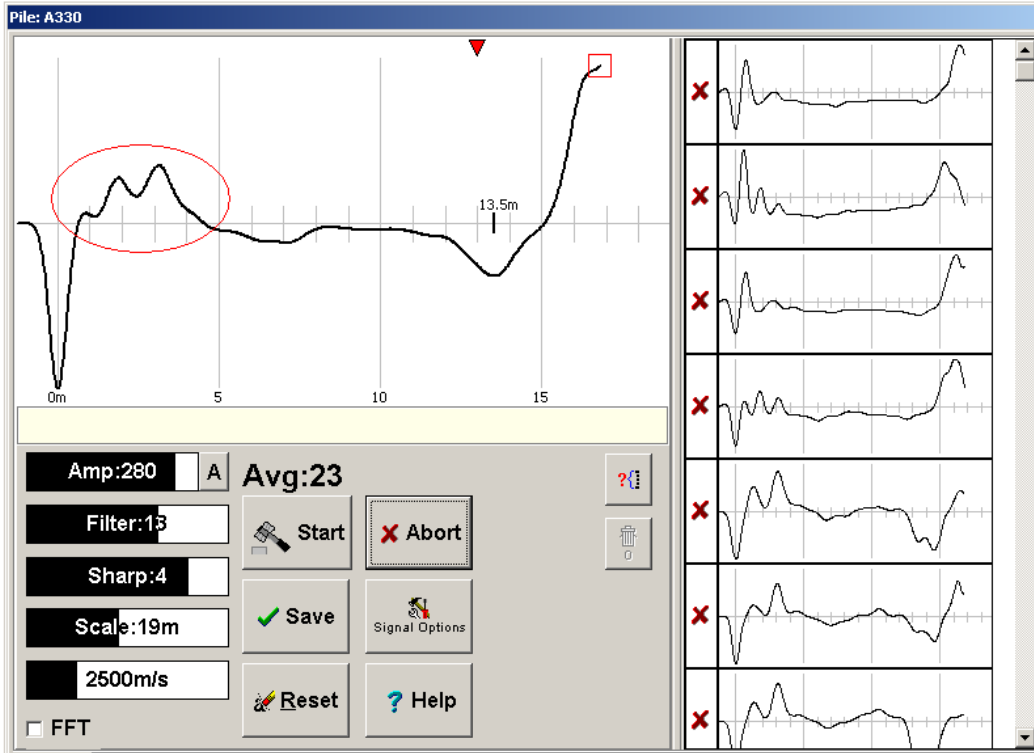
- Uzunluk / çap oranının sert zeminlerde ~20'yi, çok yumuşak zeminlerde ise ~ 60'ı geçiyorsa topuk yansıması alınamamaktadır.
- Enine kesitte aşamalı olarak artı ve azalım oluyorsa, kazık içinde istenmeyen küçük maddeler var ise (sigara paketi, v.s. ) ve yine enine kesitte  $\pm 25\%$ 'den daha az değişimler meydana geliyorsa kayıtların güvenli değildir.
- Küçük ölçekte empedans değişimleri oluşuyorsa, uzunluk  $\pm 10\%$ 'dan daha az değişiyorsa, topukta kalıntı var ise ve kazık ekseninde sapmalar görülüyorsa ve kazıklar için taşıma gücü isteniyorsa tespit edilemez.

Tablo 5.2' de bu olumsuz durumları yansıtan bazı belirtiler verilmiştir

Tablo 5.2. P.E.T. ile tespit edilemeyen durumlar (PET, user manual)

KAZIK PROFİLİ	TANIMLAMA	YANSIMALAR
	Uzunluk/Çap oranı yüksek çevre sürtünmesi -topuk yansımaları yok	
	Kesitte aşamalı artım-azalım	
	Ufak tefek karışımlar	
	Kazık eksenindeki sapmalar	
	Düşey eksenden sapmalar	

Aşağıda verilen Şekil.5.11' de tipik bir analiz sonucunda ortaya çıkan kazık şekli örneği görülmektedir. Düşey eksen kazık çapındaki değişimleri, yatay eksen ise kazık boyunu göstermektedir. Sağ sütunda kazıktan alınan veriler görülmekte, bunların ortalaması ise sol tarafta yer almaktadır. Sol alt tarafta bulunan göstergelerde “Amp (amplification)” sinyal büyütme, “Filter” sinyal düzleştirme, “Sharp” sinyali keskinleştirme, “scale” ölçek ve en alt sırada bulunan göstergede hız değerleri görülmektedir.



Şekil 5.11. Hız ve zamana bağlı sinyal grafiği (Piletest)

Bu sinyalde kazık boyu 13,5 m bulunmuştur. Kırmızı daire içerisinde gösterilen bölüm kazık çapındaki değişimleri göstermektedir. Burada, alınan sinyalin tersi yönünde sinyal gelmiştir. Buda bize kazığın çapının 2 m ile 4 m arasında genişlemiş olduğunu göstermektedir. Kazık uç bölgesinde ise ilk sinyal ile uç sinyalin aynı yönde olması kazığın serbest uçlu yani kaya zemine soketlenmemiş olduğunu, çevre sürtünmesine maruz kaldığını göstermektedir (Şekil 5.11).

## **BÖLÜM 6. SÜREKLİLİK DENEYİ TESTİ ANALİZLERİ**

Bu çalışmada, İstanbul Merter’de METRO MAM/M1 Alışveriş Merkezi Projesi kapsamında 379 adet jet-grout kolonundan 38 adet ve İstanbul Zincirlikuyu’da ki Zorlu Center Projesi kapsamında iksa sistemi olarak inşa edilen 63 adet fore kazık için de 6 adet kazık süreklilik deneyleri yapılmıştır. Bu kapsamda, jet-grout ve fore kazıkların imalatları sonucu kazıklar üzerinde kalite kontrolü ve kazıklarda imalat sırasında meydana gelmiş olabilecek süreksizliklerin belirlenmesi amacı ile kazık imalatı tamamlanan ve deneye uygun (kazık başı temiz, el altında ulaşılabilir yerde, sestem ve hareketli sudan etkilenmeyecek uzaklıkta) kazıklarda hasarsız kazık süreklilik testleri yapılmıştır. Kazıklardan elde edilen sinyaller, “Pile Echo Tester (P.E.T.)” programı ile analiz edilerek kazık sürekliliği ve imalat kalitesi incelenmiştir.

METRO MAM/M1 Merter Alışveriş Merkezi inşaatı kapsamında imal edilmiş olan kazıklar, uzunluklarına göre A, B, C ve D şeklinde olmak üzere dört bölgeye ayrılarak 70 cm çapında imal edilmiştir. A ve D bölgelerindeki kazıklar 13 m, B bölgesinde 11 m ve C bölgesinde ise, 7 m uzunluğunda imal edilmiştir. Zincirlikuyu Zorlu Center Projesinde ise, 60 cm çapında ve boyları 8 m – 12 m arasında değişen fore kazıklar imal edilmiştir.

Zemin koşulları açısından METRO MAM/M1 Merter Alışveriş Merkezi inşaat sahası ile Zorlu Center inşaat sahası benzer özelliklere sahip olup, katı ve çok katı kil tabakasından oluşmaktadır. Jet-grout ve fore kazıkların uçları katı ve çok katı kil tabakasından bulunması nedeniyle, sinyal karakteristikleri tek boyutlu dalga teorisi serbest uç prensiplerine uygun olarak analiz edilmiştir.

Bölüm-3’ de belirtildiği üzere bazı kolonlarda yeterli kalitede sinyal alınamamıştır.

METRO MAM/M1 Merter Alışveriş Merkezi inşaatı kapsamında yapılan 38 adet kazıkta uygulanan deneyler sonucunda:

— A15 nolu Jet-Grout (JG) Kolonu; Bu kolonda, kazığın hemen başında yaklaşık olarak 1.0 – 1.5 m derinlikte kesit daralması veya yapısal bir süreksizlik görülmektedir. Yer altında oluşturulan jet-grout kolonunun yüzeyde kabarma oluşturmamasından dolayı basıncın düşürülmesi sonucunda meydana geldiği düşünülebilir. A bölgesinde bulunan kazıkların uzunluğu 13m olmakla birlikte bu kazıkta analiz sonucu 13.3m olarak bulunmuştur. Sonuç olarak A15 nolu kazıkta büyük bir problem oluşturabilecek bir anomaliye rastlanmamıştır.

— A22 nolu JG Kolonu; Bu kolonda yaklaşık 4.0 – 4.5 m derinlikte kesit daralması veya yapısal bir süreksizlik görülmektedir. Kazık boyu 12.9m olarak bulunmuştur. Kazık kesitindeki daralmalar kazığın performansını olumsuz yönde etkileyeceği için yerine yeni bir kazık yapılması veya ilave kazık imalatı düşünülmelidir.

— A42 nolu JG Kolonu; Boyu 13.5m olarak bulunmuştur. Sinyallerde görülen küçük sapmalar, kazık ile zemin etkileşiminden (yumuşak tabakalardan, dolgulardan, çok sert tabakalardan, zemin içindeki boşluklardan, eski temellerden, kazık tabanı genişletmelerinden ve beton kalitesinin değişiminden v.s.) kaynaklanmaktadır. Bu itibarla, A42 nolu kazıkta büyük bir probleme rastlanmamıştır.

— A71 nolu JG Kolonu; Bu kolonda hemen kazık başında yaklaşık 0.3 – 0.9 m derinlikte kesit daralması veya yapısal bir süreksizlik görülmektedir. Bu daralmanın nedeni ise, jet-grout üst kotunun yüzeyden en az 30 cm aşağıda bırakılmasından dolayı olduğu düşünülebilir. Jet-grout enjeksiyonunun yüzeyde kabarma oluşturmamasından dolayı basıncın düşürülmesi sonucu meydana gelir. Buna rağmen, A71 nolu kazıkta da büyük bir sorun görülmemektedir.

— A84 nolu JG Kolonu; Kazığın istenilen standartlarda olmaması (kazık başının istenildiği gibi tıraşlanmaması, kazık etrafındaki suyun direne edilememesi, çatlaklardan arındırılmış olmaması veya kırımın proje mukavemetindeki beton seviyesine kadar yapılmış olmaması gibi) nedeniyle yeterli kalitede sinyal alınamamıştır.

— A258 nolu JG Kolonu; Boyu 13.5m olarak bulunmuştur. Grafikte görülen sapmalar yumuşak tabakalardan, dolgulardan, çok sert tabakalardan, zemin içindeki boşluklardan, eski temellerden, kazık tabanı genişletmelerinden veya beton kalitesinin değişmesinden oluştuğu düşünülmektedir. A258 nolu kazıkta da önemli bir problem görülmemektedir.

— A272 nolu JG Kolonu; Bu kolona ait kazık başında yaklaşık 1.5 – 2.0 m derinlikte kesit daralması veya yapısal bir süreksizlik görülmektedir. Bu daralmanın sebebi jet-grout üst kotunun her zaman yüzeyden en az 30 cm aşağıda bırakılmasından dolayı oluştuğu düşünülebilir. A272 JG kolonunun boyu 13.2m olarak bulunmuştur ve kazıkta büyük bir problem oluşturabilecek anomaliye rastlanmamıştır.

— A298 nolu JG Kolonu; Yaklaşık 4.5 m derinlikte kesit daralması veya yapısal bir süreksizlik 4.5m / 9.0m / 13.5m tekrar sinyallerinden görülmektedir. Burada kazık istenilen ebatlarda oluşmamış ve şekilsiz bir yapı meydana gelmiştir. Meydana gelen bu şekilsizlik kazık performansını olumsuz yönde etkileyeceğinden, kazığın iptal edilmesi ve yerine yeni bir kazık yapılması veya ilave kazık imalatı düşünülmelidir.

— A330 nolu JG Kolonu; Boyu 13.5m olarak bulunmuştur. Kazığın sert zemin olarak nitelendirebileceğimiz katı-çok katı kilde bulunmuş olması nedeniyle uzunluk/çap oranı ~20'yi geçmemesi ön görülmektedir. Bu sebeple kazığın boyunun projede belirlenen uzunluktan fazla olması performansını olumsuz yönde etkileyecek bir durum değildir. Bu itibarla A330 nolu kazıkta önemli bir problem görülmemektedir.

— A478 nolu JG Kolonu; Boyu 13.0m olarak bulunmuştur. Burada da önemli bir problem görülmemektedir.

— B133 nolu JG Kolonu; Boyu 11.6m olarak bulunmuştur. Kazık boyunun belirlenen değerden fazla olması kazık performansını olumsuz yönde etkileyecek bir unsur olarak görülmediğinden, B133 nolu kazıkta önemli bir anomaliye rastlanmamıştır.

— B155 nolu JG Kolonu; Boyu 10.6m olarak bulunmuştur. B155 nolu kazıkta da büyük bir problem görülmemektedir.

— B173 nolu JG Kolonu; Kazığın istenilen standartlarda olmaması (kazık başının istenildiği gibi tıraşlanmaması, kazık etrafındaki suyun direne edilememesi, çatlaklardan arındırılmış olmaması, kırımın proje mukavemetindeki beton seviyesine kadar yapılmış olmaması gibi) nedeniyle yeterli kalitede sinyal alınamamıştır.

— B175 nolu JG Kolonu; Boyu 10.7m olarak bulunmuştur. Zemin tabakalanmasında meydana gelen değişimlerin kazık süreklilik testlerine etkisi olduğu bilinmektedir. Bu nedenle sinyallerde görülen küçük sapmalar, bu derinliklerde değişim gösteren zemin tabakalarını gösterdiği düşünülmektedir. Buna rağmen, B175 nolu kazıkta da önemli bir problem görülmemektedir.

— B221 nolu JG Kolonu; Boyu 12.3m olarak bulunmuştur. Enjeksiyonun yüzeye yakın mesafede kesilmesinden dolayı yaklaşık 1.5 – 2.5 m derinlikte kesit daralması veya yapısal bir süreksizlik görülmektedir. Grafiğin genelindeki kesit daralması şeklinde görülen bozukluklar kazık zemin etkileşiminden dolayı oluşmaktadır. Bu kazıkta da ciddi bir anomaliye rastlanmamıştır.

— B238 nolu JG Kolonu; Kazık başında yaklaşık 1.0 – 1.5 m derinlikte kesit daralması veya yapısal bir süreksizlik görülmektedir. Bu daralmanın sebebi jet-grout üst kotunun her zaman yüzeyden en az 30 cm aşağıda bırakılmasından dolayı oluştuğu düşünülebilir. Kazık boyu 11.2 m olarak bulunmuştur. B238 nolu kazıkta kabul edilebilir standartlar içerisindedir.

— B314 nolu JG Kolonu; Boyu 11.1m olarak bulunmuş olup önemli bir problem görülmemektedir.

— B329 nolu JG Kolonu; Yaklaşık 3.5m – 4.5m derinlikte kesit genişlemesi veya yapısal bir süreksizlik görülmektedir. Kesit genişlemesi kazık performansını etkilememekle birlikte kazığın çevre sürtünmesi ile taşınan yükü arttıran bir

özelliştir. Kazık boyu 10.0m olarak bulunmuş olup burada da önemli bir problem oluşturabilecek anomaliye rastlanmamıştır.

— B372 nolu JG Kolonu; Boyu 11.0m olarak bulunmuş olup, burada da ciddi bir anomali görülmemektedir.

— B603 nolu JG Kolonu; Yaklaşık 2.5 m derinlikte kesit daralması veya yapısal bir süreksizlik 2.5 m / 5.0 m / 7.5 m tekrar sinyallerinden görülmektedir. Burada kazık istenilen ebatlarda oluşmamış ve şekilsiz bir kazık meydana gelmiştir. Kazık kesitindeki görülen bu yapısal düzensizliğin kazığın performansını olumsuz yönde etkileyeceği düşünüldüğünden, yeni bir kazık yapılması veya ilave kazık imalatı düşünülmelidir.

— C490 nolu JG Kolonu; Boyu 7.1m olarak bulunmuştur. JG kolonunun yaklaşık 1.5m – 2.0m derinlikte kesit genişlemesi veya yapısal bir süreksizlik izlenmektedir. Kesit genişlemesi kazık performansını etkilememekle birlikte kazığın çevre sürtünmesi ile taşınan yükü arttıran bir özelliştir. Bu durum ise, kazıkta önemli bir problem oluşturmamaktadır.

— C530 nolu JG Kolonu; Kazığın istenilen standartlarda olmaması (kazık başının istenildiği gibi tıraşlanmaması, kazık etrafındaki suyun direne edilememesi, çatlaklardan arındırılmış olmaması, kırımın proje mukavemetindeki beton seviyesine kadar yapılmış olmaması gibi) nedeniyle yeterli kalitede sinyal alınamamıştır.

— C581 nolu JG Kolonu; Boyu 7.2m olarak bulunmuş olup, C581 nolu kazıkta ciddi bir probleme rastlanmamıştır.

— C628 nolu JG Kolonu; Boyu 8.0m olarak bulunmuştur. Grafikte görülen bozukluklar kazık zemin etkileşiminden dolayı oluştuğundan, kazıkta önemli bir problem yoktur diyebiliriz.

— C676 nolu JG Kolonu; Boyu 7.4m olarak bulunmuş olup bu kazıkta kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.



— C725 nolu JG Kolonu; Kazığın boyu 7.7m olarak bulunmuş ve önemli bir problem oluşturabilecek anomaliye rastlanmamıştır.

— D43 nolu JG kolonunun boyu 12.1m, D65 nolu JG kolonunun boyu 12.8m, D82 nolu JG kolonunun boyu 13.0m, D107 nolu JG kolonunun boyu 12.8m ve D143 nolu JG kolonunun boyu ise 13.1m olarak bulunmuş olup tüm bu kazıklarda önemli bir problem görülmemektedir.

— D174 nolu JG kolonunun yaklaşık 2.5m – 4.5m boyları arasında kesit genişlemesi görülmektedir. Kesit genişlemesi kazık performansını etkilememekle birlikte kazığın çevre sürtünmesi ile taşınan yükü arttıran bir özelliktir. Kazık boyu 13.4m olarak bulunmuştur. D174 nolu kazıkta büyük bir probleme rastlanmamıştır.

— D195 nolu JG kolonunun boyu 13.8m olarak bulunmuştur. Grafikte görülen bozuklukların kazık zemin etkileşiminden dolayı oluştuğu düşünüldüğünden, bu kazıkta kabul edilir standartlar arasındadır.

— D220 nolu JG kolonunun boyu 13.8m ve D257 nolu JG kolonunun boyu 13.6m olarak bulunmuş olup her iki kazıkta da önemli bir probleme rastlanmamıştır.

— D334 nolu JG kolonunun da kazığın istenilen standartlarda olmaması (kazık başının istenildiği gibi tıraşlanmaması, kazık etrafındaki suyun direne edilememesi, çatlaklardan arındırılmış olmaması, kırımın proje mukavemetindeki beton seviyesine kadar yapılmış olmaması gibi) nedeniyle yeterli kalitede sinyal alınamamıştır.

— D397 nolu JG kolonunun boyu 13.9m olarak bulunmuştur. Grafikte görülen bozukluklar kazık zemin etkileşiminden dolayı oluşmaktadır. Sonuç olarak D397 nolu kazıkta ciddi bir problem oluşturabilecek anomaliye rastlanmamıştır.

— D405 nolu JG kolonunun boyu 12.8m olarak bulunmuştur. Grafikte görülen bozukluklar kazık zemin etkileşiminden dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Sonuç olarak D405 nolu kazıkta da önemli bir problem görülmemektedir.

Zincirlikuyu'da Zorlu Center Projesi kapsamında yapılan 6 adet fore kazıkta uygulanan deney sonuçlarına göre;

— FK5 nolu fore kazığın boyu 11.6m, FK13 nolu fore kazığın boyu 12.0m, FK25 nolu fore kazığın boyu 12.2m, FK36 nolu fore kazığın boyu 7.9m, FK43 nolu fore kazığın boyu 9.9m ve FK59 nolu fore kazığın boyu ise 11.7m olarak bulunmuştur. Tüm kazıklarda kabul edilebilir standartlar içerisinde olduğundan kazıklarda önemli bir problem görülmemektedir.

## BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

METRO MAM/M1 Alışveriş Merkezi Projesi ile Zorlu Center Projesi için imal edilen jet-grout kolonları ve fore kazıklarda ASTM D5882.00 standardına uygun yapılan süreklilik deneyleri (Pulse Echo Metodu ile Pile Integrity Testi; PIT) sonucu elde edilen hız-zaman (reflectogram) grafikleri değerlendirildiğinde, Zorlu Center projesine ait fore kazıklarda önemli bir probleme rastlanmamıştır. Ancak, METRO MAM/M1 Alışveriş Merkezi Projesi kapsamında imal edilmiş ve süreklilik deneyine tabi tutulmuş olan 38 adet jet-grout kolonlarında ise bir takım olumsuzluklara rastlanmıştır. Bu olumsuzluklar;

A15, A22, A71, A272, B221 ve B238 nolu JG kolonlarında kesit daralması veya yapısal bir süreksizlik, B329, C490 ve D174 nolu JG kolonlarında ise kesit genişlemesi veya yapısal bir süreksizlik gözlemlenmektedir. Kazık kesitindeki genişlemeler kazık performansını olumsuz yönde etkileyecek bir durum olmayıp, kazığın çevre sürtünmesi ile taşınan yükü arttıran bir özelliktir. Bu yüzden kazık kesitindeki genişlemeler fazla dikkate alınmamıştır. Fakat kazık kesitinde daralmalar kazık performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Kazık kesitindeki bu daralmalar ve genişlemeler, yumuşak tabakalar, dolgular, çok sert tabakalar ve zemin içindeki boşluklar gibi zeminin yapısından kaynaklanabilir. Yer altı homojen bir yapıda olmadığından ve her zaman istenilen standartlarda jet-grout kolonu oluşamayabilir. Kazığın ilk 1-2 m' sinde oluşan daralmaların nedeni ise zemine çimento şerbeti, hesaplanan seviyeye kadar yapılarak enjeksiyonun kinetik enerjisinden zarar görmemesi için, belirlenen seviyenin (jet-grout üst kotunun) her zaman yüzeyden en az 30 cm aşağıda bırakılmasından kaynaklanabilmektedir. Bu sebeple kazık için önemli bir problem olarak görülmemektedir. Ancak daha derinlerde oluşan daralmalar kazığın direk olarak taşıma gücünü etkilemektedir. Bu durumda kazığın yerine yeni bir kazık yapılması veya ilave kazık imalatı gibi çözümlere gitmek zorunda kalınabilir.

A42, A258, A330, B133, B221, C628, C725, D195, D220, D257, D334 ve D397 nolu JG kolonlarında öngörülen proje boyundan daha uzun kazık imalatı, B155, B175, B329 ve D43 nolu JG kolonlarında ise daha kısa kazık imalatı görülmüştür. Kazık boylarındaki bu farklılıklar yumuşak tabakalardan, çok sert tabakalardan ve zemin içindeki boşluklardan meydana gelebilir. Aynı zamanda kazık boylarındaki bu farklılıklar jet enjeksiyon tijinin çekme hızına da bağlıdır. Eğer tij zamanından daha hızlı çekilirse topuk kısmında kazık oluşamayacağından boyu kısılır ancak daha yavaş çekilirse, jet enjeksiyonun uyguladığı basınçtan dolayı zemini iterek daha uzun kazık oluşmasına neden olabilir. Kazıkların uzunluk/çap oranları sert zeminlerde ~20'yi, çok yumuşak zeminlerde ise ~60'ı geçiyorsa topuk yansıması alınmadığından dolayı kazığın makul sayılabilecek bir uzunlukta olması performansını olumsuz yönde etkileyecek bir durum değildir. Bununla birlikte dalga hızının, kazık boyunun tespitinde lineer bir ilişkiye sahip olmasından dolayı hız belirlemedeki yaklaşıklık nedeniyle deneylerden elde edilen kazık boylarının belirli bir yaklaşıklıkta olduğu unutulmamalıdır.

A298 ve B603 nolu JG kolonlarının kusurlu olarak imal edildiği görülmüştür. Burada kazıklar istenilen ebatlarda oluşmamış ve şekilsiz bir yapı meydana gelmiştir. Meydana gelen bu şekilsizlik kazık performansını olumsuz yönde etkileyeceğinden, kazığın iptal edilmesi ve yerine yeni bir kazık yapılması veya ilave kazık imalatı düşünülmelidir.

A84, B173, C530 ve D334 nolu JG kolonlarında kazık başının istenildiği gibi tıraşlanmaması, kazık etrafındaki suyun direne edilememesi, çatlaklardan arındırılmış olmaması veya kırımın proje mukavemetindeki beton seviyesine kadar yapılmış olmaması gibi nedenlerden dolayı yeterli kalitede sinyal alınamamıştır. Ayrıca JG kolonlarının deneye hazırlanması için iş makinesi ile kazığın etrafının açılması esnasında kazık başının yanlışlıkla koparılması gibi bir olasılıkta göze çarpmaktadır. Bu sebeple kazıkta oluşan kopma sonucu topuk yansıması görülememekte ve yeterli kalitede sinyal alınamamaktadır. Kazıkların deneye hazırlanmasında dikkatli davranılması ve daha fazla özen gösterilmesi yeterli kalitede sinyal alınabilmesi için önemlidir.

