

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128717

DONATILI ZEMİN DUVAR TASARIMINDA
PARAMETRİK ANALİZLER

İnşaat Müh. Gürel GÖÇER

F.B.E. İnşaat Anabilim Dalı Geoteknik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı Yrd.Doc.Dr. Nejat Nuri ÇETİNKAYA

Prof. Dr. Kutay Özyıldırım
Y. Doc. Dr. Nejat N. Çetinkaya
Prof. Dr. Gökhan Baykal

İSTANBUL, 2002

128717

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	ii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel Kavram ve Terimler	3
1.2 Araştırmanın Kapsamı	4
2. DONATILI ZEMİN	5
2.1 Donatılı Zeminin Temel Mekanizması	5
2.2 Zemin Seçimi	6
2.3 Donatı Çeşitleri	9
2.3.1 Metal Donatı	9
2.3.2 Polimer Donatı	9
2.3.3 Geotekstil Donatılar	10
2.3.4 Geogridler	10
2.4 Donatılı Zeminin Mukavemet Özellikleri	10
3. DONATILI DUVAR TASARIMI	17
3.1 Giriş	17
3.2 Harici Denge	18
3.2.1 Kayma güvenliği	18
3.2.2 Devrilme güvenliği	20
3.2.3 Taban basıncı güvenliği	20
3.2.4 Genel stabilite güvenliği	21
3.3 Dahili Stabilite	22
3.3.1 Kopma göçmesi	24
3.3.2 Kama / Sıyırılma göçmesi	29
4. TASARIM METODLARININ İNCELENMESİ	31
4.1 Sayısal Analiz	33
5. PARAMETRİK ANALİZ	41
5.1 Farklı Yüksekliklerdeki Donatılı Zemin Duvarlara Ait Sayısal Analiz.....	41
5.1.1 Geri Bağ – Kama analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki.....	41
5.1.2 Uygun ağırlık analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki.....	57
5.2 Donatı Aralıkları Farklı Duvarların Sayısal Analizi.....	62
5.2.1 Geri Bağ – Kama analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki.....	62
5.2.2 Uygun ağırlık analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki.....	68
5.3 Sürşarj Yükünün Duvar Parametreleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi	70
5.3.1 Geri Bağ – Kama analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki.....	70

5.3.2	Uygun ağırlık analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki.....	76
5.4	İçsel Stabilité Analizi Bilgisayar Programı.....	78
5.4.1	Geri Bağ – Kama analizi yöntemi programı.....	78
5.4.2	Uygun ağırlık analizi yöntemi programı.....	82
6.	MALİYET ANALİZİ.....	84
6.1	Maliyet Kalemleri.....	84
6.2	Donatı Diziliminin Maliyet Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	85
6.3	Duvar Dolgusu Özelliklerinin Maliyet Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	87
6.4	Sürşarj Yükünün Maliyet Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	88
6.5	Donatılı Zemin Duvarların Maliyet Azaltıcı Etkisi Üzerine Bir Örnek	88
7.	SONUÇLAR	89
	KAYNAKLAR	98
	EKLER	99
	Ek 1 GERİ BAĞ – KAMA ANALİZİ ABAK ve GRAFİKLERİ.....	100
	Ek 2 UYGUN AĞIRLIK ANALİZİ ABAK ve GRAFİKLERİ.....	117
	ÖZGEÇMİŞ	135

SİMGE LİSTESİ

C	Kohezyon Katsayısı
C _U	Zemin Üniformaluk Katsayısı
D _R	Relatif Sıkılık
D ₁₀	Zemin İçindeki Danelerin %10'nun daha küçük olduğu çap değeri
γ	Zemin Birim Hacim Ağırlığı
Φ	Zemin Kayma Mukavemeti Açısı
H	Donatılı Duvar Yüksekliği
K _a	Aktif Yanal Toprak Basıncı Katsayısı
L _e	Donatı Ankraj Uzunluğu
L _R	Aktif (Rankine) Bölge Uzunluğu
L	Toplam Donatı Uzunluğu
μ	Zemin Sürtünme Katsayısı
q	Sürşarj Yüğü
q _a	İzinverilebilir zemin emniyet gerilme değeri
S _H	Donatı Yatay Aralığı
S _V	Donatı Düşey Aralığı
σ_1	Asal gerilme değeri
σ_3	Yanal gerilme değeri
z	Donatı derinliği