Kazık kesitindeki daralmalar değerlendirildiğinde ise bu daralmaların (0-5) m aralığında gerçekleştiği ve zemin profiline göre killi dolgu - gri renkli katı kil formasyonlarında daralmalar olduğu görülmüştür. A15, A22, A71, A272, B221 ve B238 nolu JG kolonlarında oluşan kesit daralmaları yer altında oluşturulan kolonunun yüzeyde kabarma oluşturmamasından dolayı basıncın düşürülmesi sonucunda meydana gelebileceği gibi sert zemin içersinde öngörülen jet-grout kolonunun oluşmamasından da kaynaklanabilmektedir. Kolonlarda oluşan bu daralmaları önlemek için yüksek kalitede zemin araştırması yapılarak profesyonel ekip tarafından çalışmalar yürütülmelidir.

Öte yandan A15, A71, A272, B221 ve B238 nolu JG kolonlarında görülen daralmalar kazığın hemen başında bulunmaktadır. Bu daralmaların sebebi zemine çimento şerbeti, hesaplanan seviyeye kadar yapılarak enjeksiyonun kinetik enerjisinden zarar görmemesi için, belirlenen seviyenin (jet-grout üst kotunun) her zaman yüzeyden en az 30 cm aşağıda bırakılmasından dolayı oluşmaktadır. Jet-grout kolonu genellikle 400–450 bar basınçla püskürtülen su ve çimento karışımının zeminin boşluklarını doldurması ve sıkıştırılması suretiyle elde edilir. Yüksek basınç, sevk edilen enjeksiyonun nozzle'lerden geçerken yüksek bir kinetik enerji kazanmasını sağlar. Su-çimento karışımının hızı 250m/sn değerlerine kadar ulaşır ve enjeksiyon zemini yırtarak zeminle birleşir. Enjeksiyonun kazanmış olduğu bu yüksek kinetik enerjinin zemin yüzeyinde kabarmalar oluşturmaması için yüzeyden en az 30 cm aşağıda kesilmesi uygun görülmektedir. Ancak enjeksiyonun daha alt kotlarda kesilmesi ile oluşan daralmalar veya tam tersi olarak kesilmemesi ve bunun sonucunda yüzeyde yüksek basıncın etkisiyle kaçan enjeksiyonun kazık başını oluşturamaması sebebiyle kazıkta oluşan daralmalar gözlemlenebilir. Bunun önlenmesi için deneyimli kazık müteahhidi, iyi kazık ekipmanı-ekibi ve deneyimli makine-ekip operatörü tercih edilmeli, inşaat sırasında denetimler yapılarak işin güvenilirliği takip edilmelidir. Böylece burada yapılmış olan hata en az seviyeye düşürülebilir. Hangi kazıklar olduğunu belirt...

Derinlik boyunca zemin tabakalanmasında meydana gelen değişimlerin kazık süreklilik testlerine etkisi olduğu bilinmektedir. Bu nedenle sinyallerde görülen küçük sapmalar, bu derinliklerde değişim gösteren zemin tabakalarını işaret etmektedir.

Çalışmada kullanılan programın kazık taşıma gücü hakkında herhangi bir bilgi vermemesi bir dezavantaj olarak düşünülebilir. Burada temel amaç yer altında oluşturulan kazığın sürekliliği hakkında gerekli parametrelerin elde edilmesidir. Ancak, kazığın taşıma gücü, kazığa uygulanan kademeli yükler ile taşıyacağı yük sonucunda belli olur.

Sonuçta bu program ile, kazıkların kesit alanında meydana gelen değişimler temel alınarak süreksizlik çeşitleri ile kazığın yapısal performansı değerlendirilmektedir. Böylece, farklı zemin koşullarında farklı derinliklerde benzer çalışmalar yapılarak kazık imalat kalitesinin profesyonel bir yaklaşımla yorumu gerçekleştirilmektedir.

## KAYNAKLAR

ASTM D-5882, Standart test method for low strain integrity testing, American Society for Testing and Materials, USA, (1995).

AMİR, J.M., Wave Velocity in Young Concrete, Proc3rd Intl Conf on Application of Stress-Wave Theory to Piles, Ottawa, (1988).

BOWLES, J.E., Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill Book Company, USA, (1988).

CARİNO, N.J., Stress wave propagation methods, National Institute of Standards and Technology, USA, (1999).

CHOW, Y.K., PHOON, K.K., CHOW, W.F. ve WONG K.Y., Low strain integrity testing of piles, Three dimensional effects, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 129, 11, November 1, (2003).

ÇINAR, M., AKKAYA, A.B., Jet Grouting Uygulama Tekniği, Dizayn Dergisi Yayınları, Sayı 288, Sayfa 26, Aralık (2009).

DENEÇ, G., Sinyal Eşleme Yöntemi Kullanılarak Kazık Süreklilik Deneylerinin Değerlendirilmesi ve Kazık Kalitesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2006).

DÜZCEER, İ.R., Kazık Yükleme Deneyleri İle Nihai Kazık Taşıma Kapasitesinin belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2002).

İNANIR, O.E., Zorlu Center Projesi İksa Amaçlı Fore Kazıklarda Sonic Integrity Test Raporu, GEOgrup İnşaat San. ve Tic. A.Ş. Yayınları, (2008).

İNANIR, O.E., Metro Mam/M1 Merter Alışveriş Merkezi Jet Grout Kolonları Sonic Integrity Test Raporu, GEOgrup İnşaat San. Ve Tic. A.Ş. Yayınları, (2008).

FLEMİNG, W.G.K., An Imprint of Routledge, Piling Engineering 2nd Edition, E & FN Spon, London and New York (1992).

KÖSEOĞLU, S., Pratik Sayısal Örneklerle Temeller Statik ve Betonarme Hesapları, Özarkadaş Matbaası, İstanbul, (1971).

MOHAMAD, H.H. ve GEORGE, G.G., A brief history of the application of the stress wave theory to piles, USA, (1999).

ÖZCAN, E., ÖZDEMİR, A., Fore Kazık ve Jet Grout Kolonlarında Bütünlülük Deneyi Uygulaması, Temeltaş İnşaat A.Ş. Yayınları, (2006).

PEKARUN, O., DOĞANIŞIK, K., Mini Kazık Ve Jet-Grout Yöntemleri Kullanılarak Oluşturulan Geçirimsizlik Perdesine Ait Bir Vaka Analizi, Dizayn Dergisi Yayınları, Sayı 228, Sayfa 44, Aralık (2004).

PET (Pile Echo Tester), User Manual Systems, (1997).

ŞENOL, A., DENEÇ, G., Sinyal Eşleme Yöntemi Kullanılarak Kazık Süreklilik Deneylerinin Değerlendirilmesi Ve Kazık Kalitesinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2007).

TNO Building and Construction Research, (Foundation Pile Diagnostic System, Sonic Integrity Testing User's Guide, The Netherlands (1997).

TOĞROL, E., Kazıklı Temeller, Temel Araştırma A.Ş. Yayınları, İstanbul, (1970).

TOĞROL, E., ve TAN O., Kazıklı Temeller, Temel Araştırma A.Ş. Yayınları, İstanbul, (2003).

TOMLİNSON, Pile Design and Construction Practice, A Viewpoint Publication, London, (1977).

VYNCKE, J. & VAN NIEUWENBURG, D., Ch. II - Theorie van de dynamische proeven: A. Integriteit, Seminar On Pile Dynamic Testing Integrity And Bearing Capacity, Brussels, (1987).

YILDIRIM, S., Zemin İncelemesi Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2004).

<http://www.zeminarastirmamerkezi.com/jetgrouting.html> Erişim Tarihi:02.03.2010

[www.piletest.com](http://www.piletest.com) Erişim Tarihi:01.03.2009

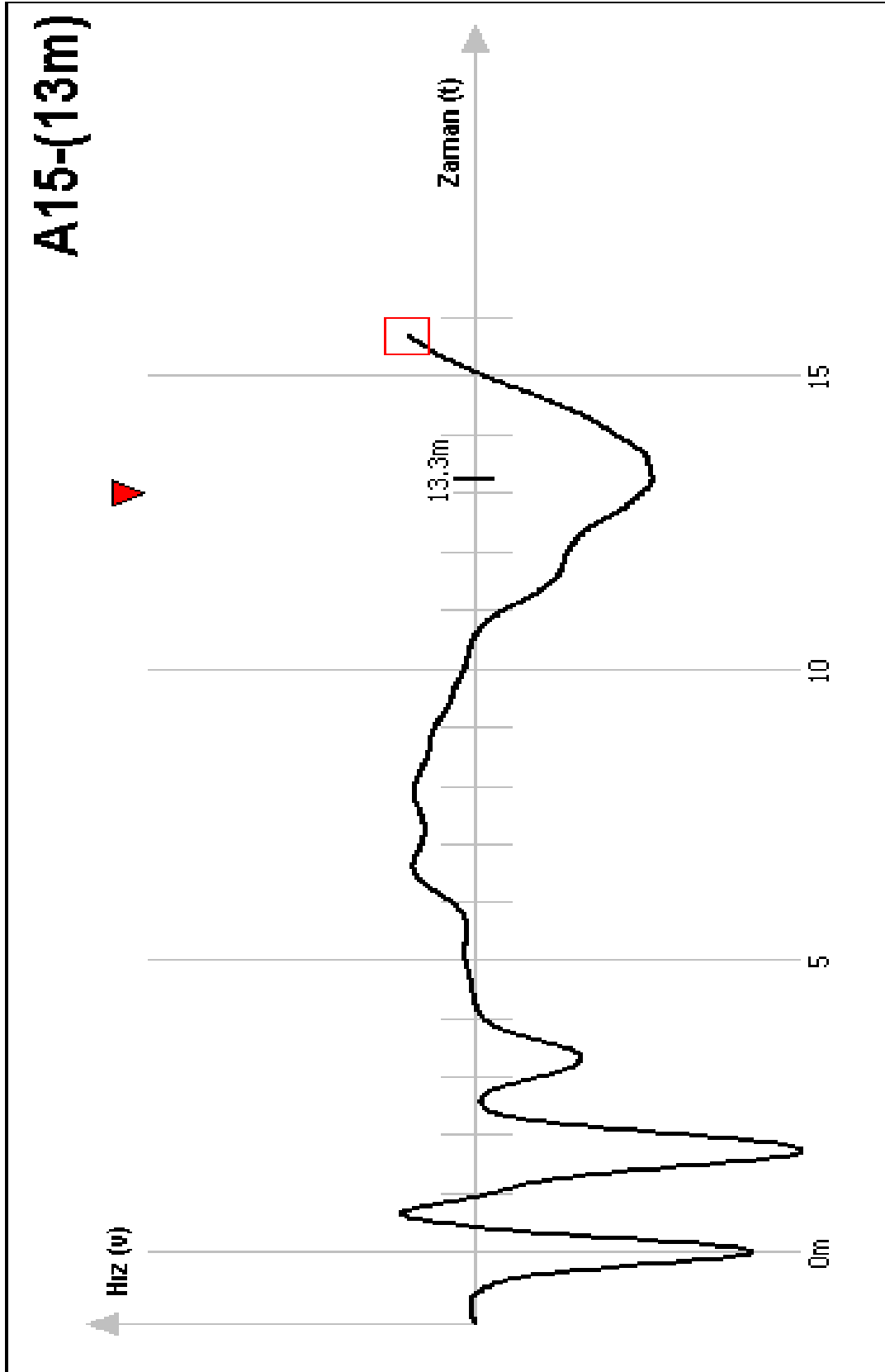
[http://www.altyapi.com/yapim\\_minikazik.html](http://www.altyapi.com/yapim_minikazik.html) Erişim Tarihi:05.03.2010

<http://mimoza.marmara.edu.tr> Erişim Tarihi:02.03.2010

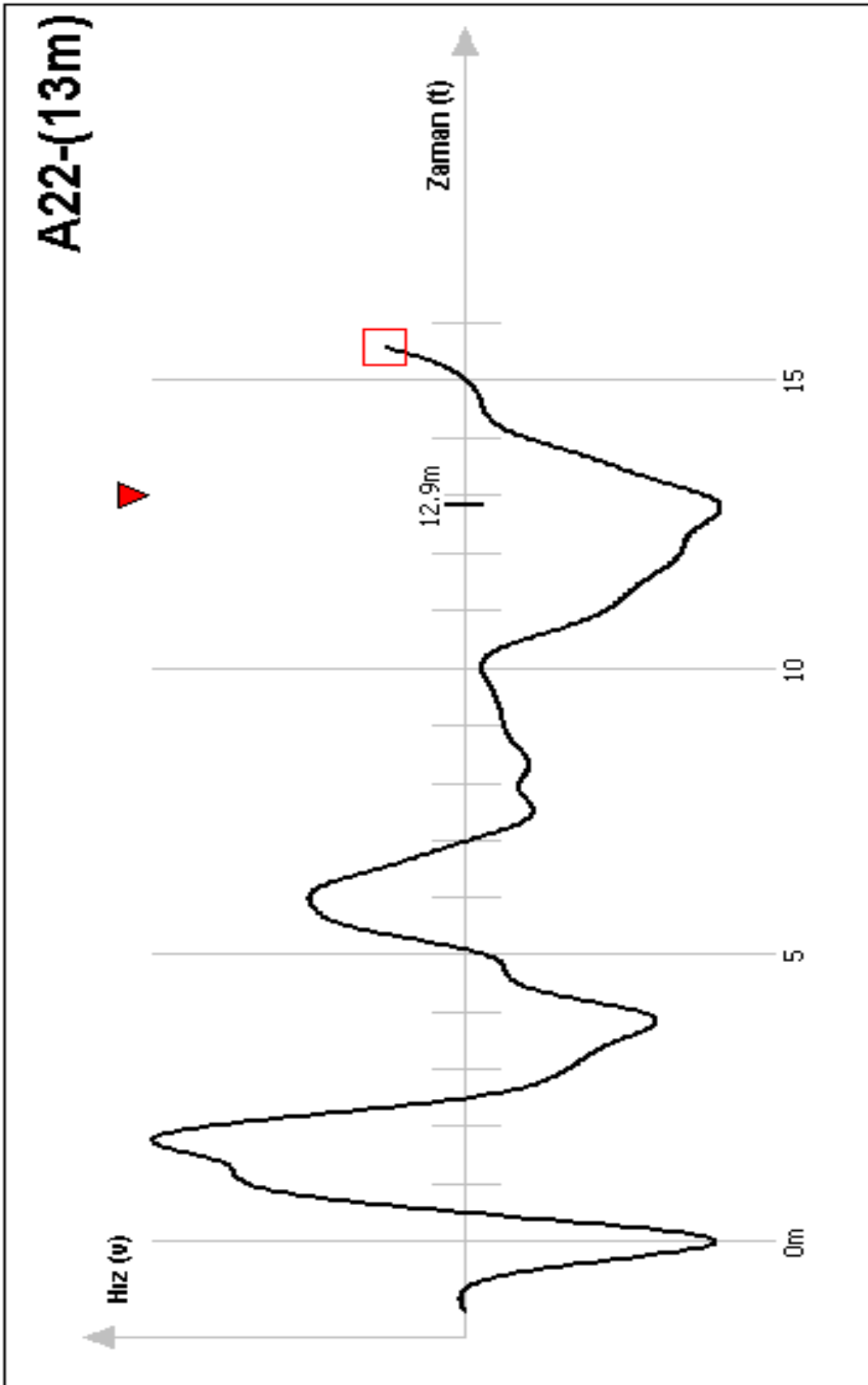


**EKLER**

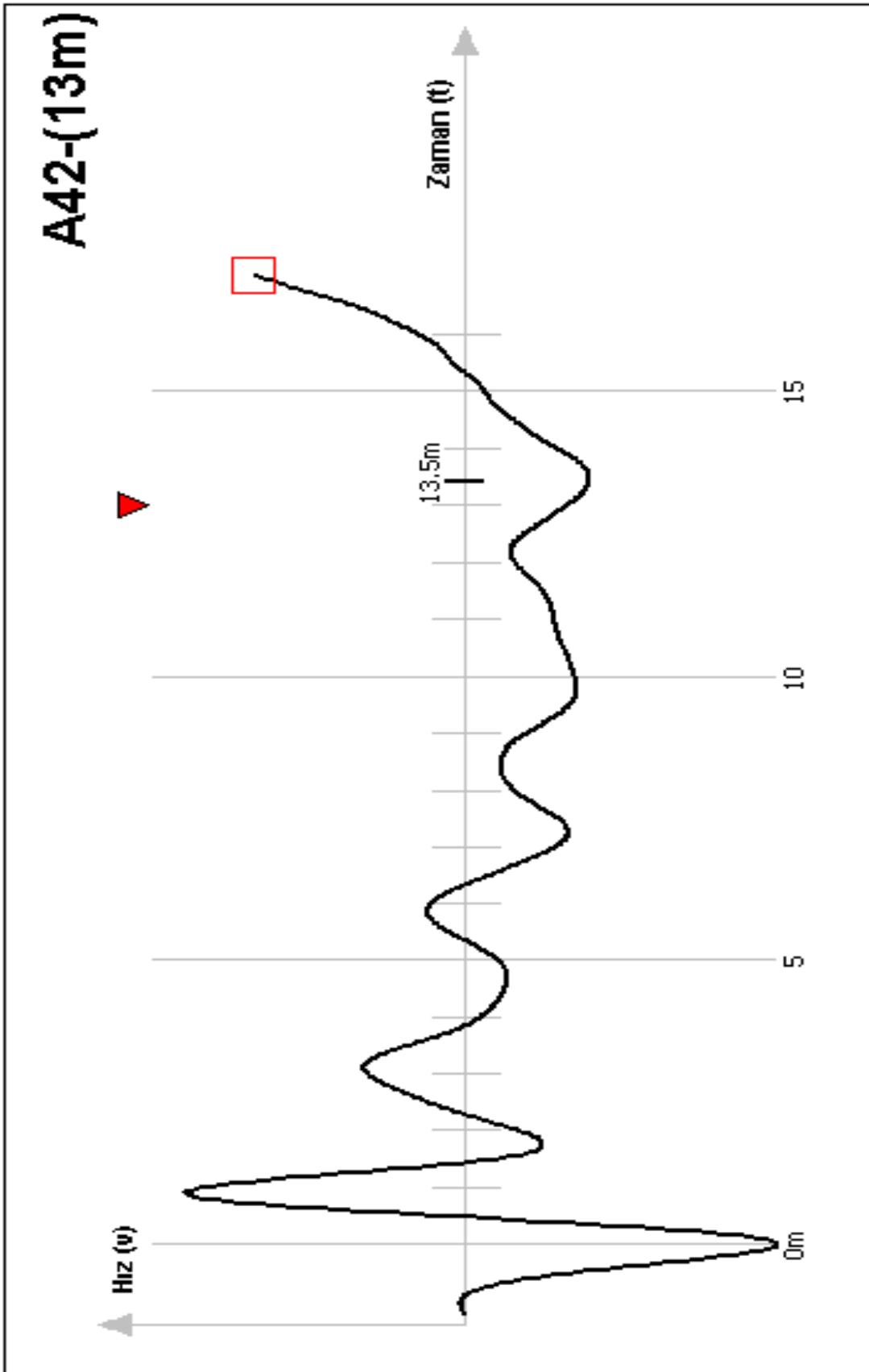
EK A



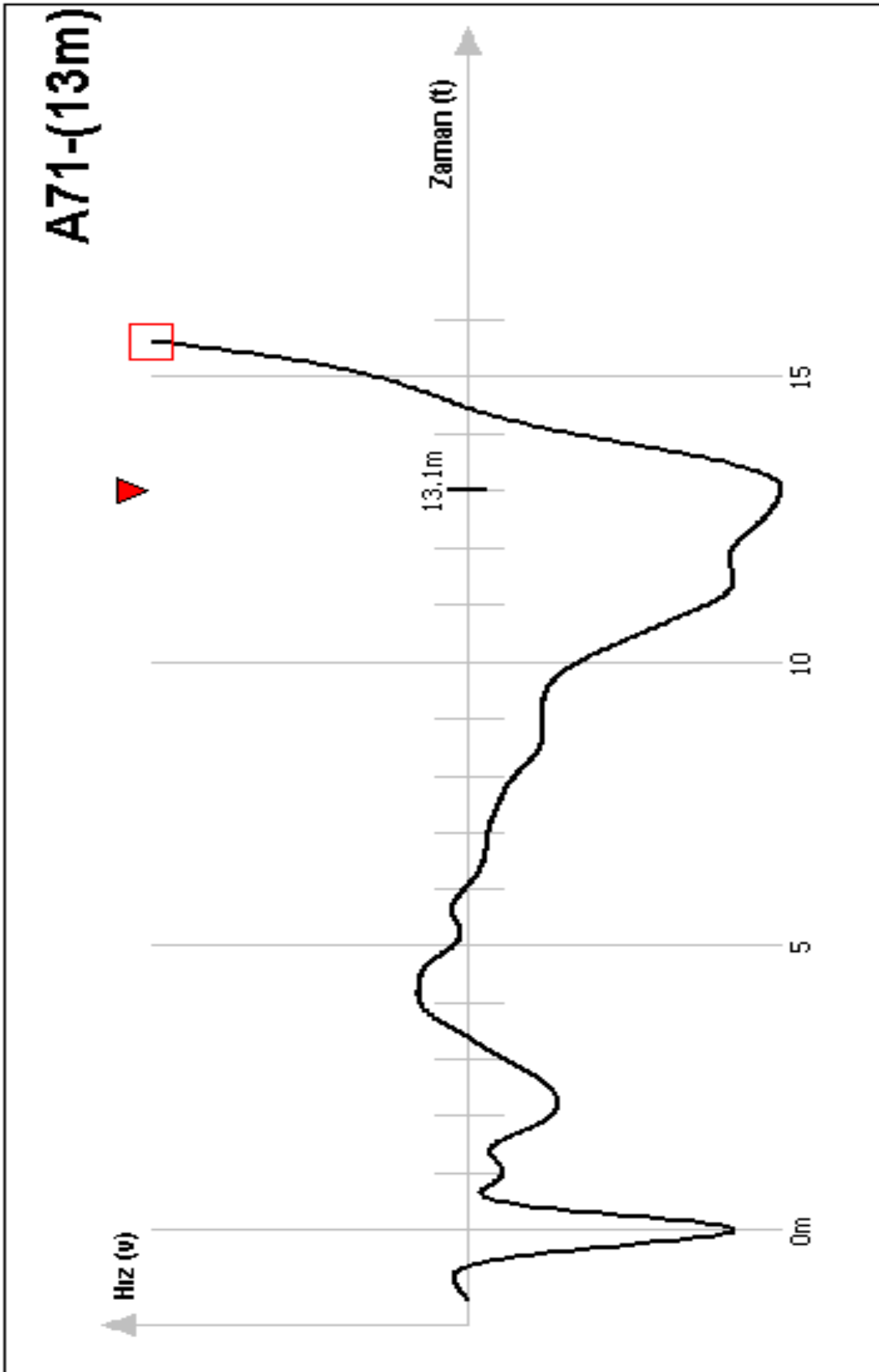
Şekil A1. A15 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



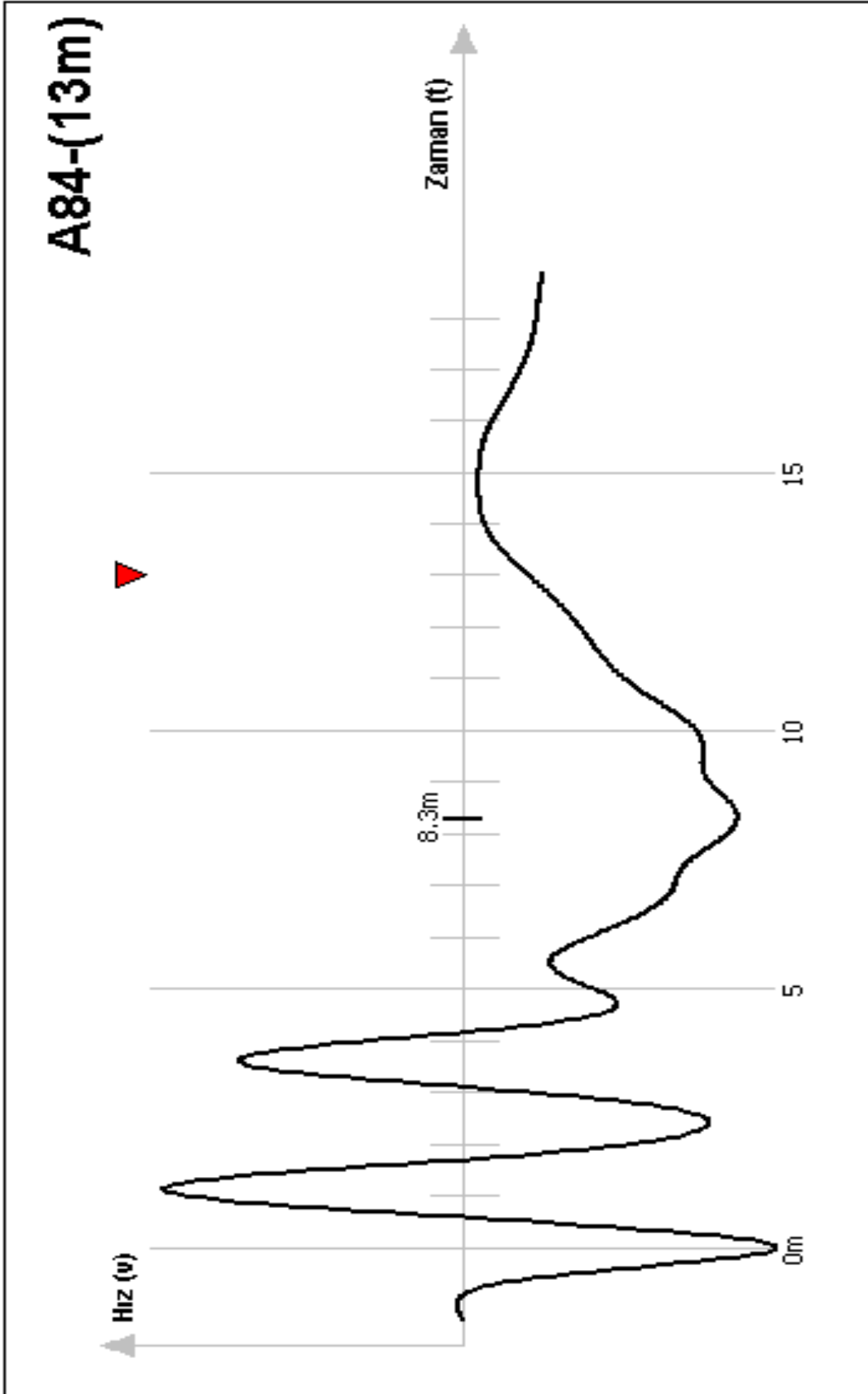
Şekil A2. A22 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



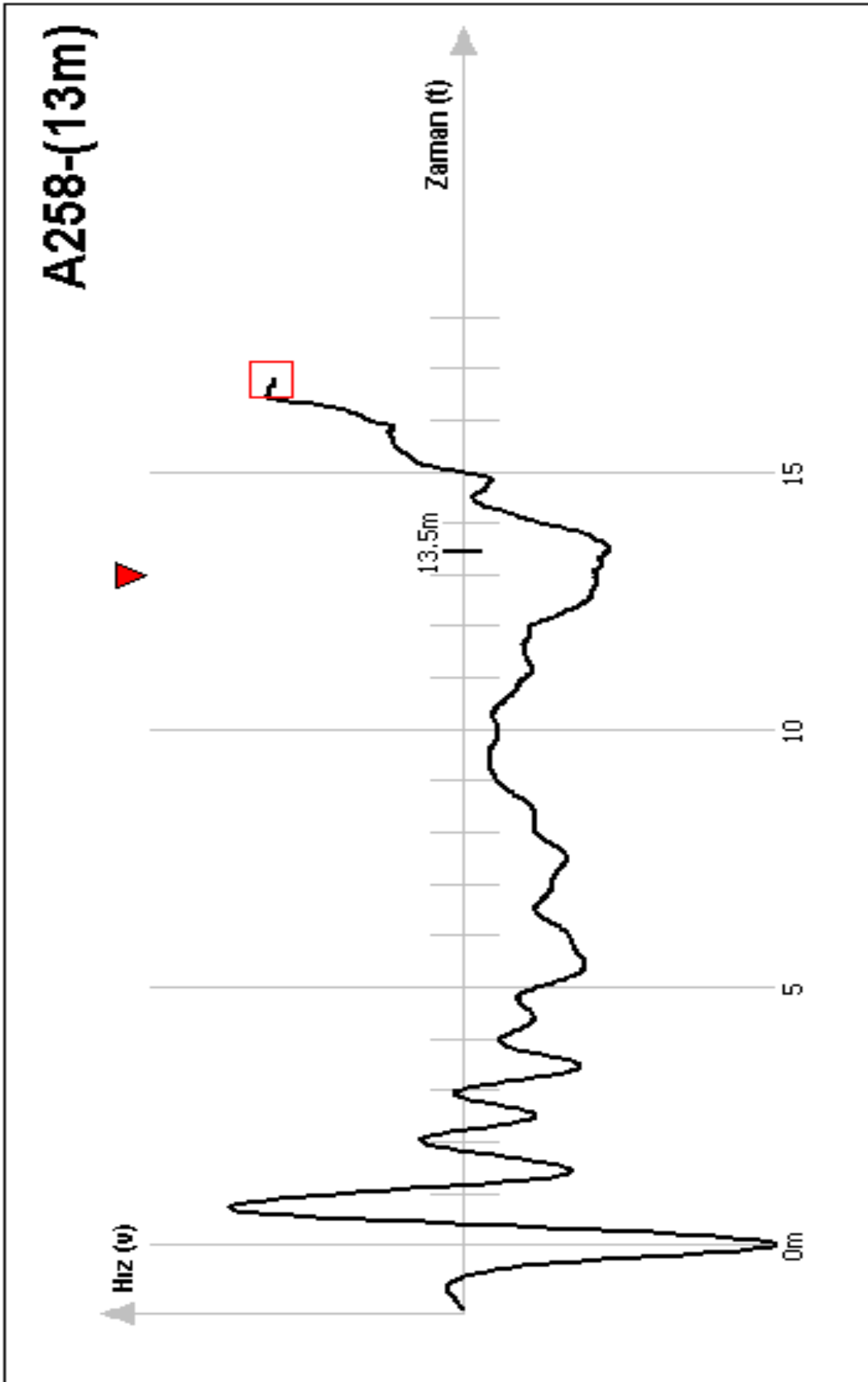
Şekil A3. A42 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



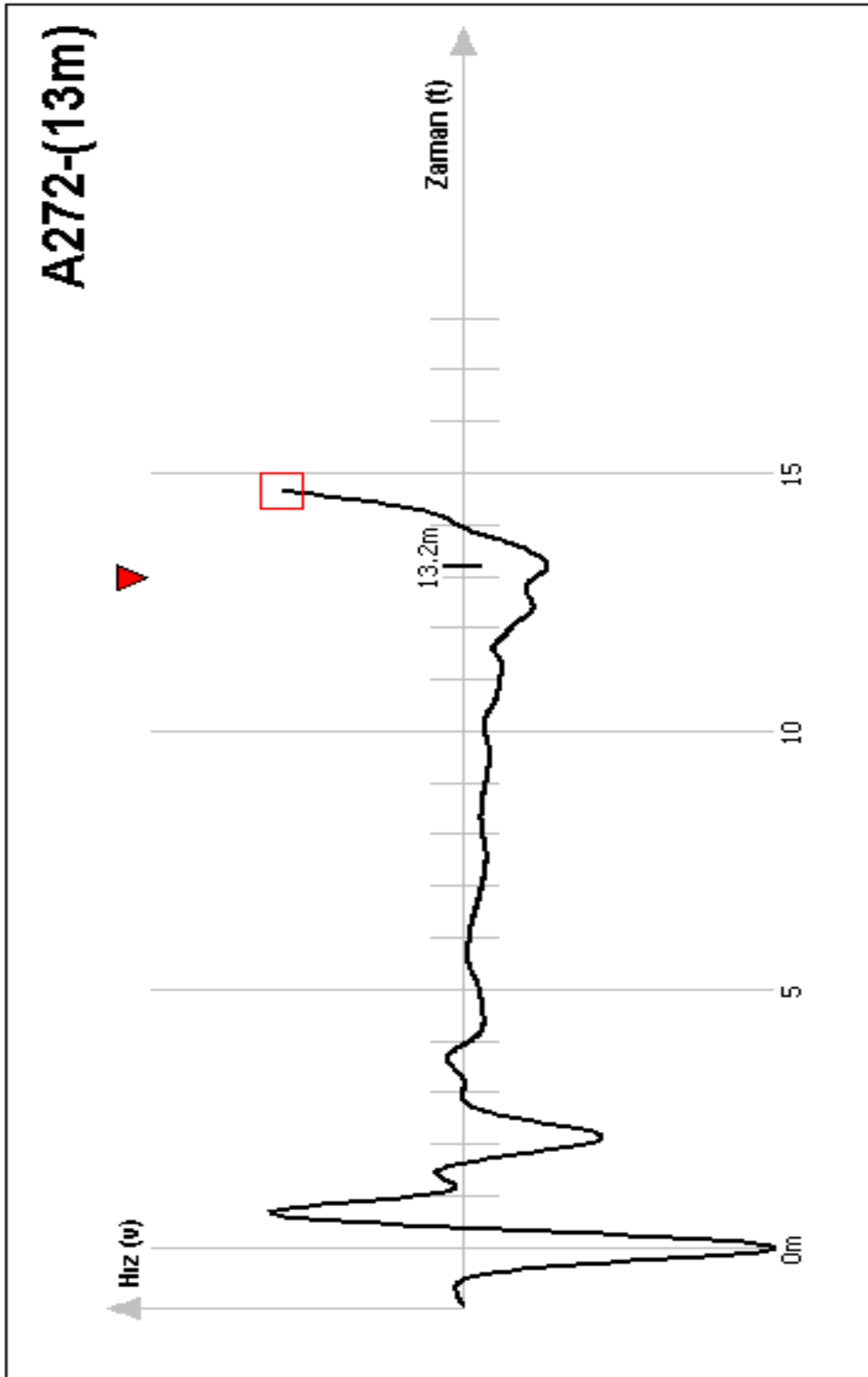
Şekil A4. A71 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



Şekil A5. A84 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

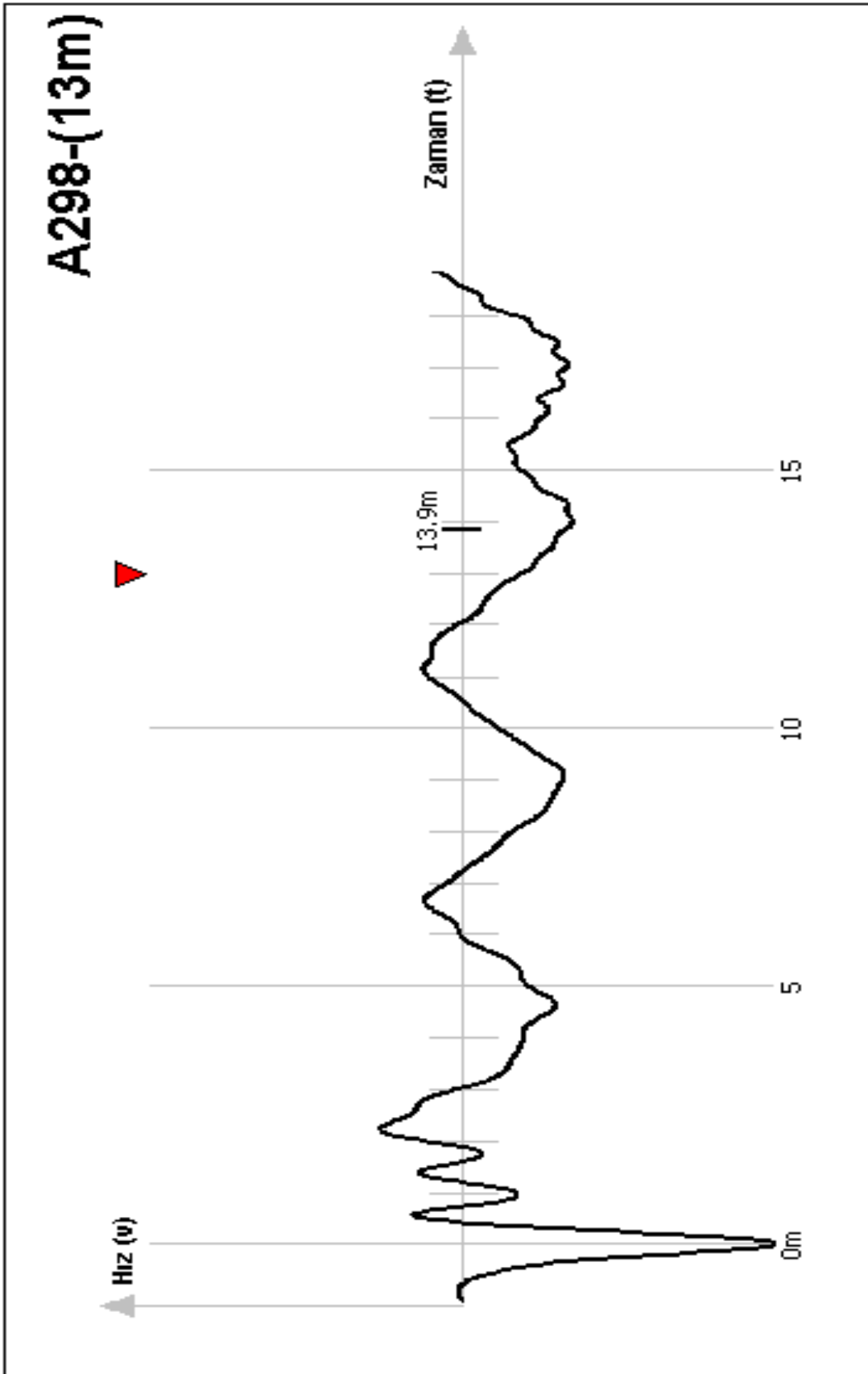


Şekil A6. A258 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

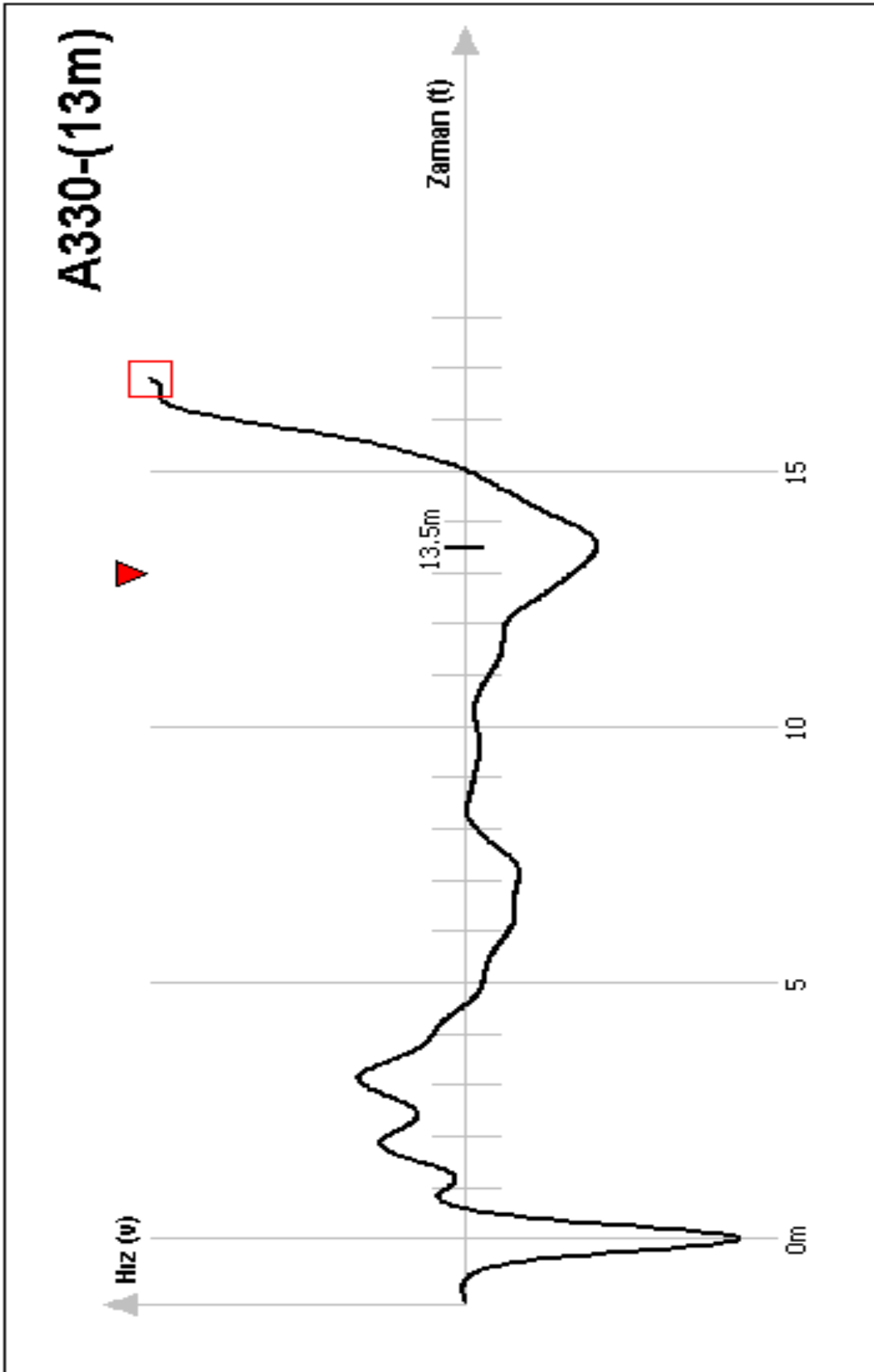


Şekil A7. A272 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

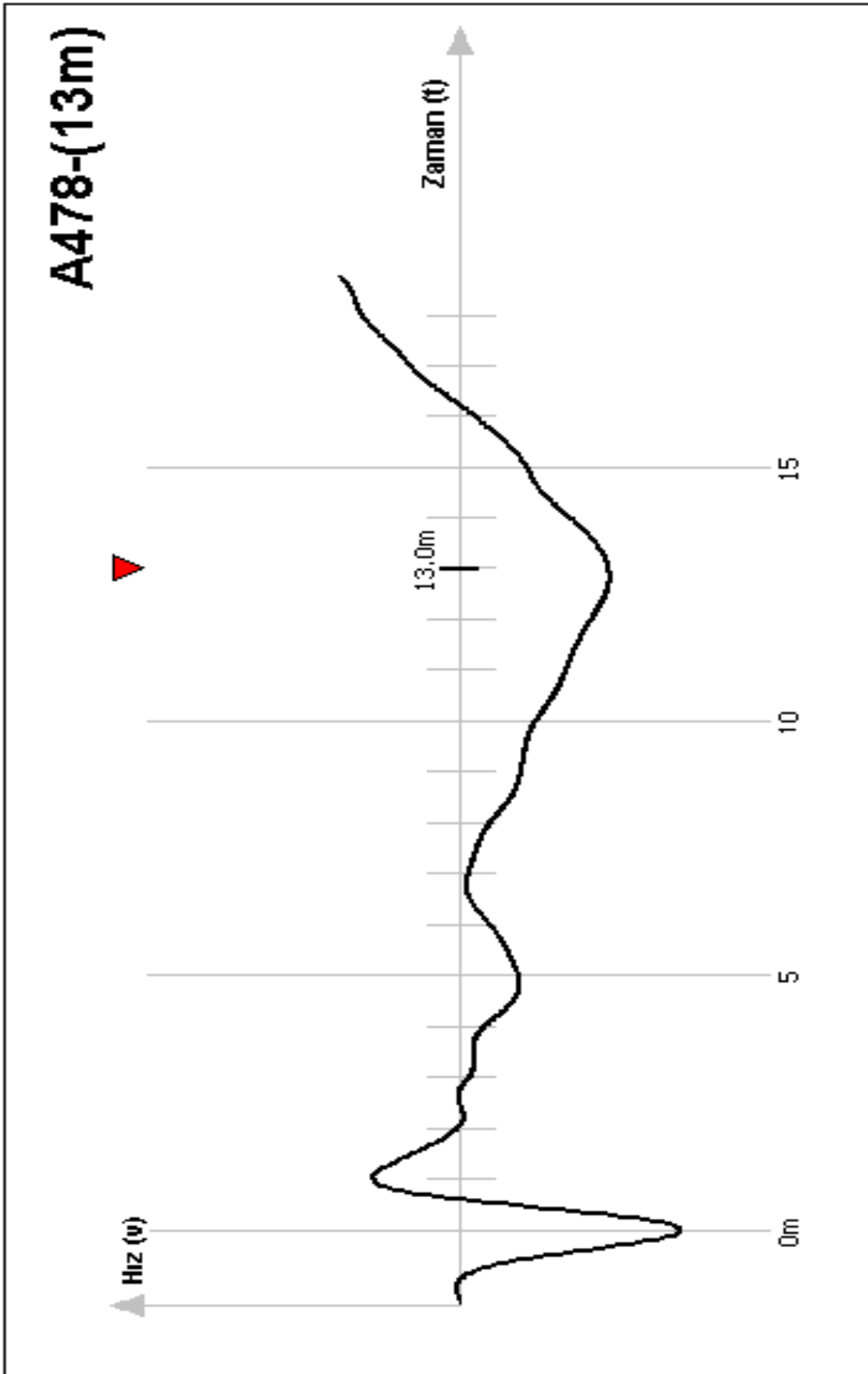




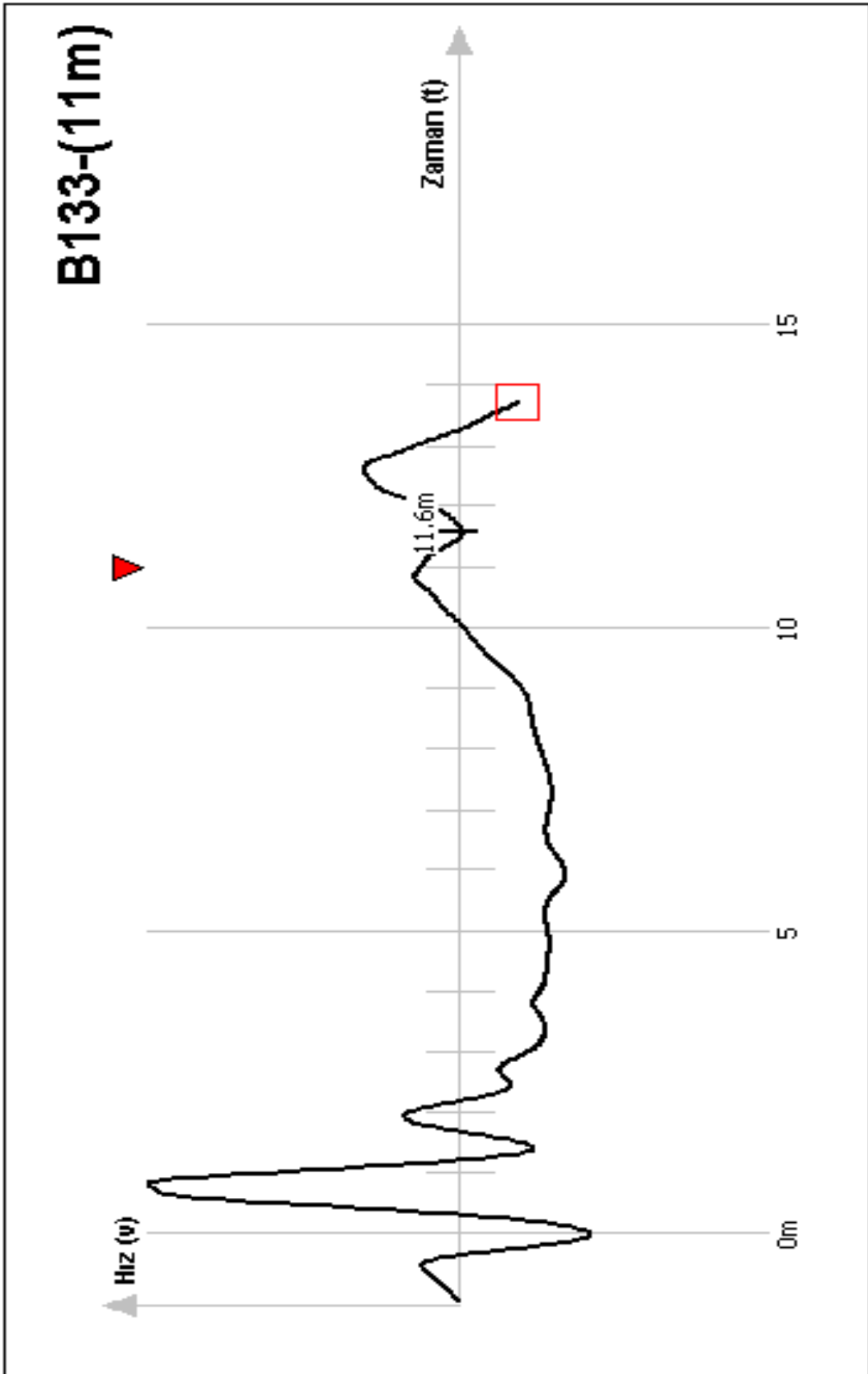
Şekil A8.A298 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