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Donatılı duvar elemanları.....	2
Şekil 1.2	Geotekstil ile güçlendirilmiş duvar.....	3
Şekil 1.3	Ağ tipi güçlendirme.....	4
Şekil 2.1	Donatılı zemine ait birkaç uygulama alanı.....	6
Şekil 2.2	Donatılı zemin temel mekanizması.....	7
Şekil 2.3	Donatılı ve donatısız numunelerin gerilme – şekil değiştirme davranışı.....	12
Şekil 2.4	Donatılı ve donatısız numunelerin mukavemet zarfları.....	12
Şekil 2.5	Deney numuneleri donatı yerleşim biçimi.....	13
Şekil 2.6	Mohr göçme zarfı.....	13
Şekil 2.7	Deney numuneleri donatı yerleşim biçimi.....	15
Şekil 3.1	Harici stabilite analizindeki göçme mekanizmaları.....	18
Şekil 3.2	Donatılı duvar ve yüklemeleri.....	19
Şekil 3.3	Düşey ve yatay çizgisel yüklere maruz donatılı duvar.....	21
Şekil 3.4	Olası göçme yüzeyleri.....	22
Şekil 3.5	Donatılı duvarda içsel göçme mekanizmaları.....	22
Şekil 3.6	Geri bağ – kama analizi kabulleri.....	23
Şekil 3.7	Uygun ağırlık analizi kabulleri.....	24
Şekil 3.8	Bölgesel denklik kontrolü.....	24
Şekil 3.9	Donatılı duvar ve gerilme dağılımları.....	25
Şekil 3.10	Düşey çizgisel yükleme halinde donatı gerilmesi bulunması.....	26
Şekil 3.11	Yatay yük dağılımı ve hesap değerleri.....	27
Şekil 3.12	Sıyırılma göçme mekanizması.....	28
Şekil 3.13	Olası göçme yüzeyleri.....	28
Şekil 3.14	Kama kuvvet denkliği.....	30
Şekil 4.1	Donatılı duvarda donatı mesafeleri.....	32
Şekil 4.2	Sayısal analize ait donatılı duvar şekli.....	34
Şekil 4.3	3. çözüme ait yanal toprak basıncı katsayısı değişimi.....	39
Şekil 5.1	Donatı gerilmeleri değişimi.....	56
Şekil 5.2	Donatı gerilmeleri değişimi (m :uygun ağırlık analizi).....	61
Şekil 5.3	S_H değerinin donatı kuvveti üzerine etkisinin incelenmesi.....	63
Şekil 5.4	$T_i - q$ değişimi.....	75
Şekil 5.5	Program a ait veri sayfası görüntüsü.....	78
Şekil 5.6	Makro kaydet penceresi.....	79
Şekil 5.7	Makrolar penceresi.....	79
Şekil 5.8	Makro düzenle penceresi.....	80
Şekil 5.9	Hata uyarısı.....	81
Şekil 6.1	Donatı hacim oranı değişimi.....	86
Şekil 6.2	Donatı hacmi oranı yüzdeleri.....	87
Şekil 6.3	Donatı hacmi – q değişimi.....	87
Şekil 6.4	Elmadağ Websol duvarının tipik kesidi.....	88
Şekil 7.1	S_H parametresinin donatı ağırlığına etkisi ($k = k_a$ derinlikle sabit).....	89
Şekil 7.2	S_H ve Φ parametrelerinin duvar genişliğine etkisi ($k = k_a$ derinlikle sabit).....	90
Şekil 7.3	Belirli duvar genişlikleri için S_H ve Φ değerlerinin değişimi ($k = k_a$ derinlikle sabit).....	91
Şekil 7.4	Belirli duvar genişlikleri için S_v ve Φ değerlerinin değişimi ($k = k_a$ derinlikle sabit).....	92
Şekil 7.5	Kayma mukavemeti açısının duvar genişliğine etkisi ($k=k_a$ derinlikle sabit)..	92

Şekil 7.6	S_H ve Φ parametrelerinin duvar genişliğine etkisi (k derinlikle değişen).....	93
Şekil 7.7	Belirli duvar genişlikleri için S_H ve Φ değerlerinin değişimi (k derinlikle değişen).....	94
Şekil 7.8	Belirli duvar genişlikleri için S_V ve Φ değerlerinin değişimi (k derinlikle değişen).....	94
Şekil 7.9	Duvar genişlik farklarının H ve Φ değerlerine bağlı olarak incelenmesi.....	96



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Donatılı zeminlerde kullanılabilecek kohezyonlu zemin limit değerleri.....	8
Çizelge 2.2 Bozulma direnç çizelgesi.....	10
Çizelge 2.3 Donatılı zemin numunelerine ait kayma mukavemeti parametreleri.....	14
Çizelge 2.4 Donatılı zemin numunelerine ait kayma mukavemeti parametreleri.....	15
Çizelge 4.1 1 nolu çözüme ait donatı gerilme ve uzunlukları.....	35
Çizelge 4.2 2 nolu çözüme ait donatı gerilme ve uzunlukları.....	38
Çizelge 4.3 3 nolu çözüme ait donatı kuvveti ve uzunlukları.....	40
Çizelge 5.1 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi = 26^{\circ}$).....	50
Çizelge 5.2 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi = 27^{\circ}$).....	51
Çizelge 5.3 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi = 28^{\circ}$).....	51
Çizelge 5.4 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi = 29^{\circ}$).....	52
Çizelge 5.5 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi = 30^{\circ}$).....	52
Çizelge 5.6 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi = 31^{\circ}$).....	53
Çizelge 5.7 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi = 32^{\circ}$).....	53
Çizelge 5.8 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi = 33^{\circ}$).....	54
Çizelge 5.9 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi = 34^{\circ}$).....	54
Çizelge 5.10 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ($26^{\circ} \leq \Phi \leq 34$).....	55
Çizelge 5.11 H = 16 m ye kadar donatı uzunlukları ($26^{\circ} \leq \Phi \leq 34$).....	55
Çizelge 5.12 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ($26^{\circ} \leq \Phi \leq 34$, k derinlikle değişen).....	60
Çizelge 5.13 H = 16 m ye kadar donatı uzunlukları ($26^{\circ} \leq \Phi \leq 34$, k derinlikle değişen).....	60
Çizelge 5.14 H = 16 m ye kadar donatı gerilmeleri ($26^{\circ} \leq \Phi \leq 34$, S_H : herhangi).....	65
Çizelge 5.15 H = 16 m ye kadar donatı uzunlukları ($26^{\circ} \leq \Phi \leq 34$, S_H : herhangi).....	66
Çizelge 5.16 Sürşarj kaynaklı donatı ek kuvvetleri.....	75
Çizelge 5.17 Sürşarj kaynaklı donatı ek kuvvetleri (k derinlikle değişen).....	77
Çizelge 6.1 Bir adet yüzey paneline ait yaklaşık birim fiyat analizi.....	84
Çizelge 6.2 Bir m ³ duvar dolgusu zemini birim fiyat analizi.....	84
Çizelge 7.1 Sv parametresinin duvar parametreleri üzerine etkisi.....	91

ÖNSÖZ

Zeminlerin belirli özelliklerini, belirli mühendislik hedefleri doğrultusunda değiştirmek gerekebilir. Bu değişim, mekanik, fiziksel, ve kimyasal esaslı yöntemlerle gerçekleştirilebileceği gibi, donatılı zemin kavramında olan yeni bir kompozit sistem oluşturulması esasıyla da gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada, en yaygın kullanım alanlı donatılı zemin uygulaması olan donatılı duvar sistemleri incelenmiş, tasarım ve uygulama metotları araştırılmıştır.

Bu araştırma esnasında bana değerli vaktini ayıran saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Nejat Nuri Çetinkaya'ya , tüm YTÜ Zemin Mekaniği Anabilimdalı öğretim görevlileri ve çalışanlarına teşekkürlerimi bir borç bilirim. Son olarak benim ben olmamda önemli çaba ve emeği olan canım aileme “cobacan” teşekkürler.