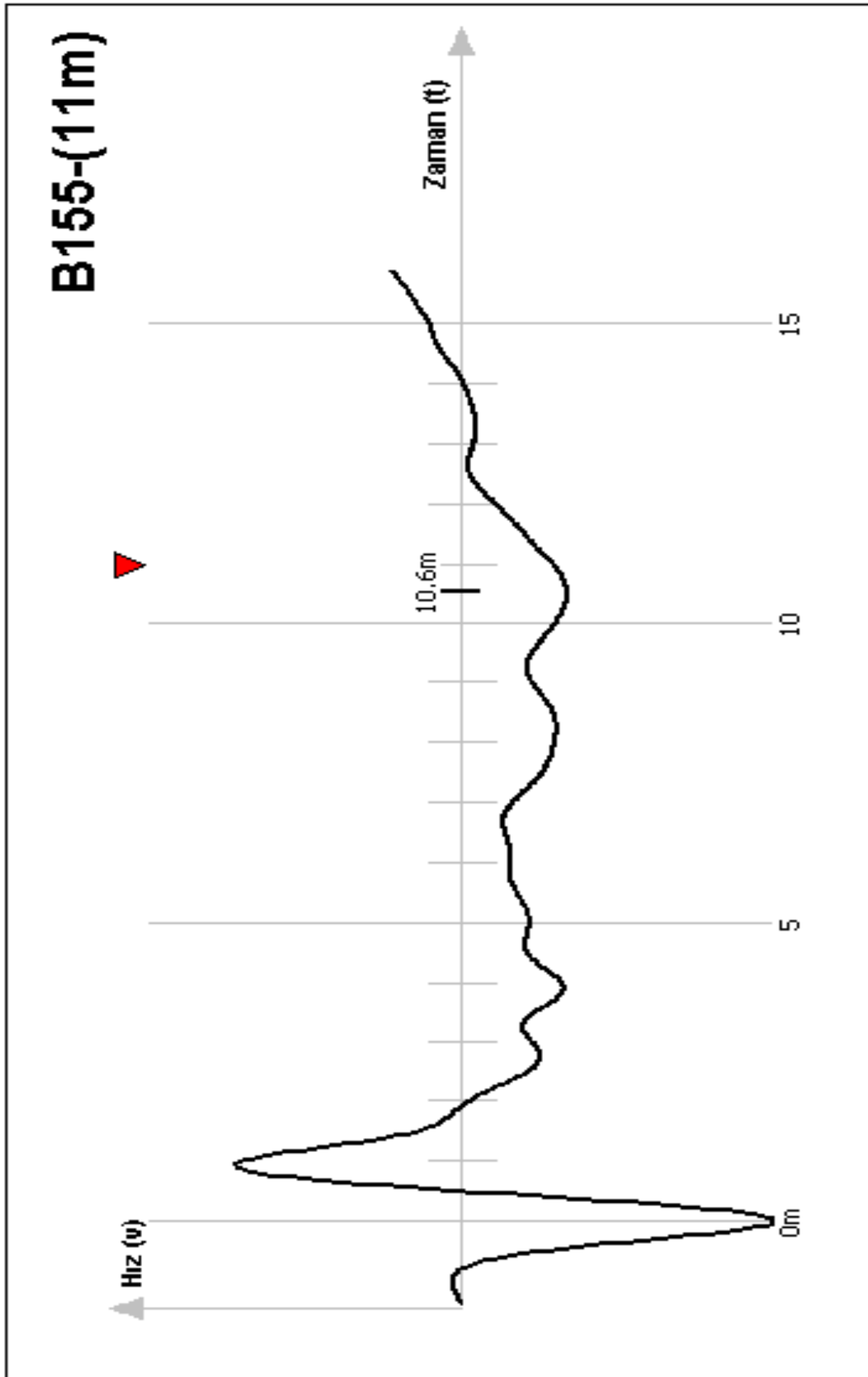
Şekil A9. A330 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



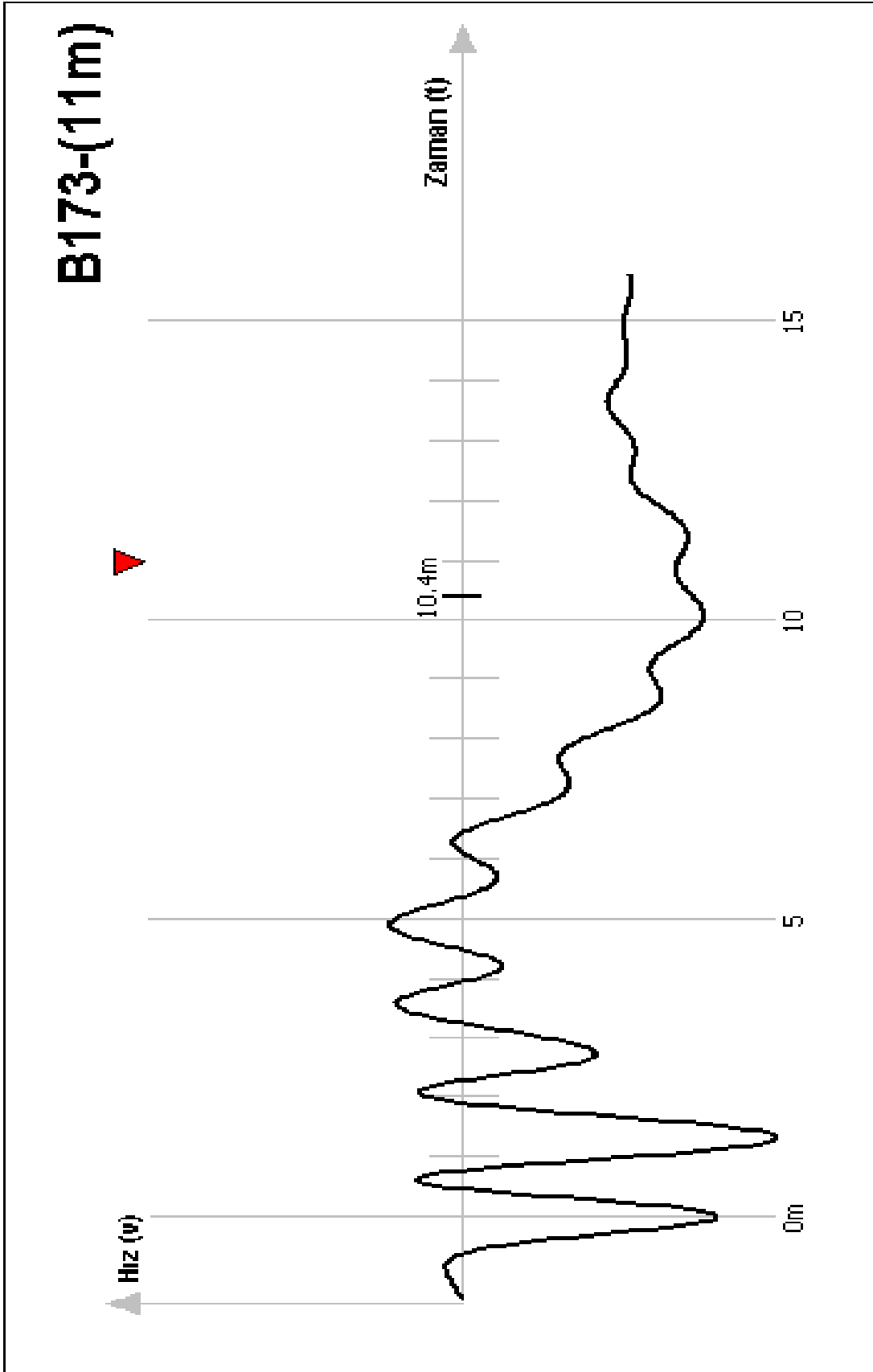
Şekil A10. A478 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



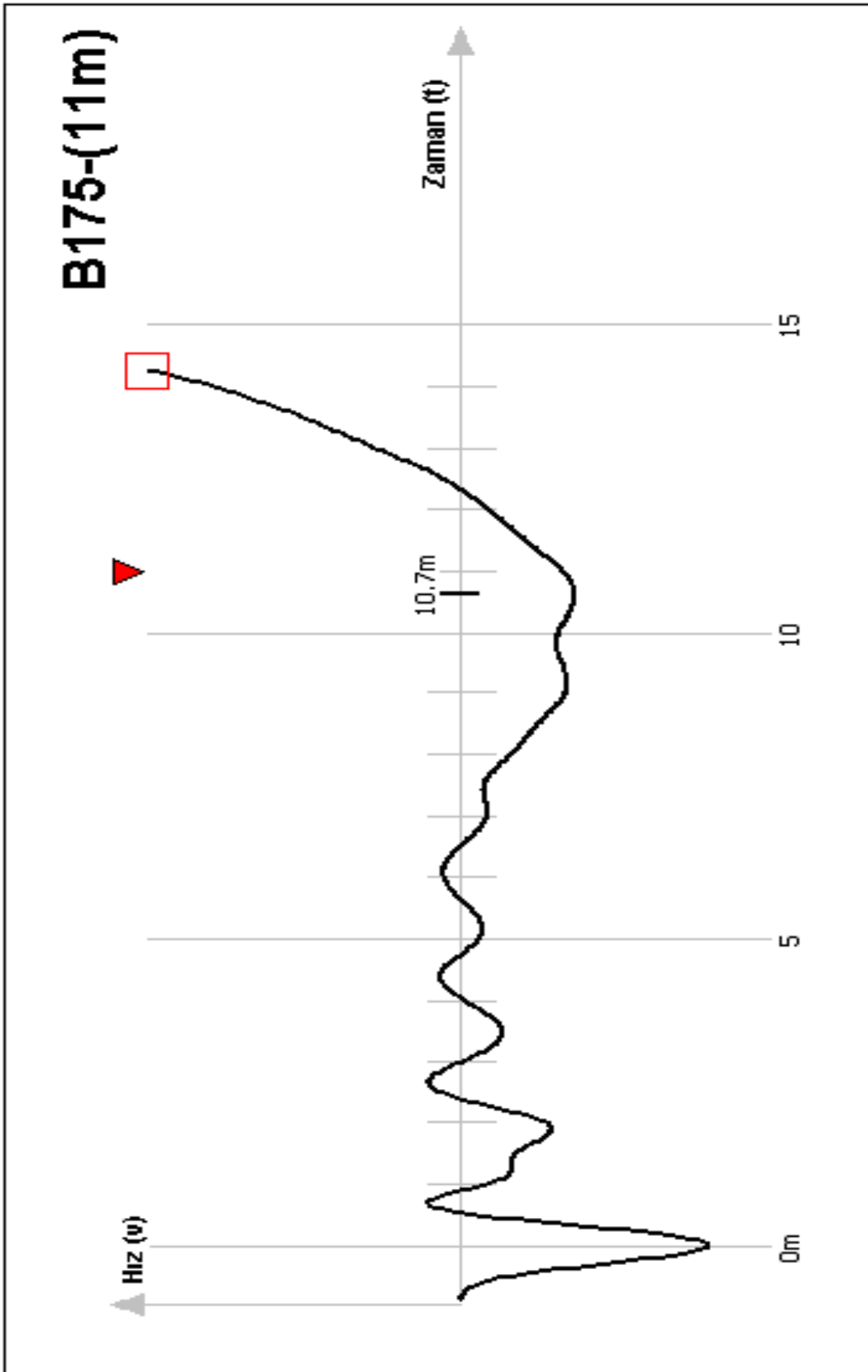
Şekil A11. A133 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



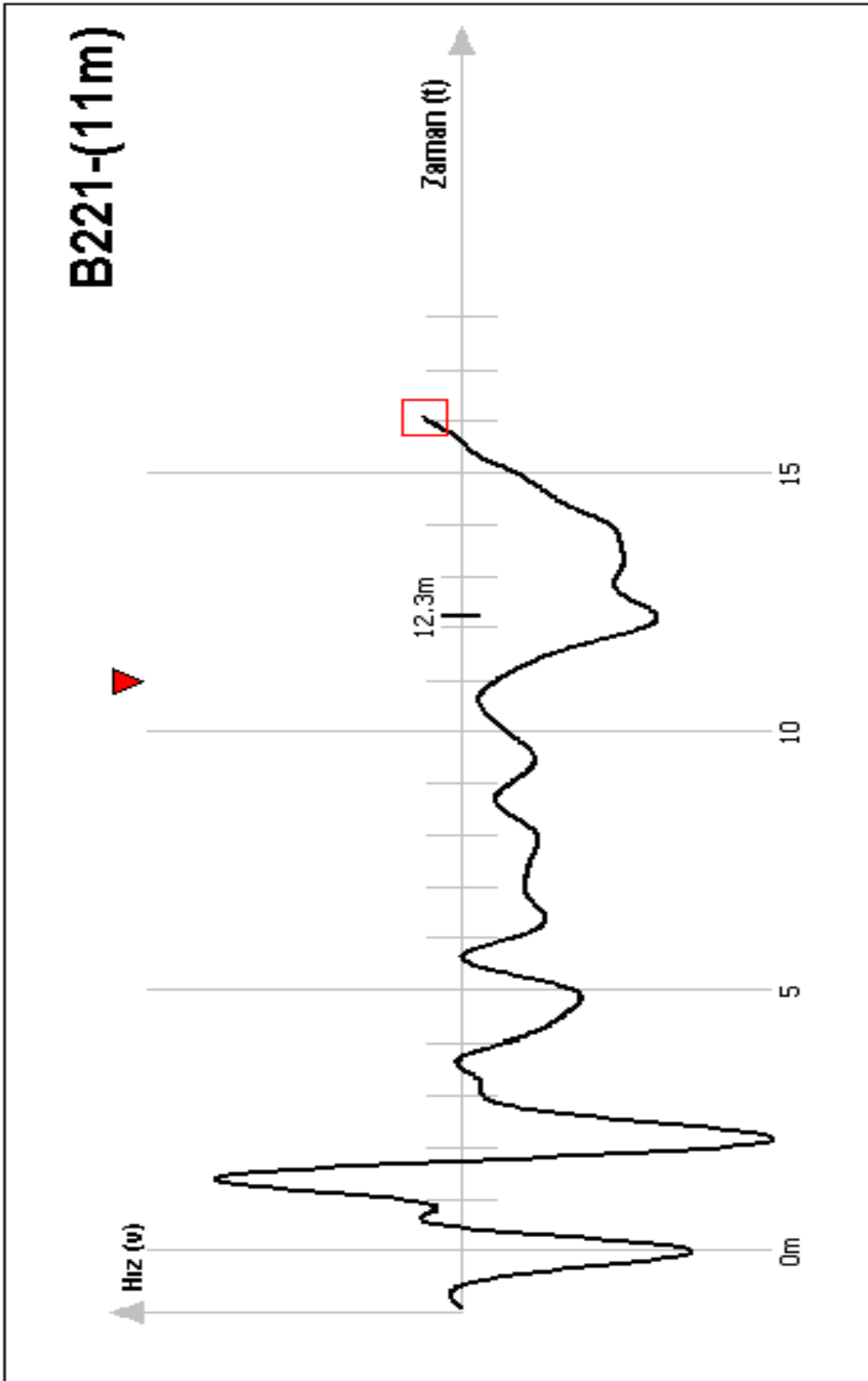
Şekil A12. A155 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



Şekil A13. B173 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

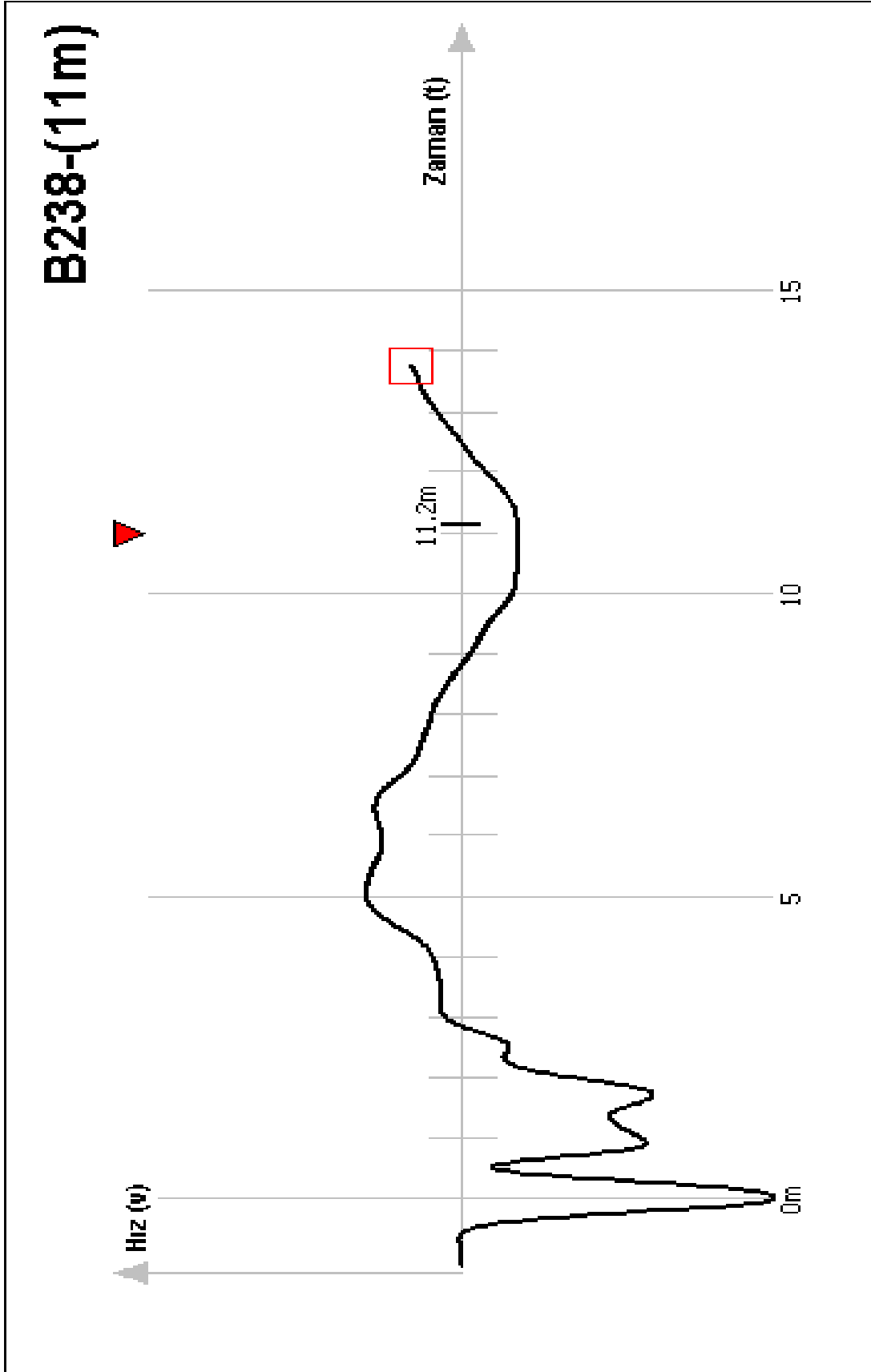


Şekil A14. B175 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

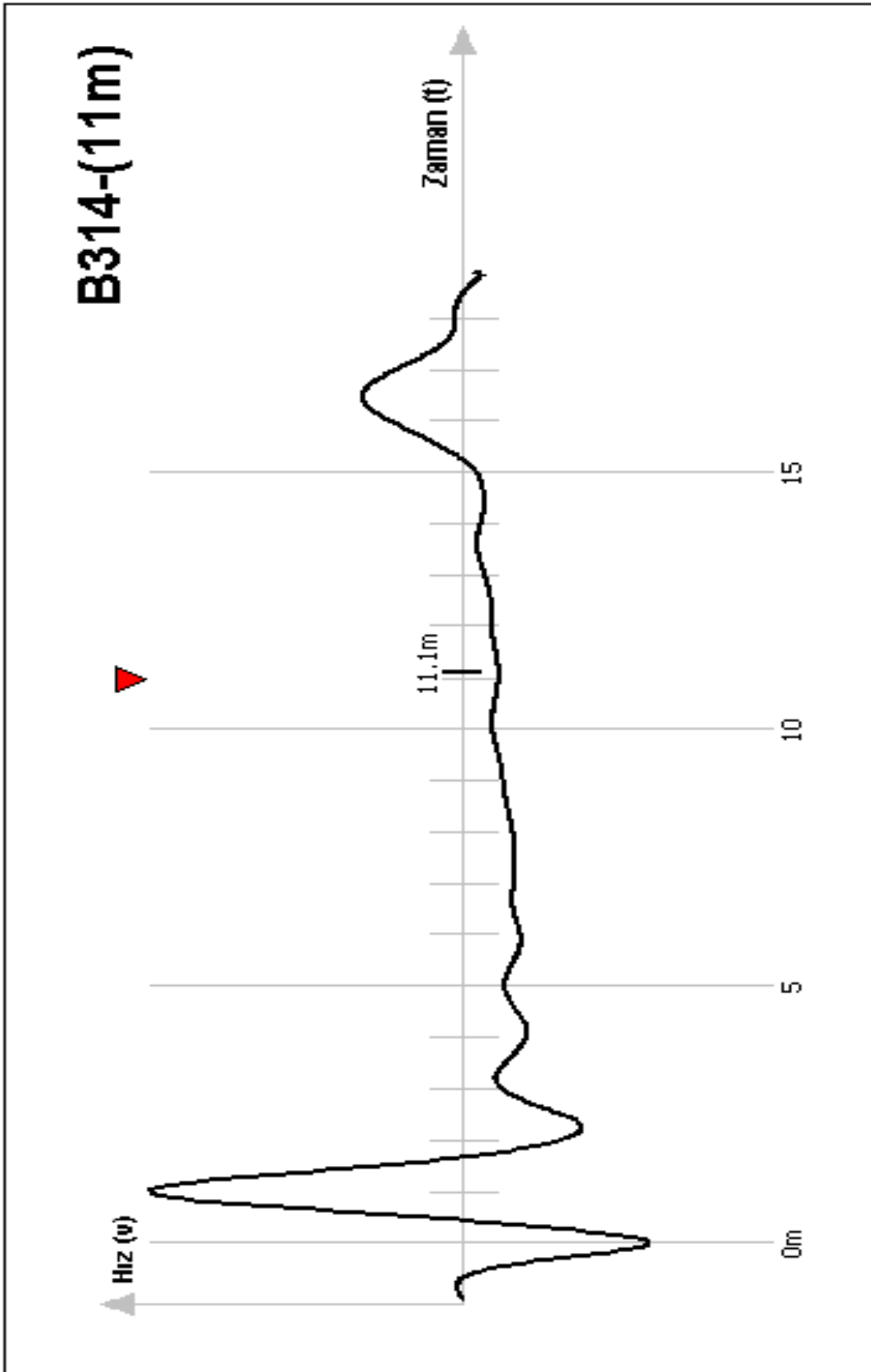


Şekil A15. B221 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

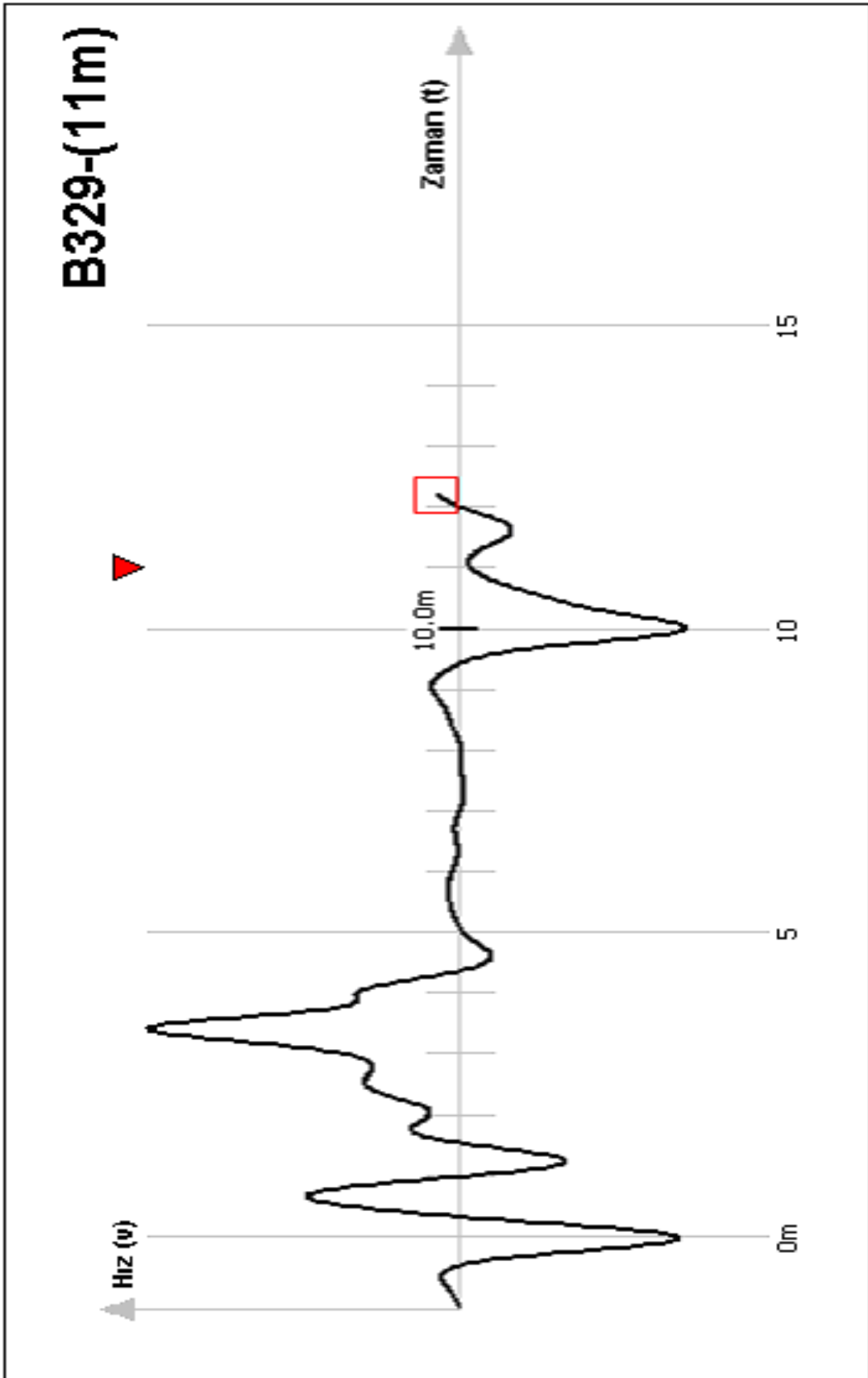




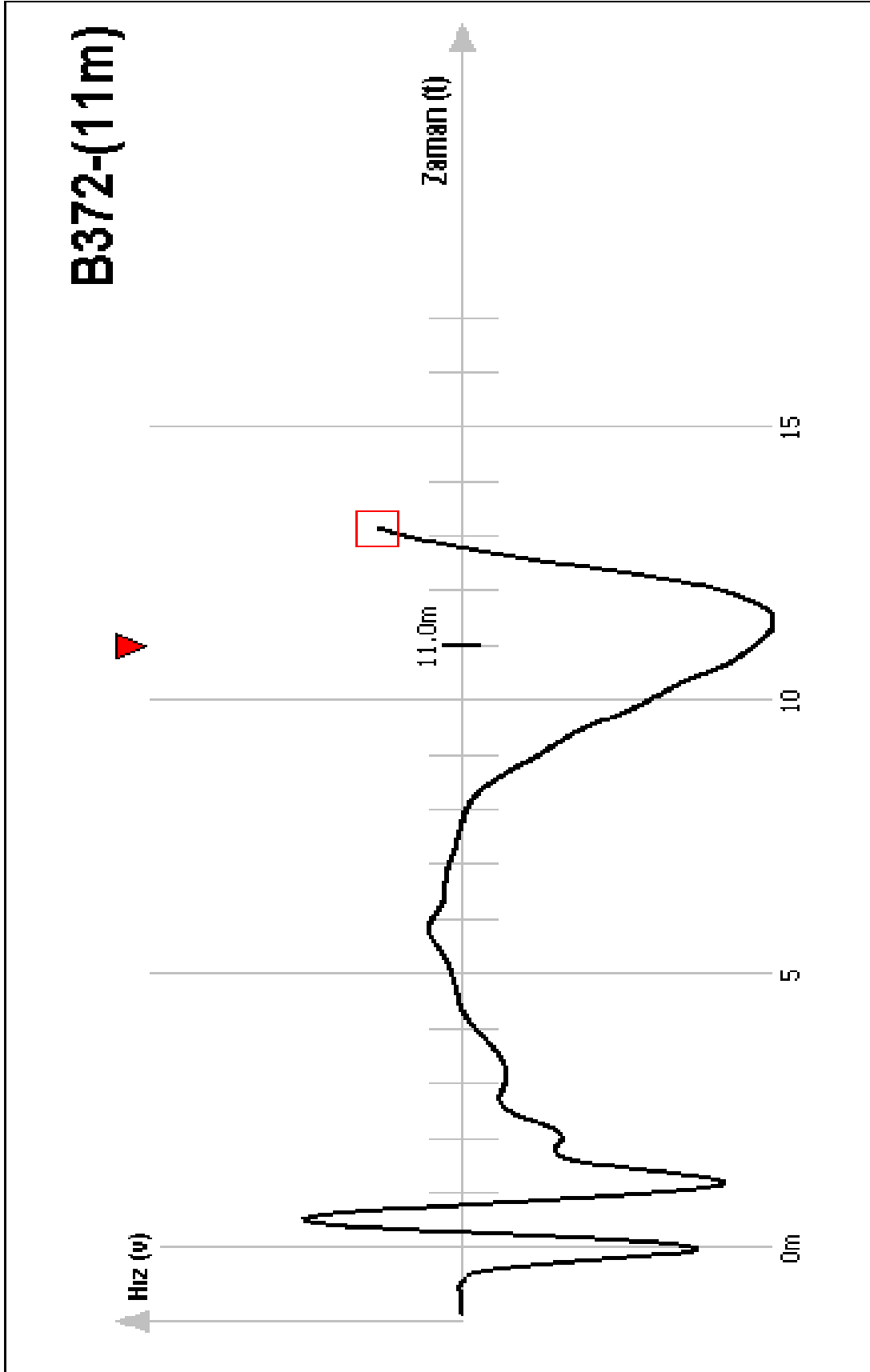
Şekil A16. B238 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



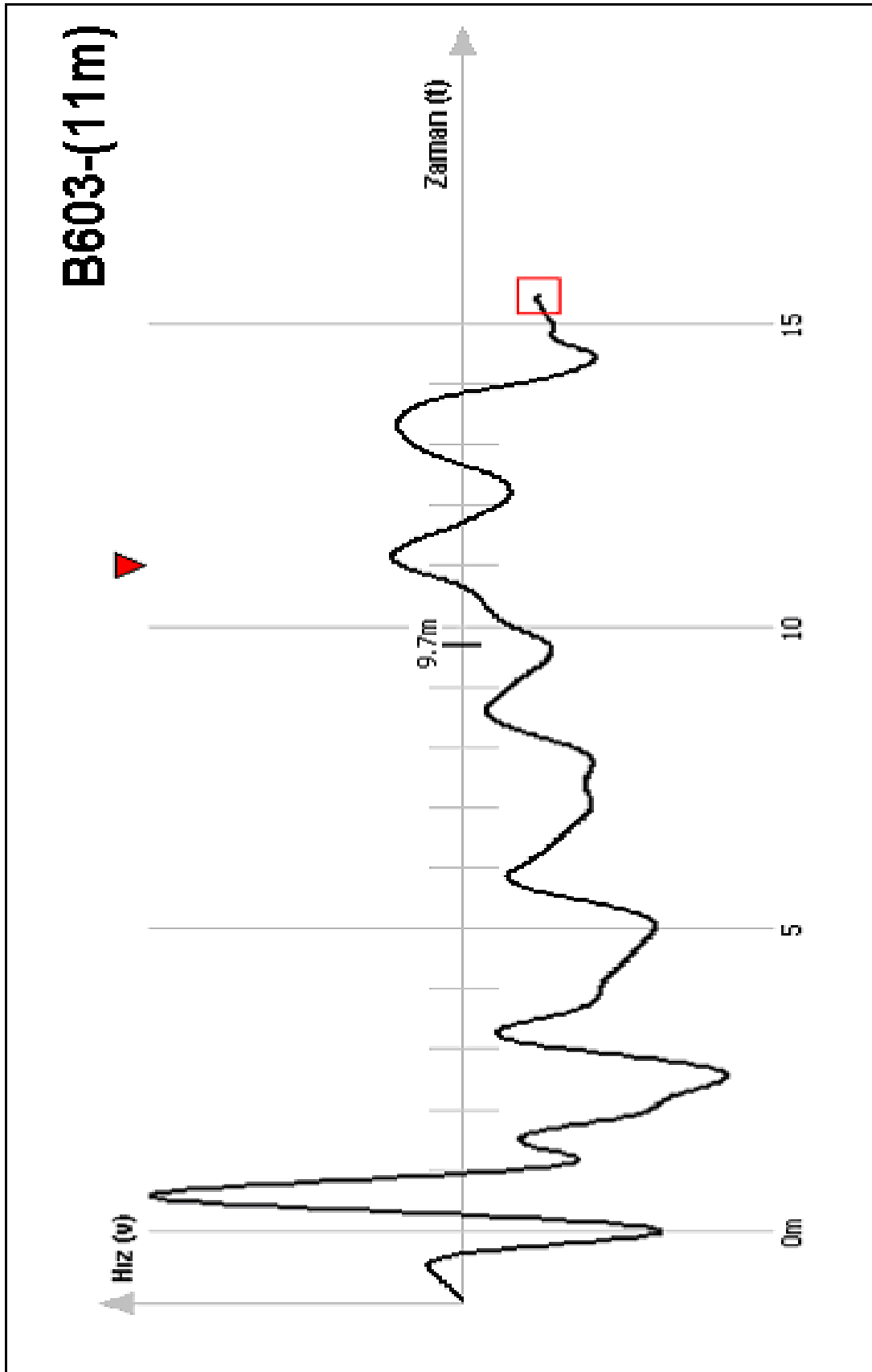
Şekil A17. B314 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



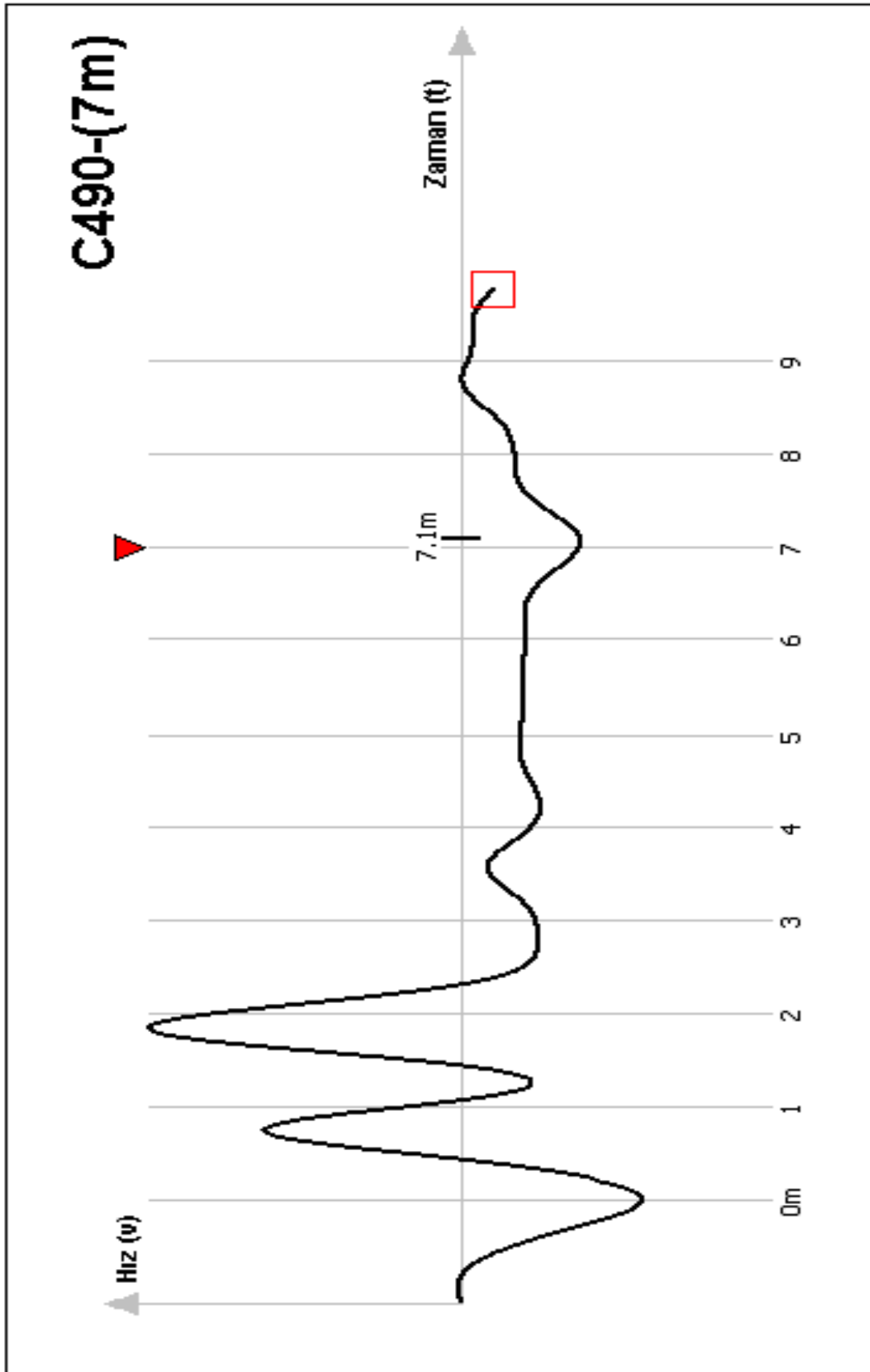
Şekil A18. B329 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



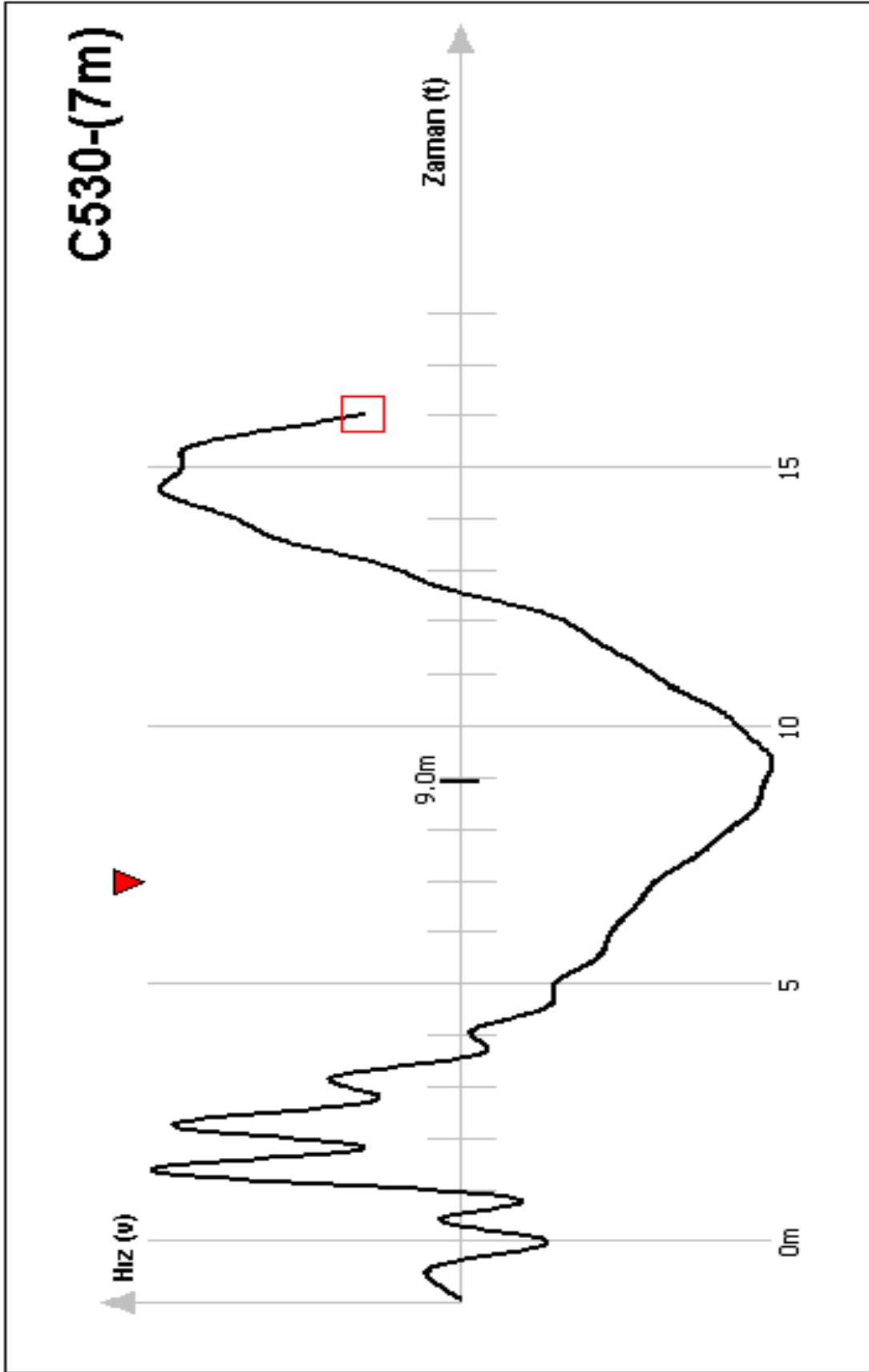
Şekil A19. B372 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



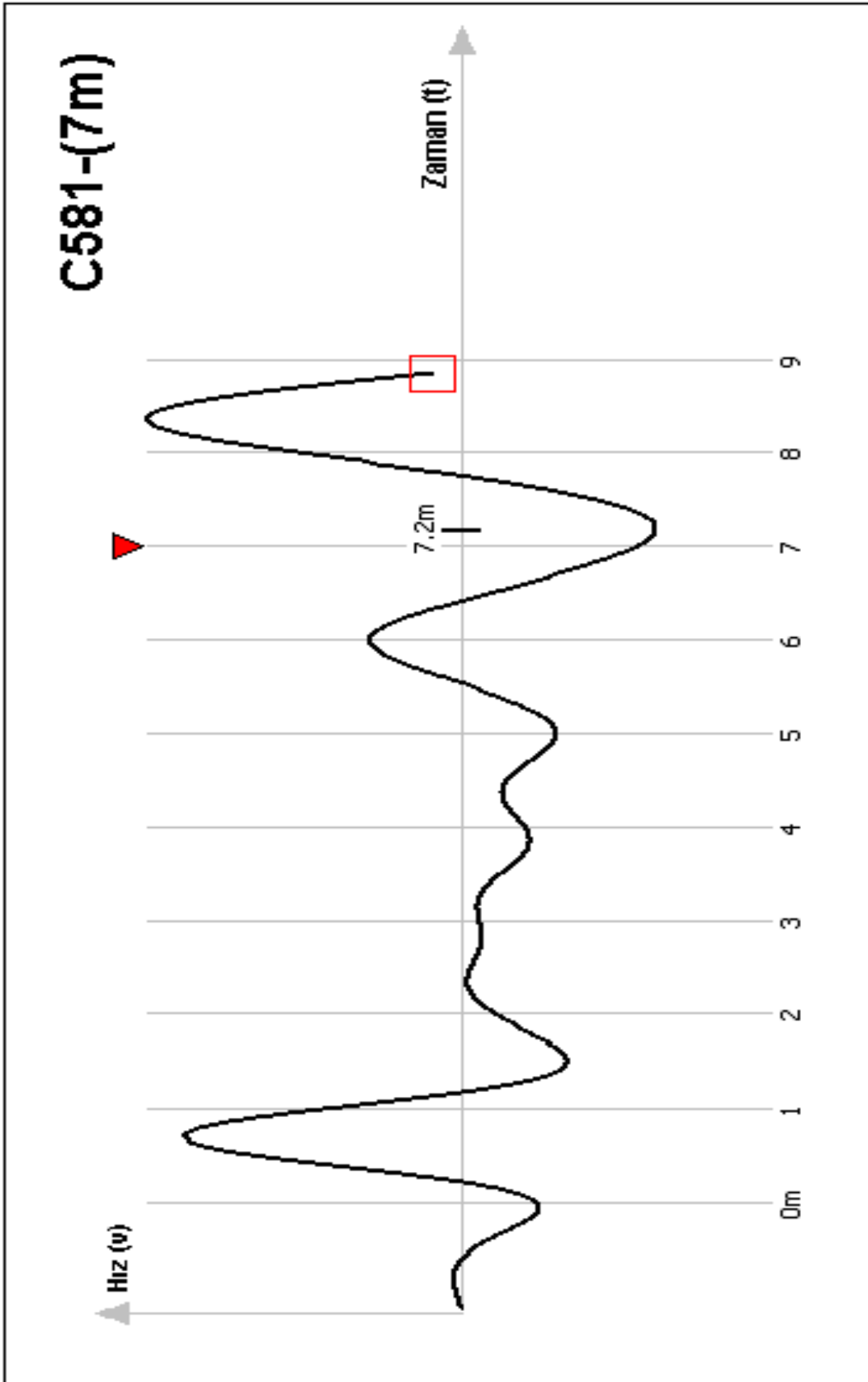
Şekil A20. B603 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