ÖZET

Bilindiği gibi zemin, kayma ve basıncın aksine çekmeye karşı dayanıksız bir malzemedir. 1960 ların başında Henri Vidal tarafından ortaya atılan “donatılı zemin” kavramı; sürtünmeli (kohezyonsuz) zemin içerisine çekmeye dayanıklı, yatay konumda şerit donatılar yerleştirilerek zeminin kuvvetlendirilmesi olarak özetlenebilir. Donatılı zemin tekniği, dayanma (istinat) duvarları, köprü ayakları, rıhtım duvarları, yaklaşım dolguları, baraj ve temel zemini ıslahı gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, donatılı duvar tasarımı için kullanılan iki farklı metod incelenmiştir. Bu metotlardan ilki Geri Bağ – Kama analizi, ikincisiyse Uygun Ağırlık Analizi metodudur. Bilindiği gibi Geri bağ – kama analizi, duvar yüzünün topuk etrafında dışa doğru döndüğü ve donatılandırılmış bölge içerisinde aktif durum şartlarının geçerli olduğu kabulü ile hareket eder. Uygun ağırlık analizi metodunda ise duvar deformasyonunun tepe noktası etrafında dışa doğru olduğu ve toprak basıncı katsayısının duvar üst noktasında k_0 dan başlayarak 6 m derinliğe kadar azalan ve bu noktadan sonra sabit bir k_a değerine sahip olduğu kabul edilmiştir. Anlatılan her iki metot için de sayısal analizler gerçekleştirilmiş ve abaklar oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Donatılı zemin duvar, geri bağ kama analizi, uygun ağırlık analizi

ABSTRACT

As known, most granular soils are strong in compression and shear but weak in tension. By the 1960s, Henri Vidal had developed a system using steel strips called “Reinforced Earth”. The purpose of this system is to improve performance of the soil by introducing reinforcing elements in the direction of tensile strains. Reinforced earth technique, has been used in construction of almost all engineering structures, namely, retaining walls, abutments, embankments, rail-road tracks, foundation slabs, earthen dams, etc.

In this study; two different methods have been investigated. The first method which discussed is Tie Back – Wedge Analysis and the latter design method is Coherent Gravity Analysis. As known, tie back – wedge analysis assumes that the wall will deform in service in such a way as to cause the face to rotate outwards about the toe and active conditions are assumed throughout the reinforced zone. The coherent gravity analysis method assumes that the wall will deform by causing the face to rotate outwards about the top and a variable earth-pressure coefficient is assumed, having a value of k_0 at the top, reducing to k_a at 6 m depth and below. Numerical analyses have been made and formed sheets for these two methods.

Keywords : Reinforced earth retaining walls, tie back wedge analysis, coherent gravity analysis



1.GİRİŞ

Modern inşaat mühendisliğinin başarılı uygulamalarından biri olan donatılı zemin fikrinin 1960 ların başında Vidal tarafından ortaya atılmasından bu yana gerek tasarım metotları gerekse kullanılan malzeme çeşitliliği açısından birtakım değişiklikler gerçekleşmiştir. Aslında donatı kullanılarak zeminin güçlendirilmesi kavramı araştırıldığında bu tip uygulamaların 1920 lerin sonlarına doğru patentli sistemlerle ortaya çıktığı görülür. Donatılı zeminin ilk kullanımı Güney Carolina karayolları departmanı tarafından 1926 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada zeminin üzerine yüksek yoğunlukta pamuklu kumaş yerleştirilip üzerine sıcak asfalt ve asfaltın üzerine de ince bir kum tabakası serilmiştir. Kurum 1935 yılında 8 farklı arazi deneyi sonuçlarını içeren bir makale yayımlamıştır.

Dayanma yapılarının donatılı duvar olarak tasarlanması donatılı zemin teknolojisinin en yaygın kullanım alanlarından biridir.

Donatılı duvar yapılarının avantajları,

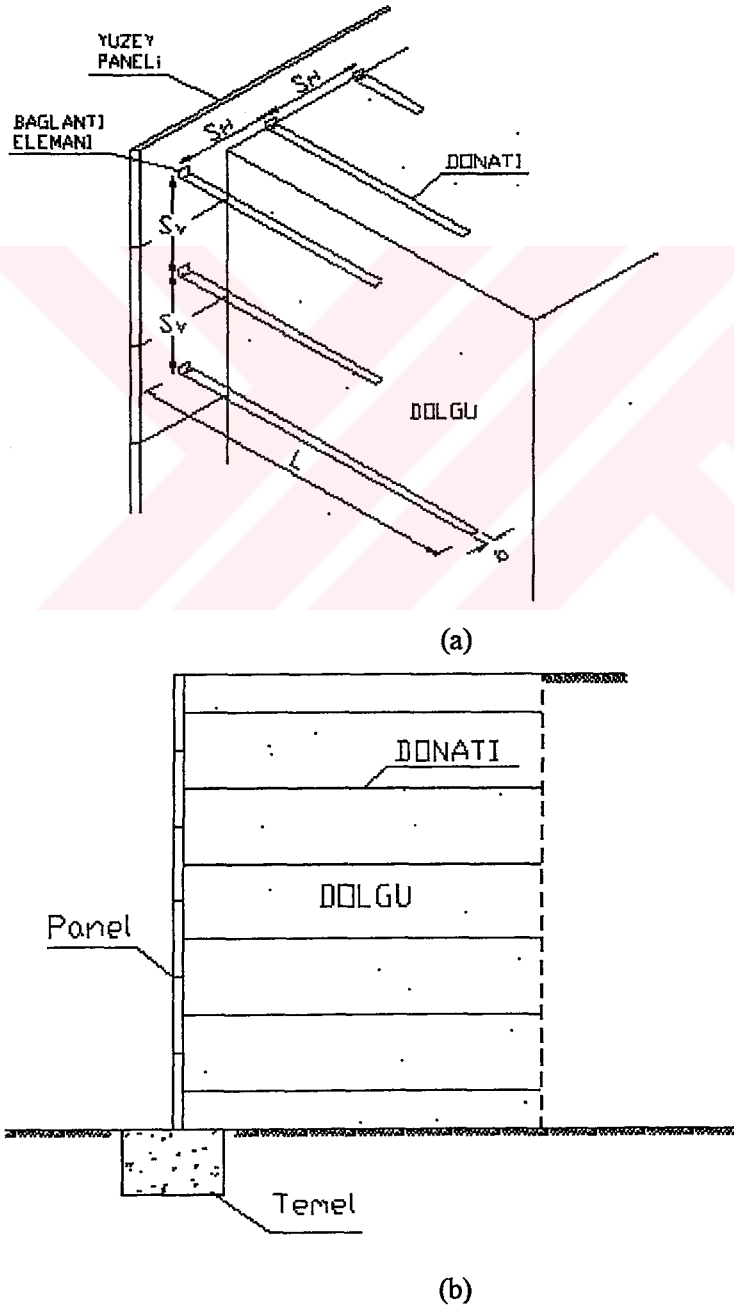
- inşa teknolojisinin basitliği,
- süratli yapılabilmesi,
- inşa sahasının kısıtlı olduğu durumlarda uygulanabilmesi,
- dış görünümünün estetik yapılabilmesi,
- ekonomik açıdan uygunluğu (özellikle temel zemininin zayıf olduğu durumlarda, derin temel gereken durumlarda ve 6 m'den yüksek duvarlarda)

Donatılı duvar yapısı, Şekil 1.1.de gösterildiği gibi aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

- sürtünmeli (granüler) veya az kohezyonlu dolgu,
- donatı elemanları,
- yüzey panelleri,
- donatı ve paneller arasındaki bağlantı elemanları,
- temel.

Yüzey panellerinin fonksiyonu, duvarın hemen arkasındaki zemini tutmak, donatı elemanlarına bağlantı yeri ve estetik bir ön cephe sağlamak olup yapının genel deformasyonlarını alabilecek şekilde esnek olmalıdır. Başlangıçta kesiti yarı eliptik ve 25 - 33 cm yükseklikte metal elemanlar kullanılmakta iken bugünlerde daha ziyade, tipik örneği artı şeklinde, 18 cm