Şekil A21. C490 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

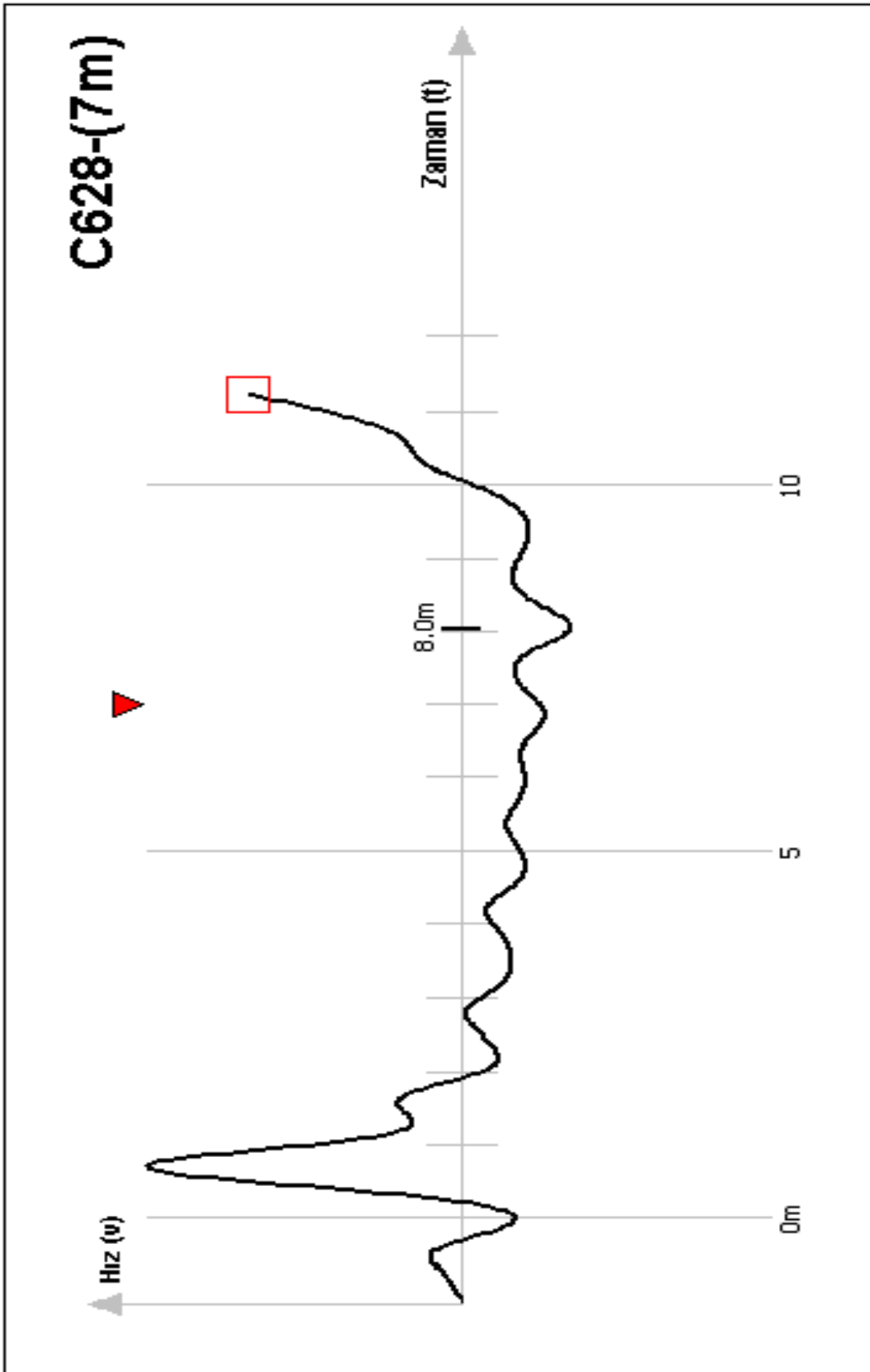


Şekil A22. C530 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

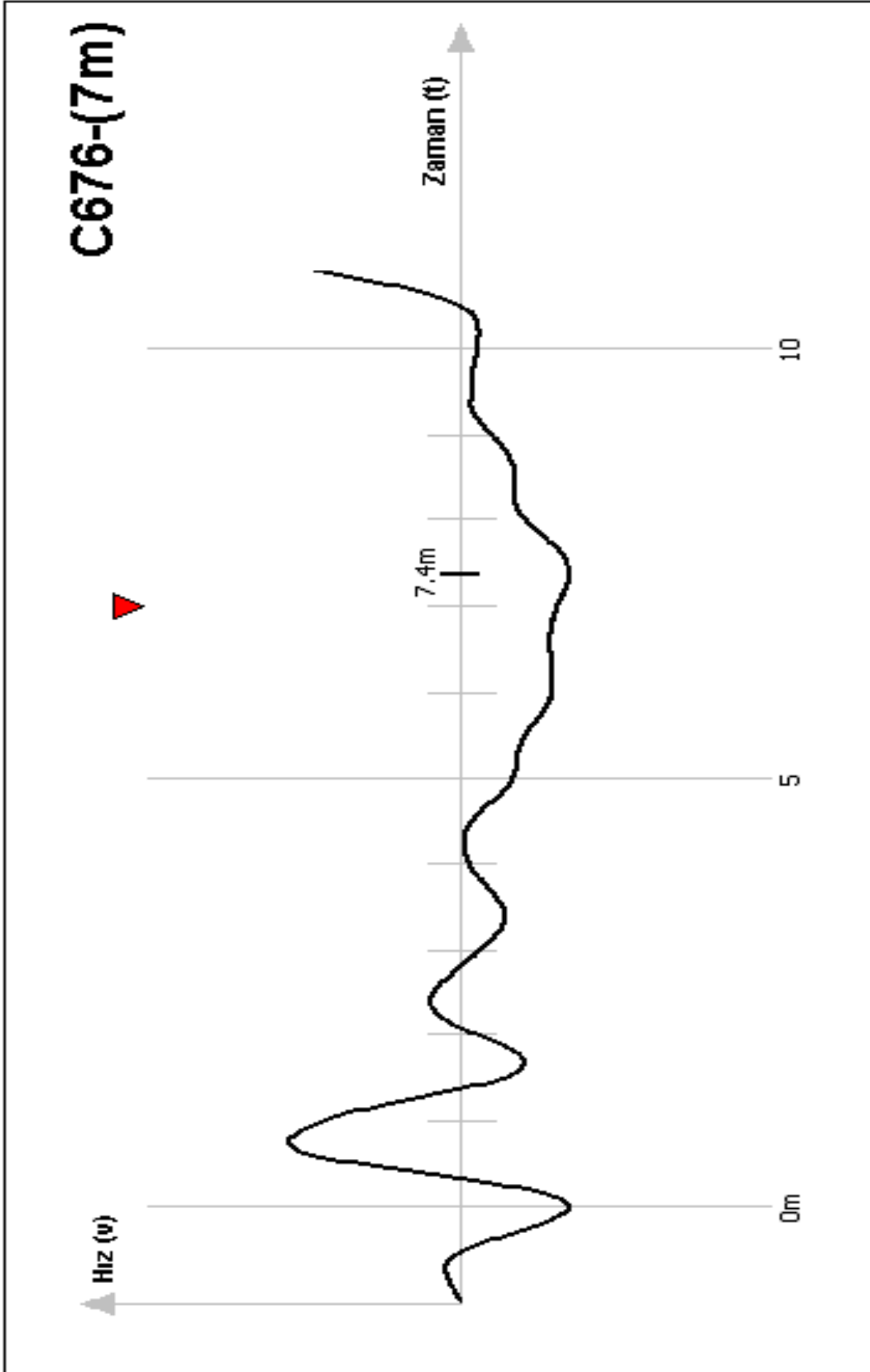


Şekil A23. C581 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

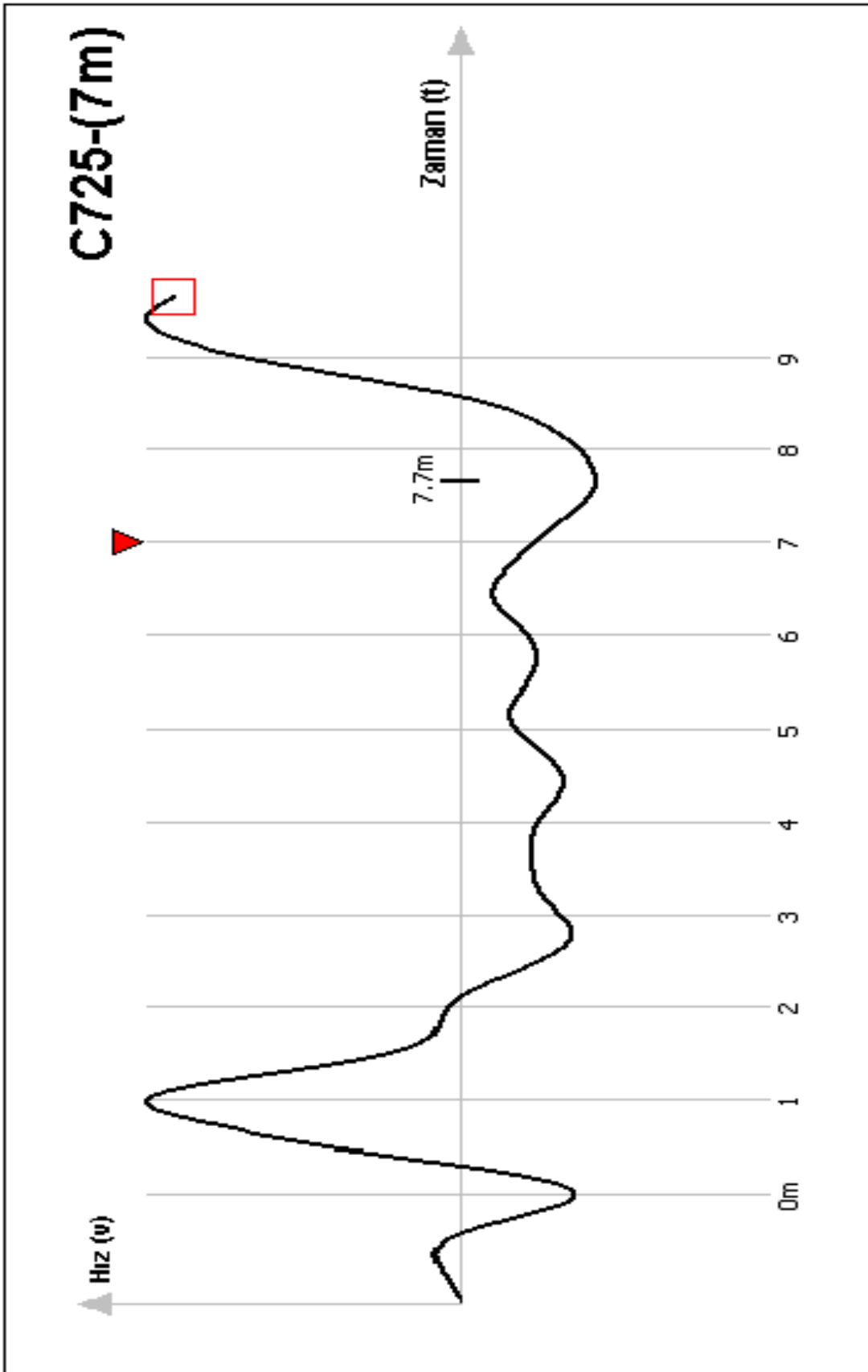




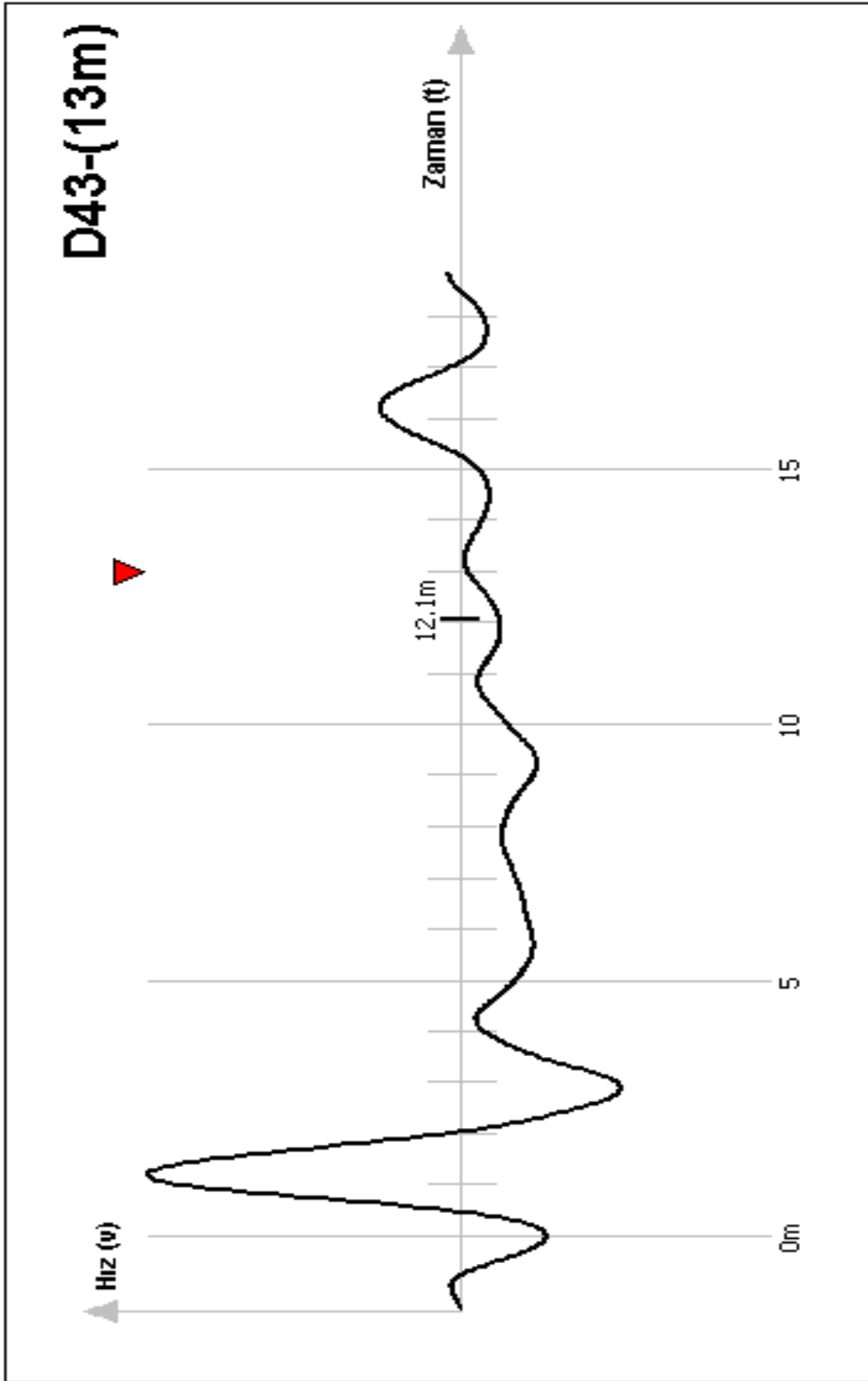
Şekil A24. C628 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



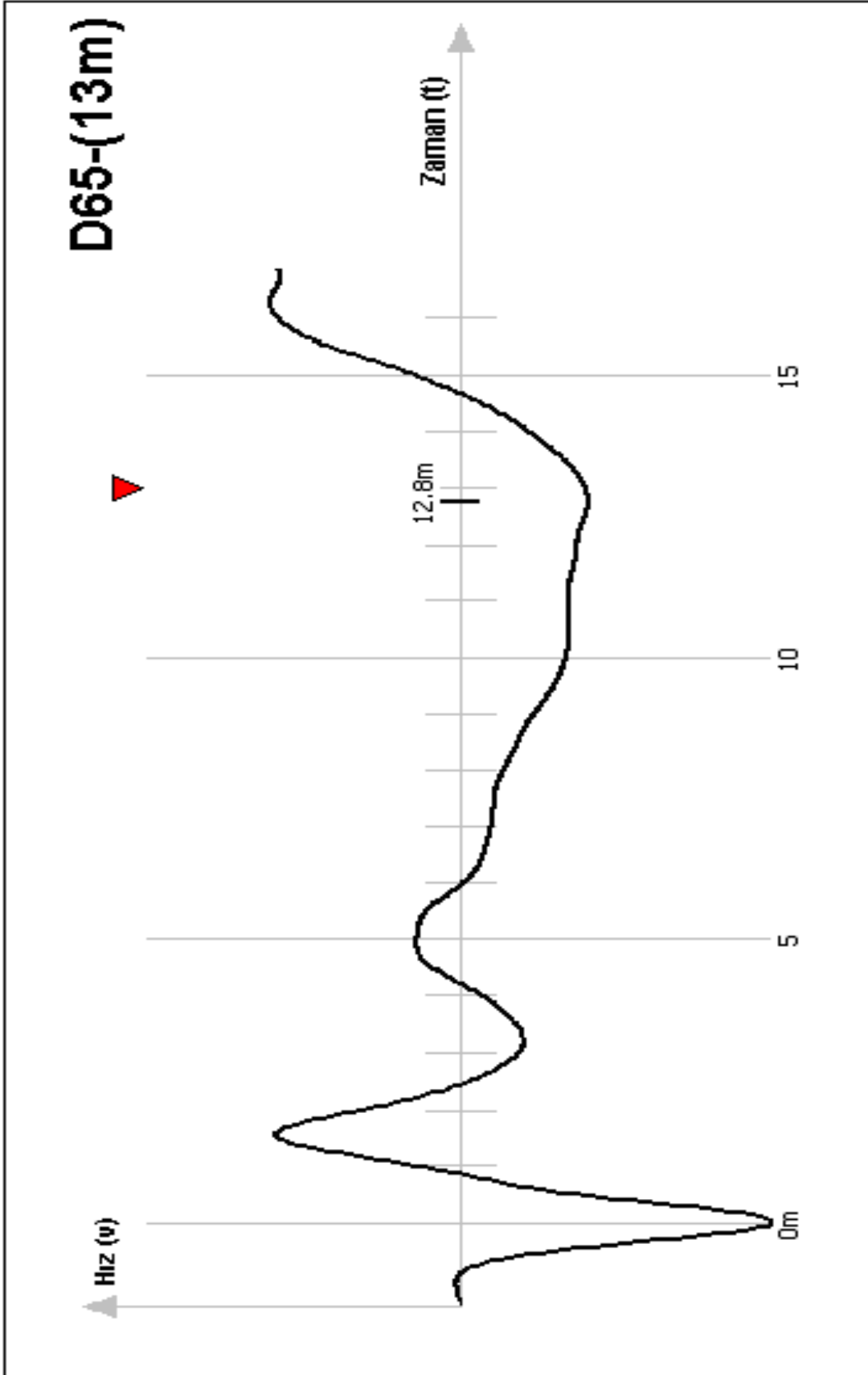
Şekil A25. C676 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



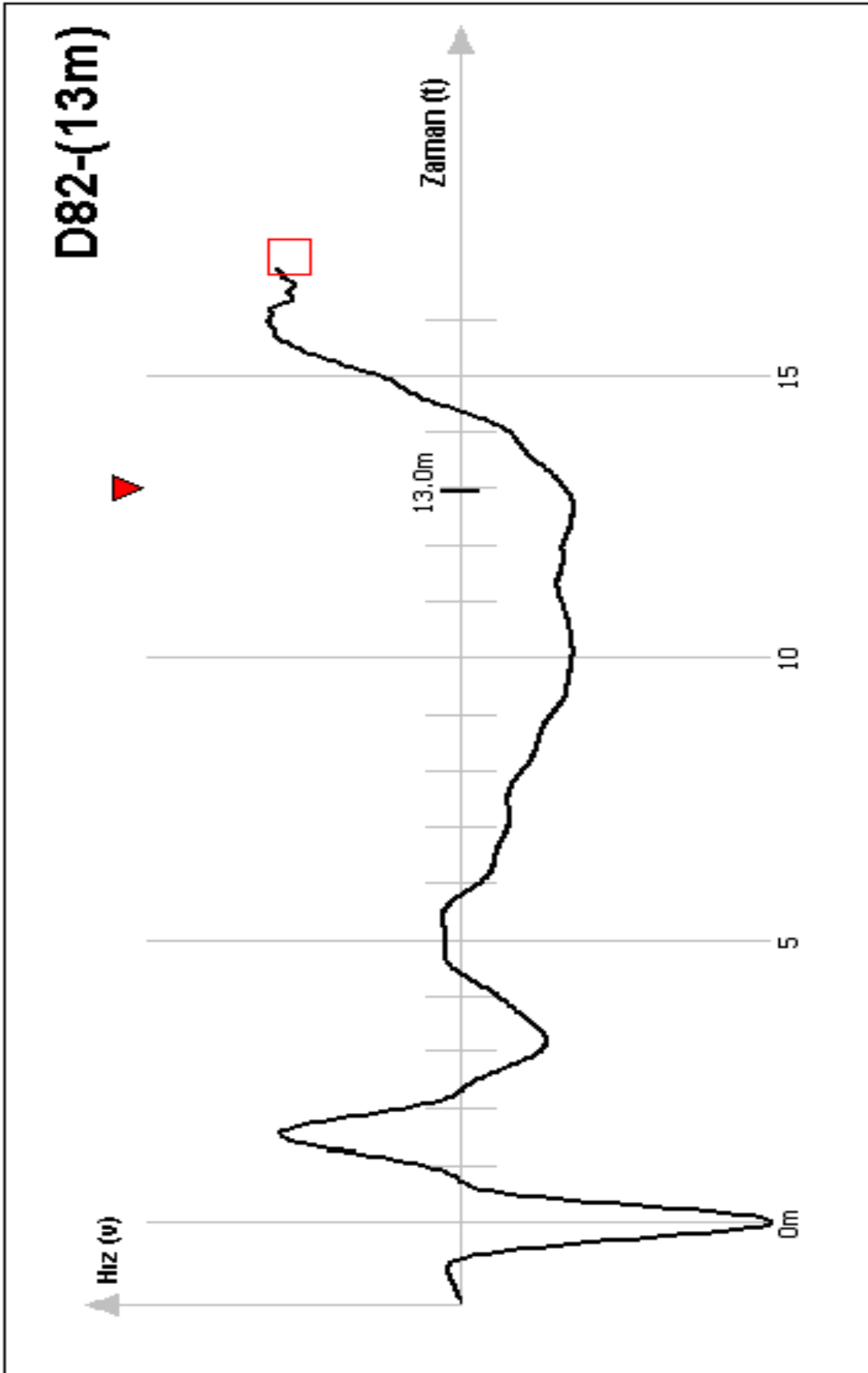
Şekil A26. C725 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



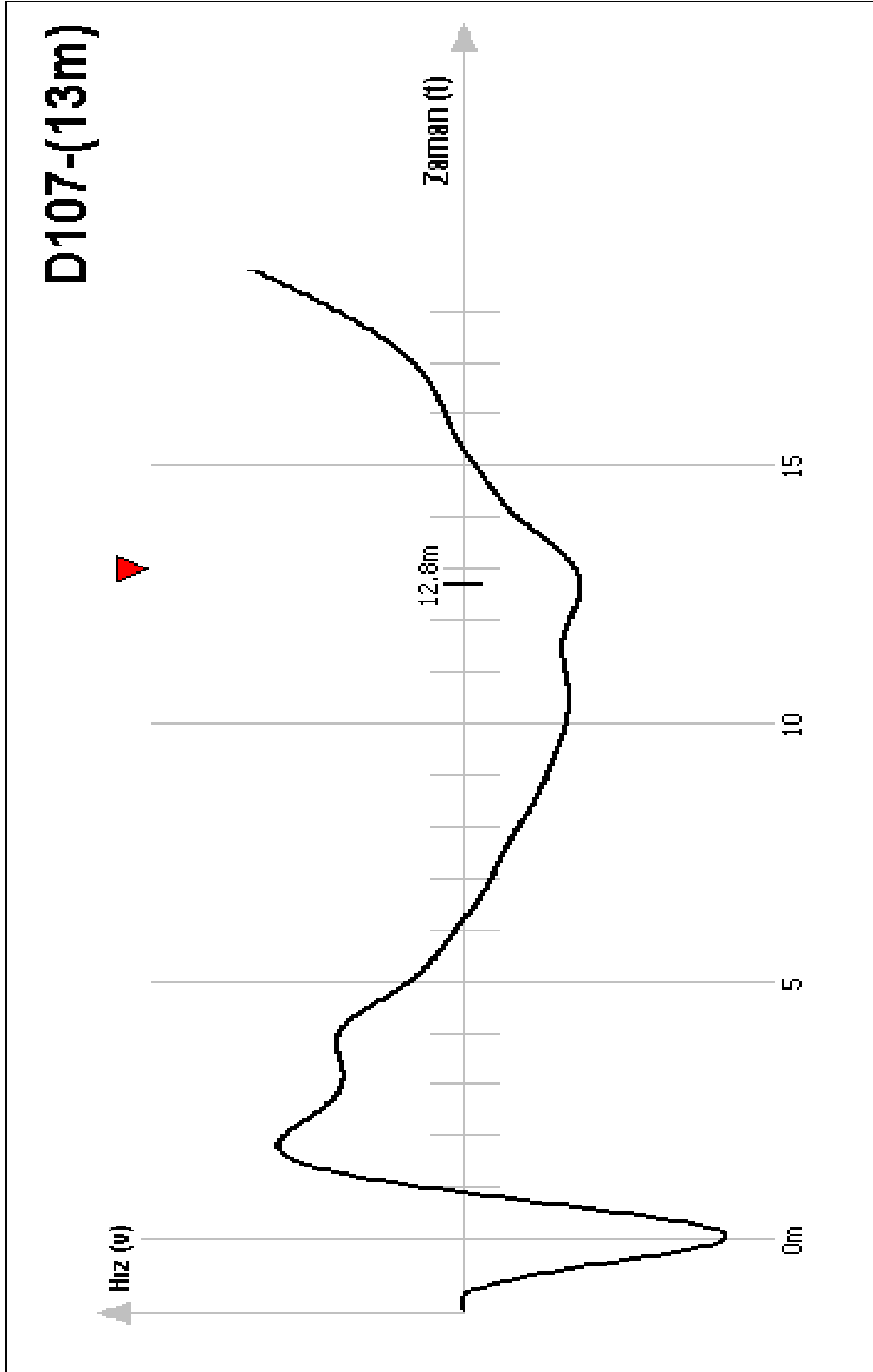
Şekil A27. D43 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



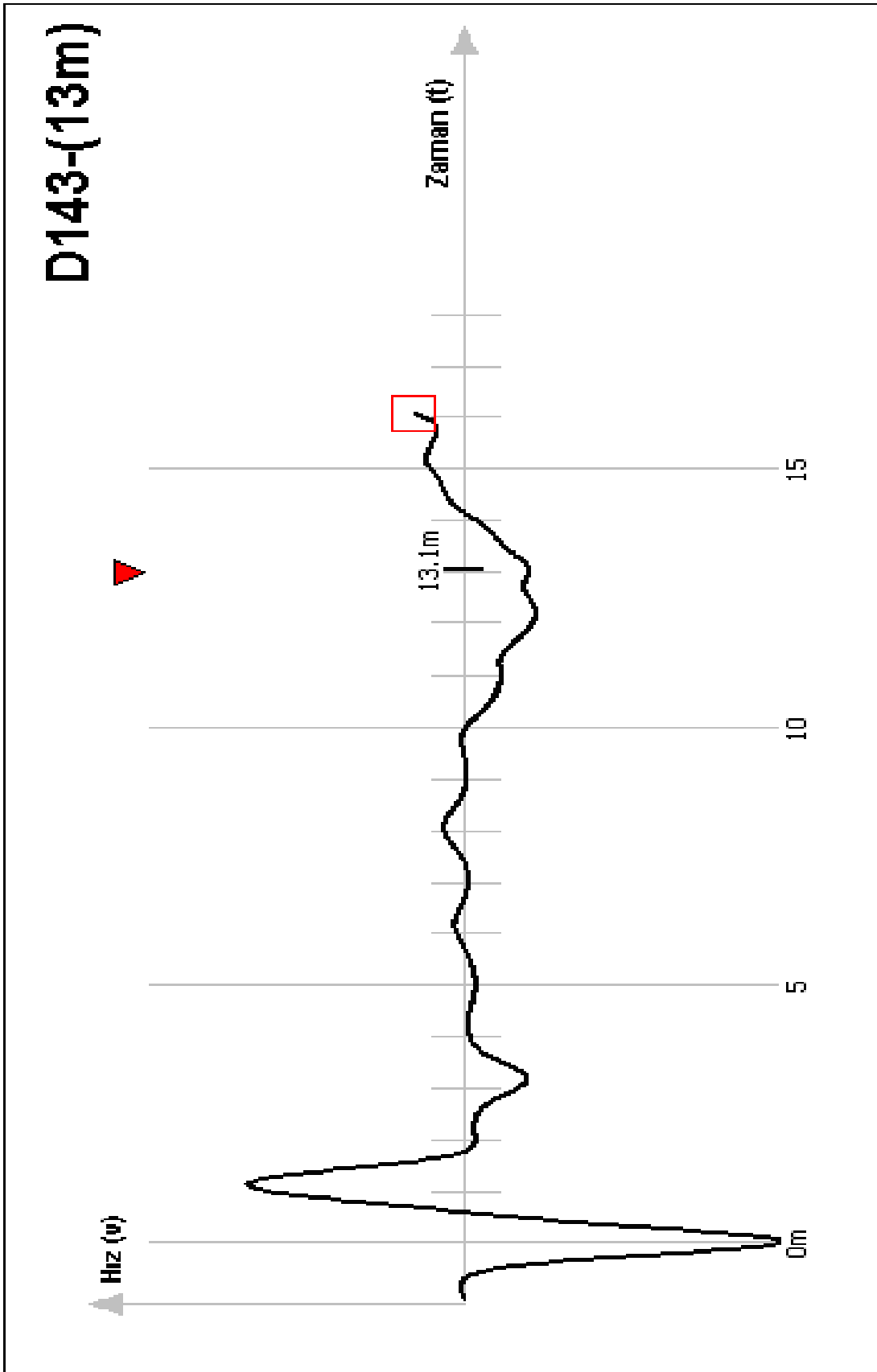
Şekil A28. D65 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



Şekil A29. D82 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

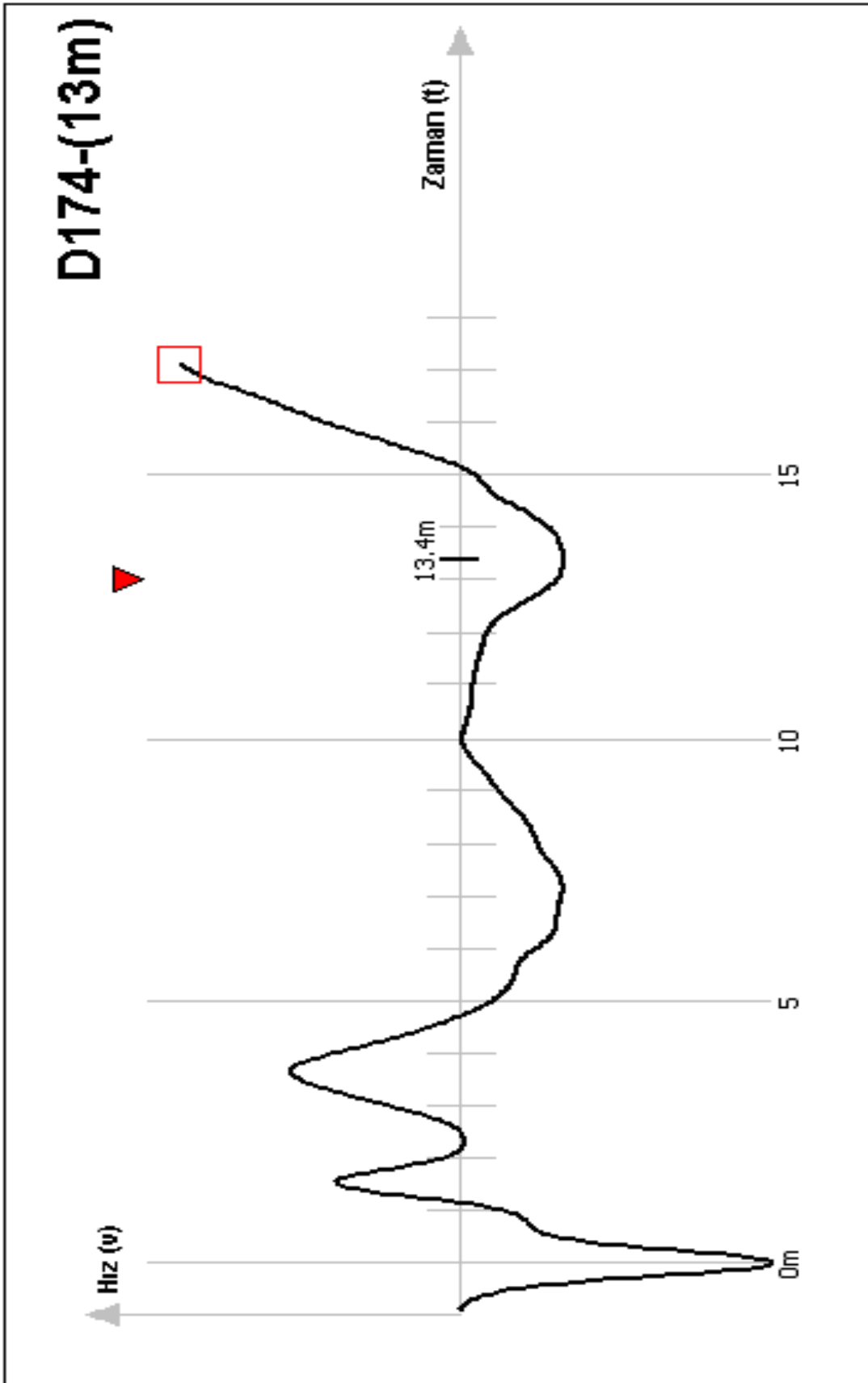


Şekil A30. D107 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

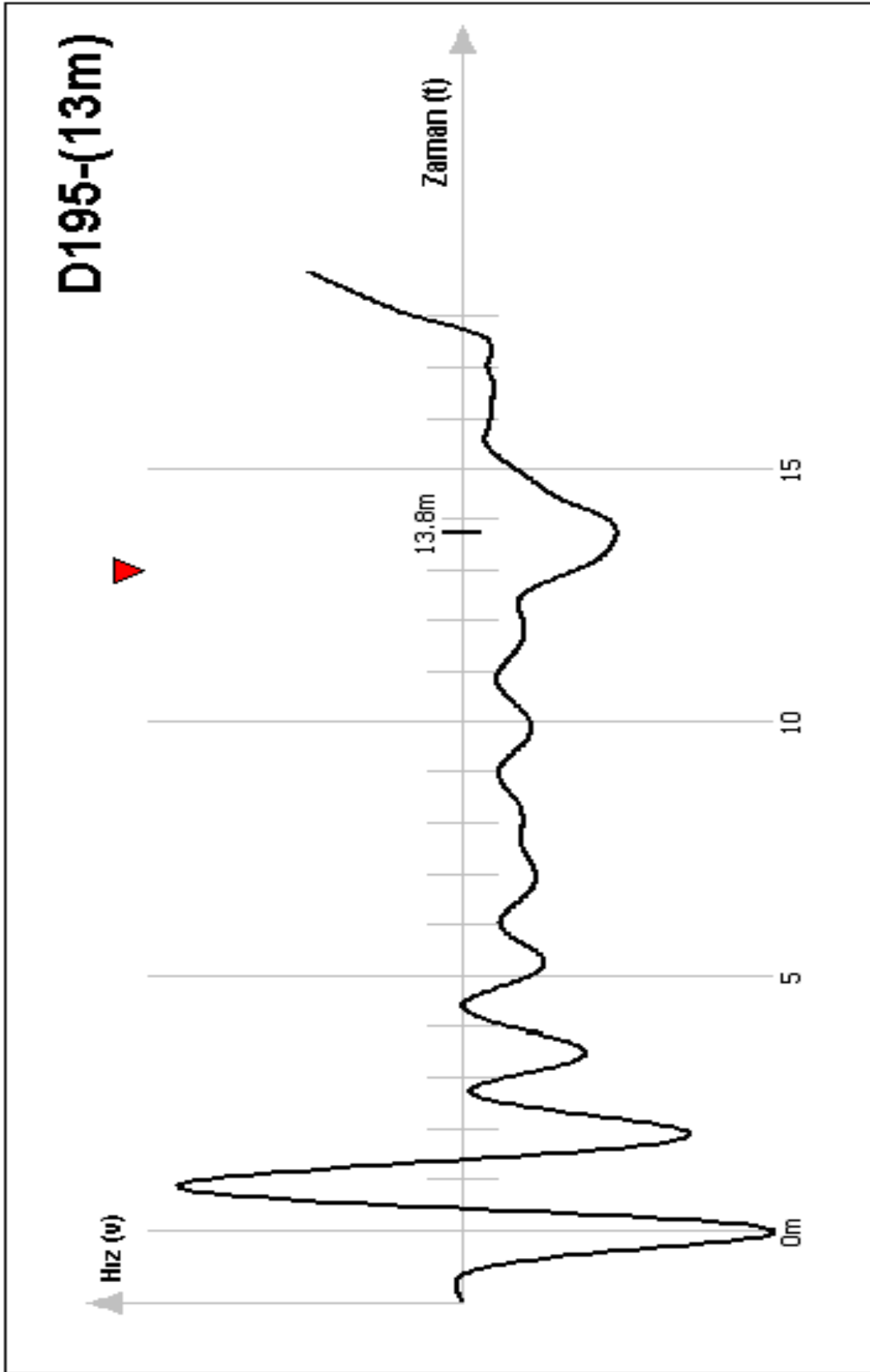


Şekil A31. D143 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

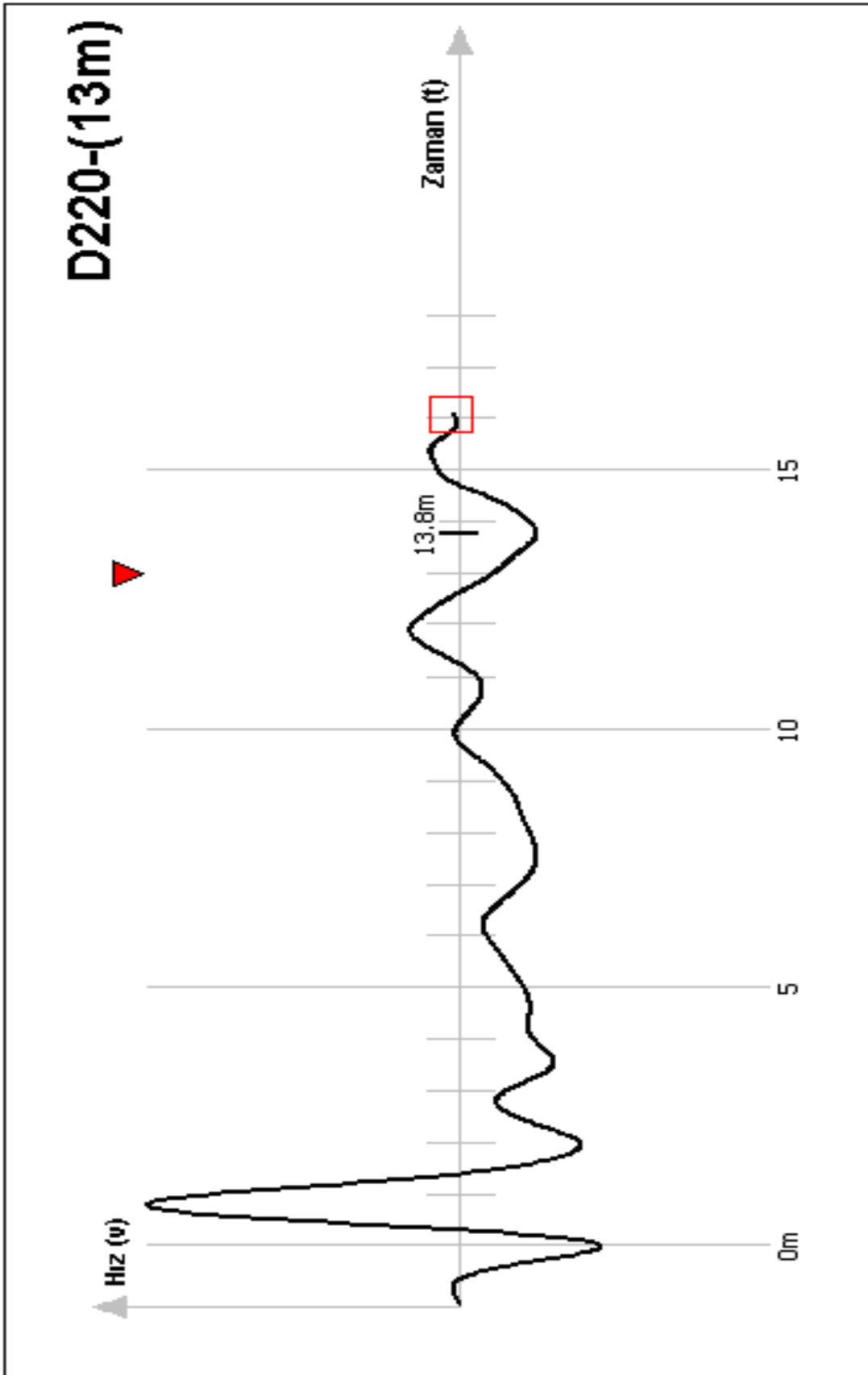




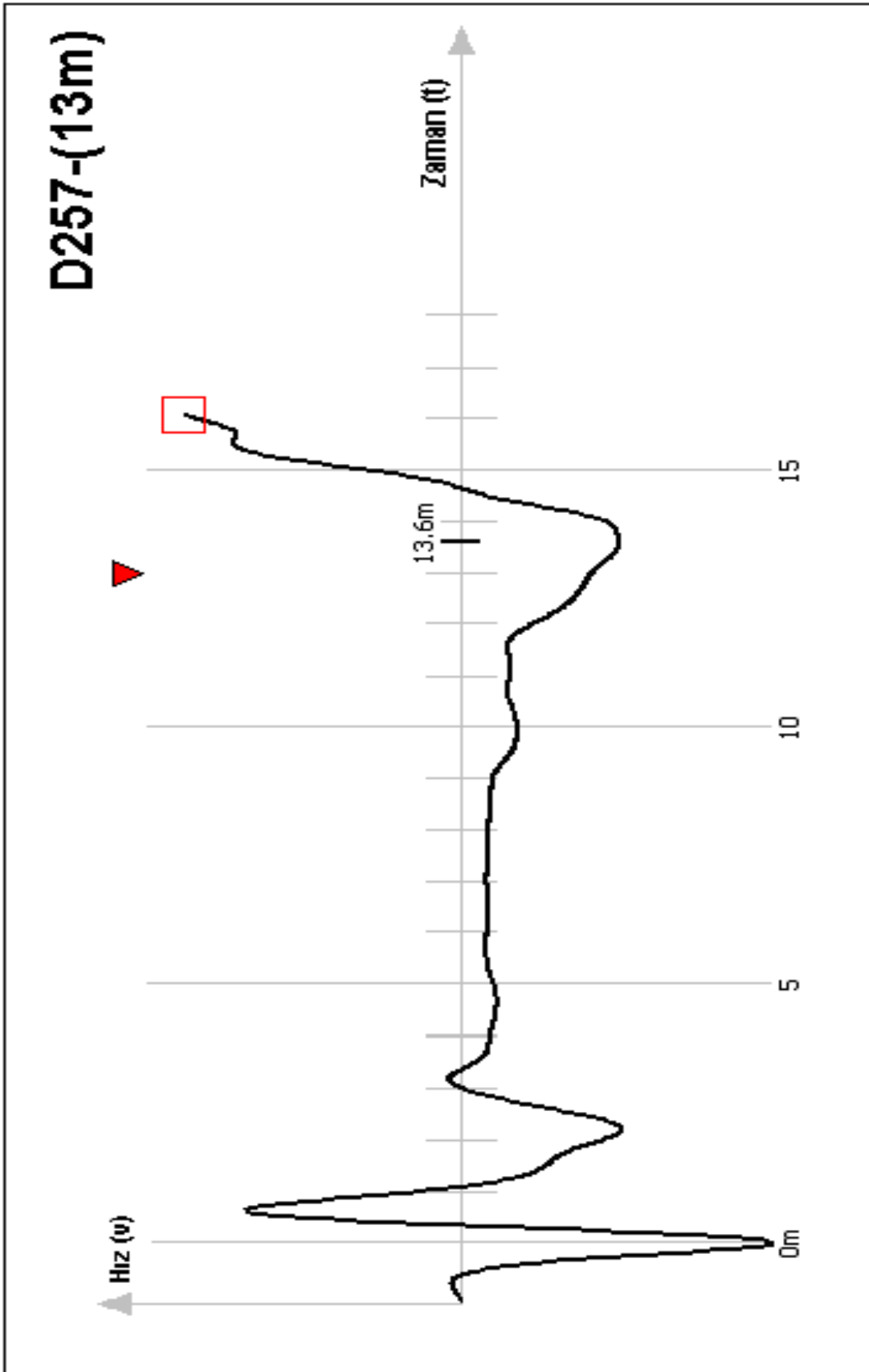
Şekil A32. D174 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



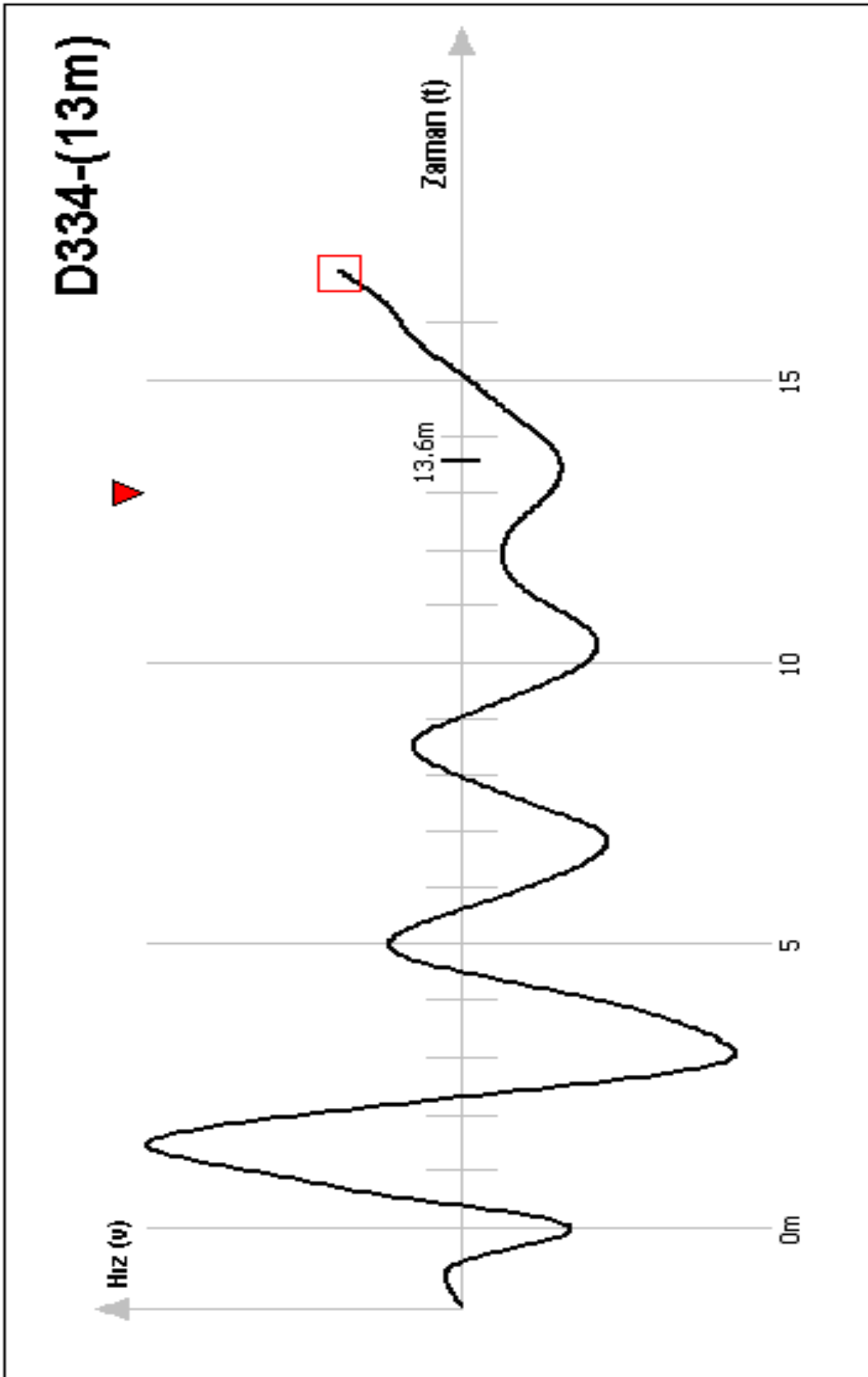
Şekil A33. D195 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



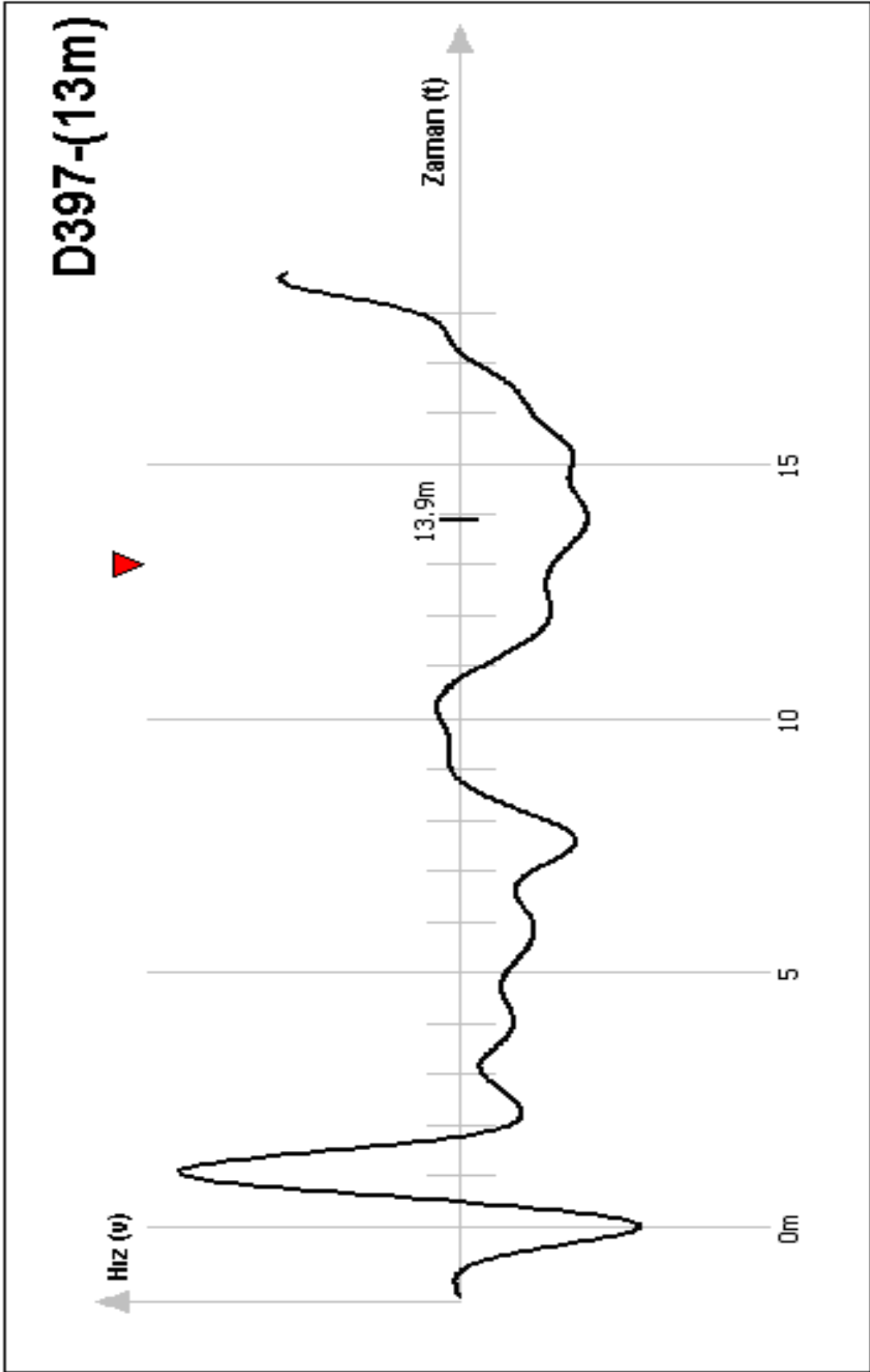
Şekil A34. D220 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



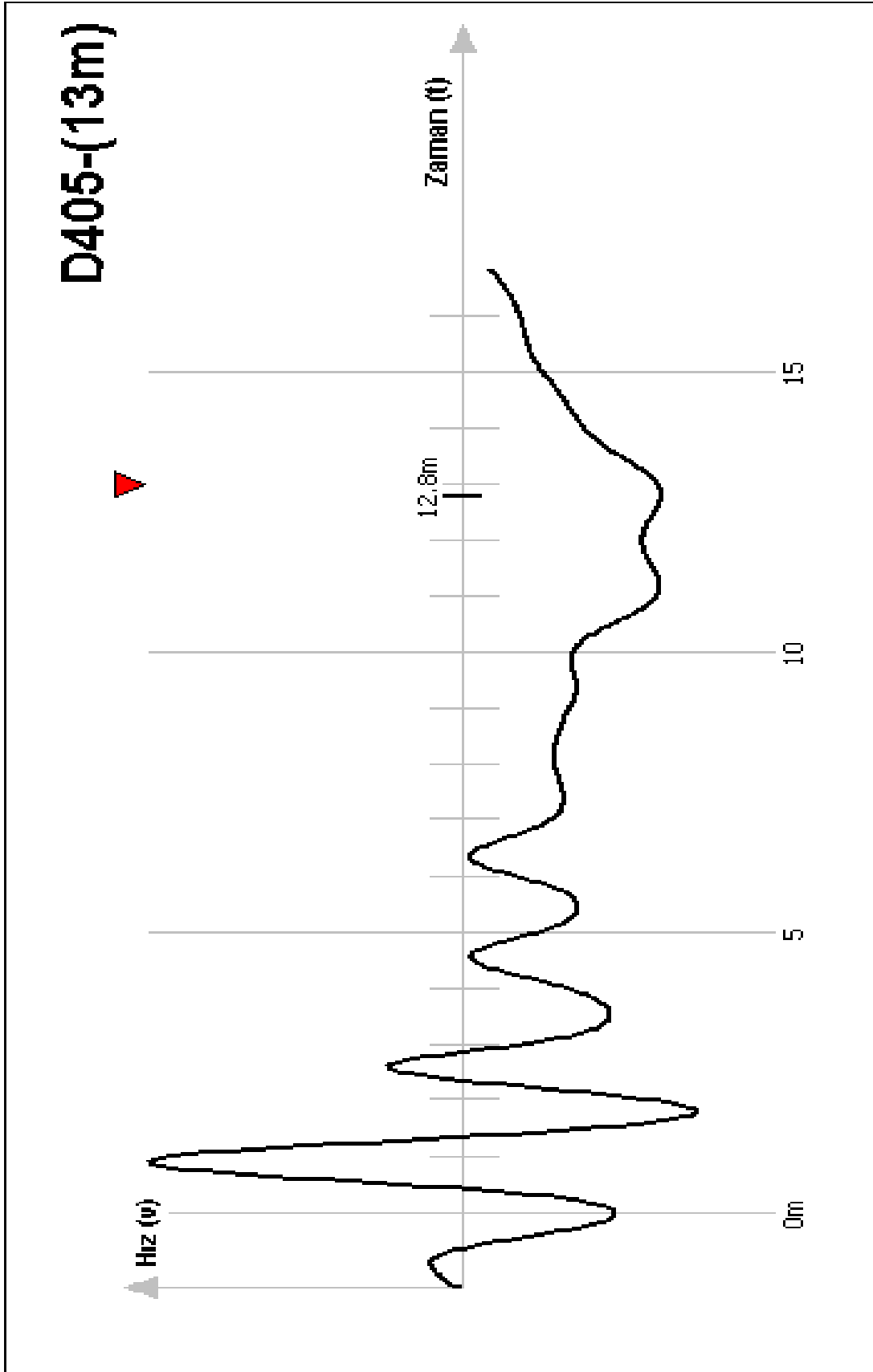
Şekil A35. D257 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



Şekil A36. D334 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

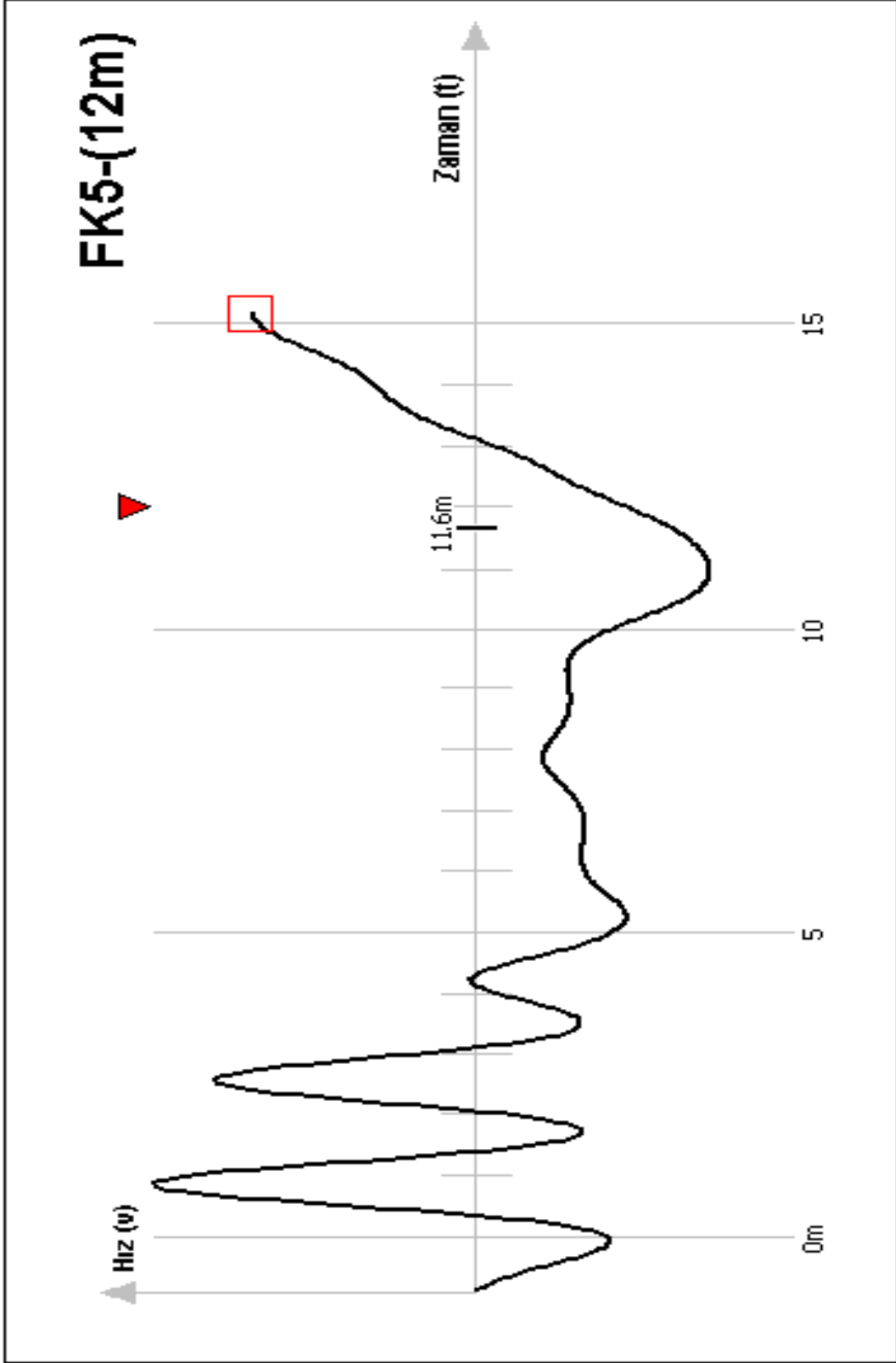


Şekil A37. D397 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



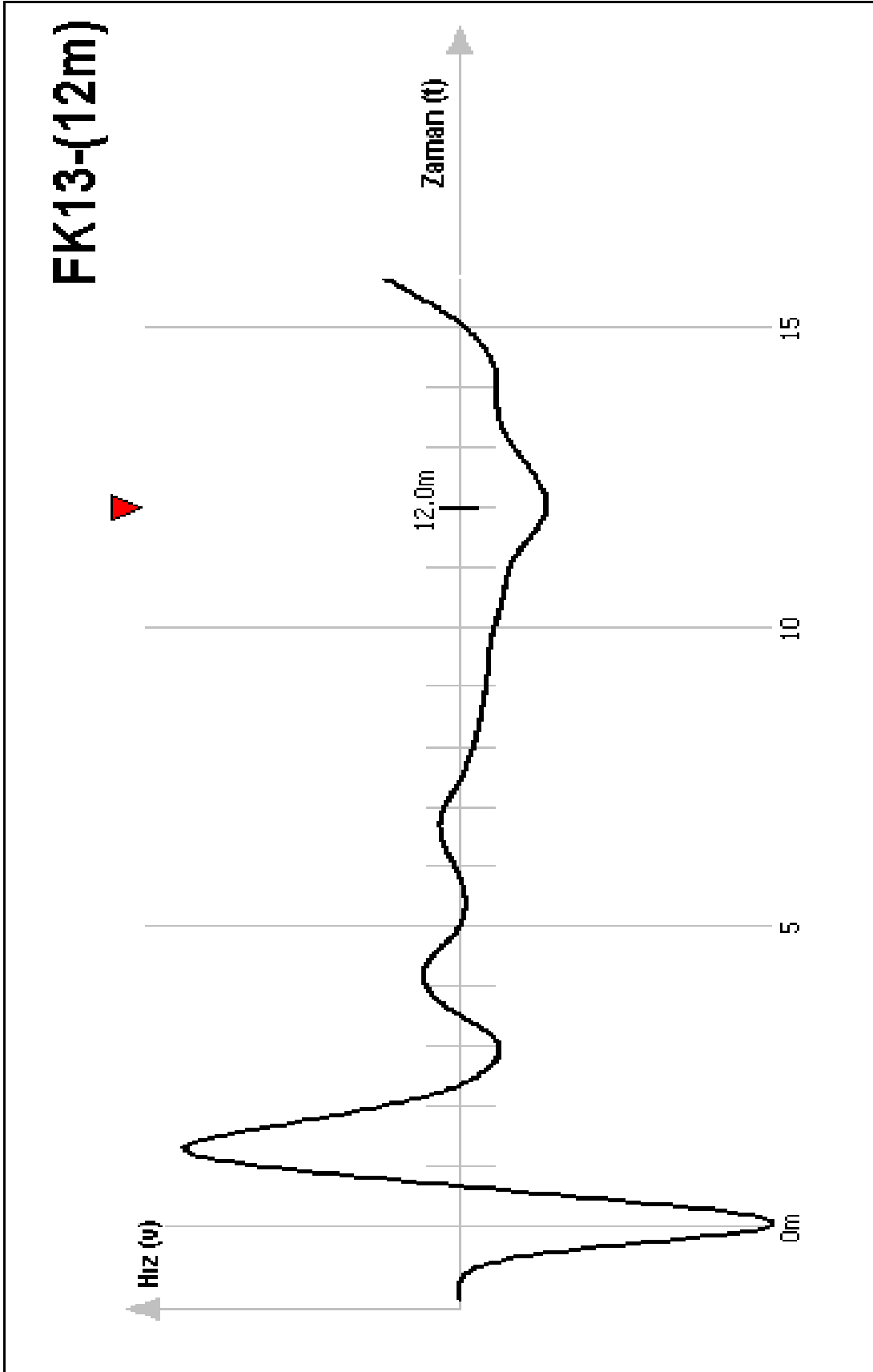
Şekil A38. D405 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

EK B

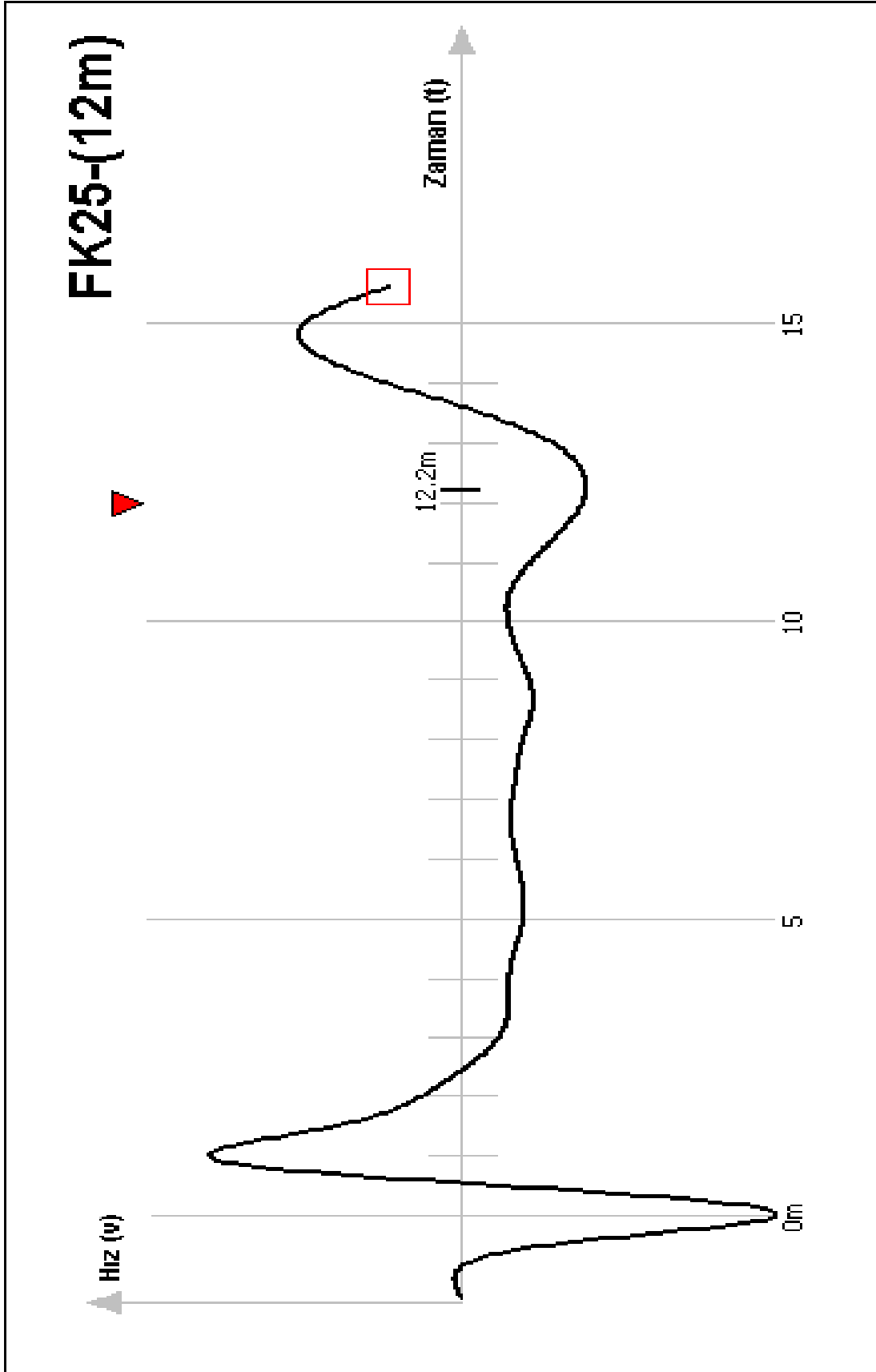


Şekil B1. FK5 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

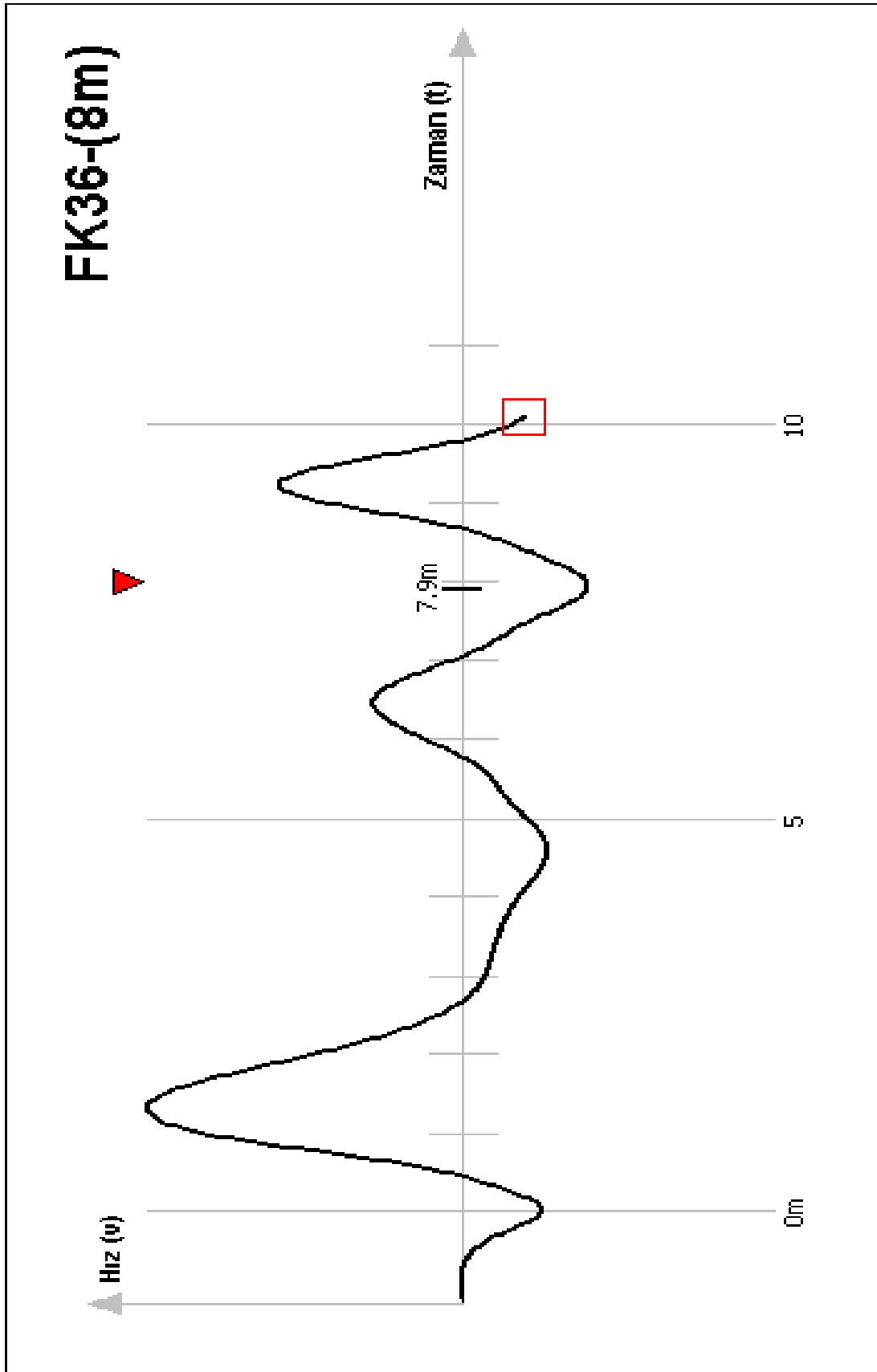




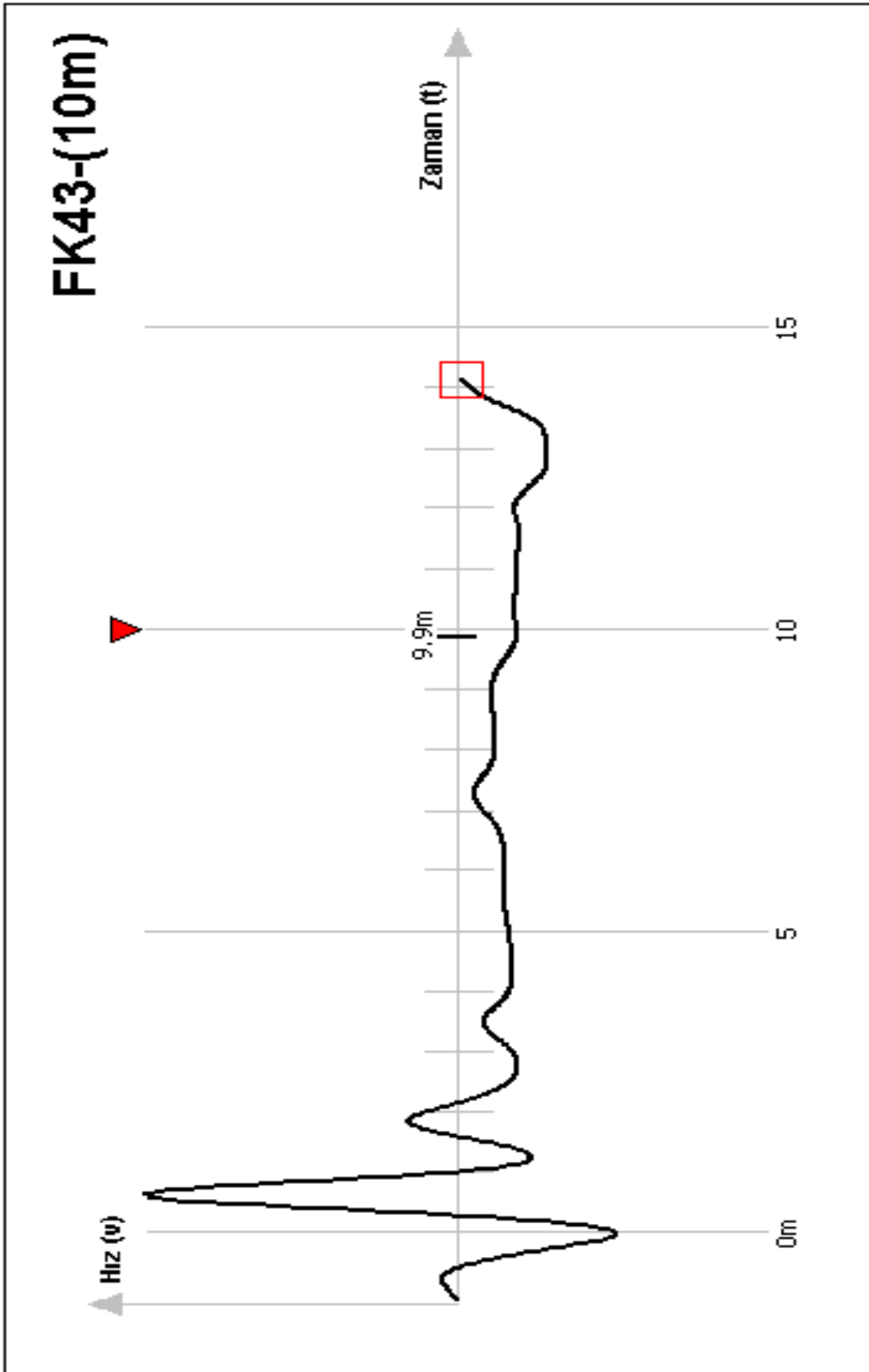
Şekil B2. FK13 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



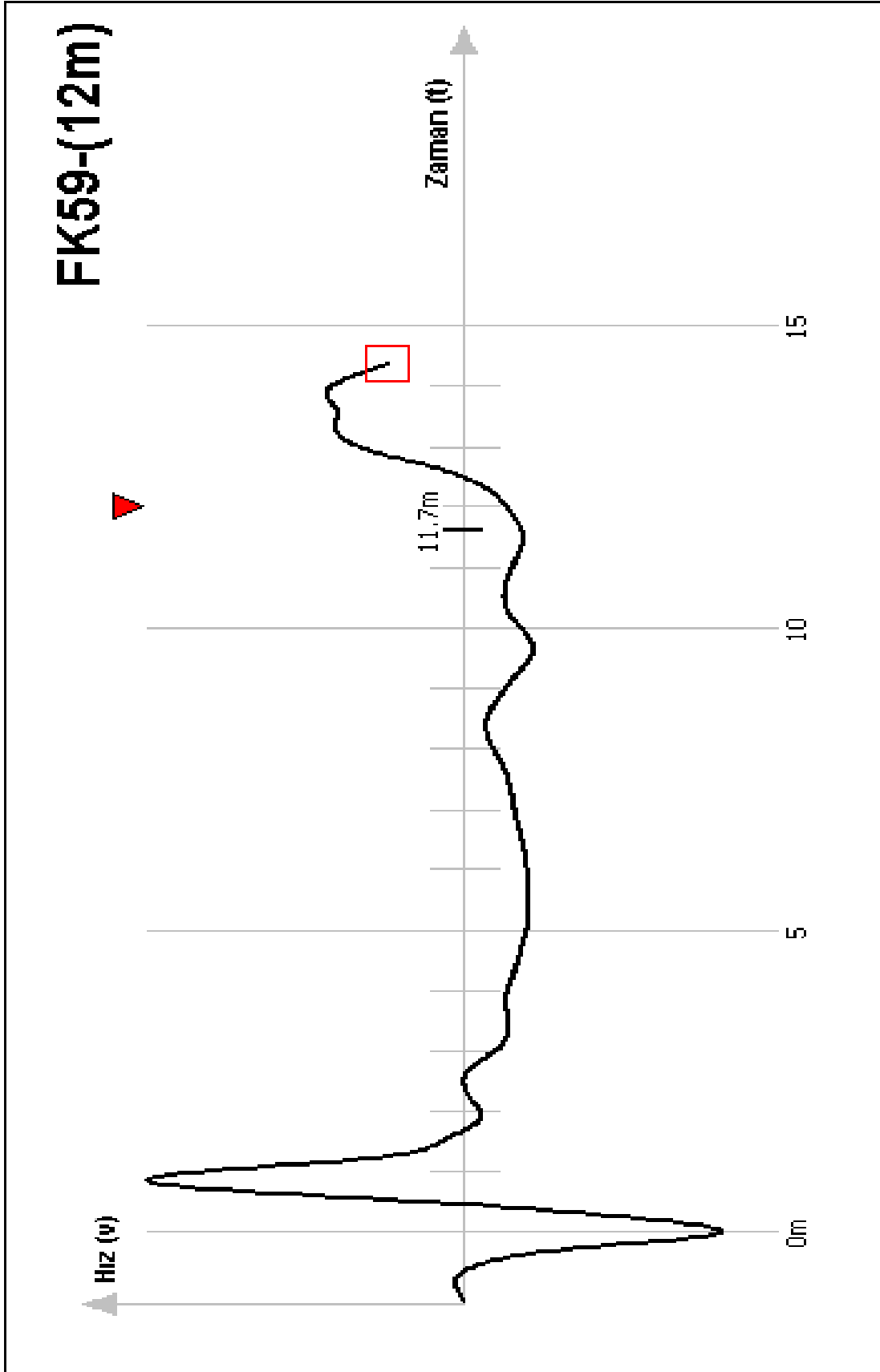
Şekil B3. FK25 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



Şekil B4. FK36 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



Şekil B5. FK43 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)



Şekil B6. FK59 numaralı kazığın hız-zaman grafiği görünümü (pile test)

## ÖZGEÇMİŞ

Ömer Faruk Salman, 13.10.1985 de İstanbul'da doğdu. İlk eğitimini Esenler' de, orta eğitimini Bağcılar' da ve lise eğitimini Bahçelievler' de tamamladı. 2003 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünden 2007 yılında mezun oldu. 2007 yılında GEOCON Zemin Uzmanları ve Mühendislik Ltd. Şti.nde mühendis olarak işe başladı ve çalışmaya devam etmektedir.