kalınlığında 1.5 x 1.5 [m] boyutlarında prefabrik betonarme plaklar panel olarak kullanılmaktadır. Donatılı zemin duvarın yapımına, alt sıra panellerin üstüne dizileceği genellikle betondan bir temel yapılarak başlanır. Yatay yer değiştirmeyi önlemek üzere desteklenen panellerin arkasına, ilk sıra donatı seviyesine kadar dolgu malzemesi sıkıştırılarak serilir. Donatılar dolgu üzerine yerleştirilir ve paneller ile bağlantısı yapılır ve tekrar üzerine dolgu malzemesi sıkıştırılarak serilir. Bu işlemler birbirini takip eden paneller sayısınca istenilen duvar yüksekliğine erişilene dek tekrarlanır. Paneller birbirine kenetlenecek şekilde yapılır ve yapım sırasında dışa dönme yapmaması için önlem alınır. Aşırı yanal basınçlar doğurmaması için panellerin hemen arkasında büyük makinelerle sıkıştırma yapılmaz.

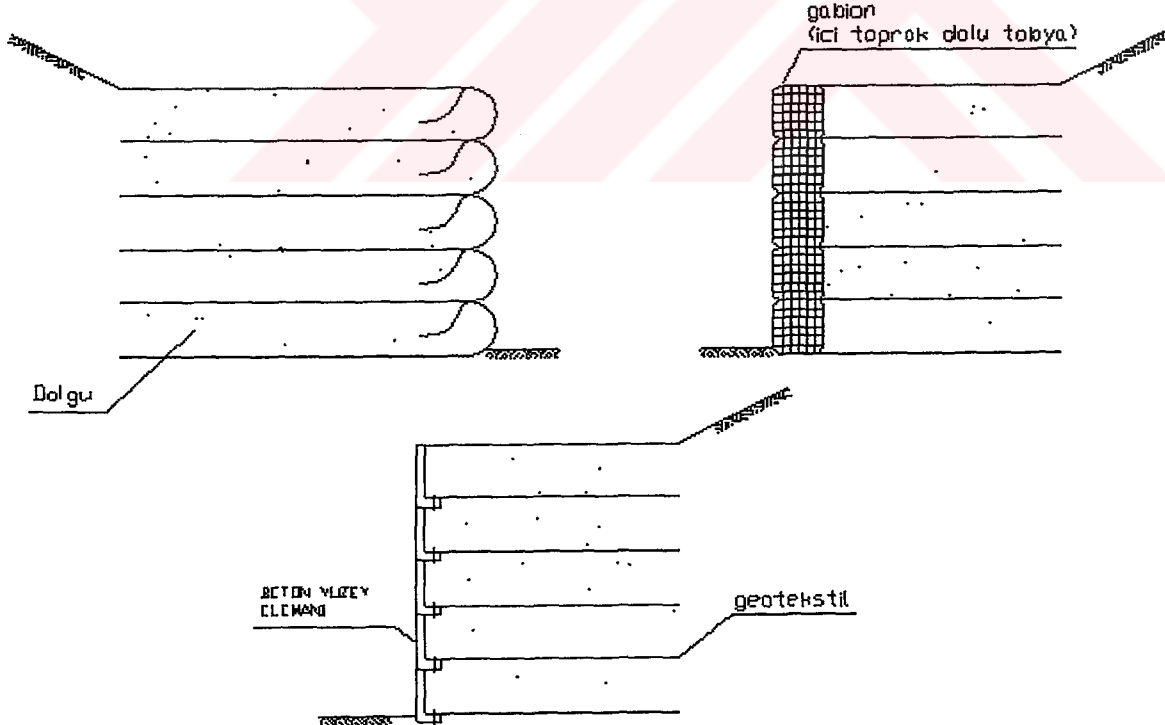


Şekil 1.1 donatılı duvar elemanları (Wasti. ve Özçelik., 1987)

1.1 Genel Kavram ve Terimler

Bilindiği gibi zeminlerin özelliklerini, belirli mühendislik amacı gerçekleştirebilmek için iyileştirmekte kullanılan birtakım uygulamalar vardır. Bu uygulamalar mekanik, hidrolik, fiziksel ve kimyasal yöntemler başlığı altında toplanmaktadır. “Donatılı Zemin” kavramı da bu uygulamaların arasında yer alan bir yöntemdir. “Reinforced Earth” Türkçe kaynaklarda genellikle “donatılı zemin” bazı kaynaklarda ise “Toprakarme” olarak anılmaktadır.

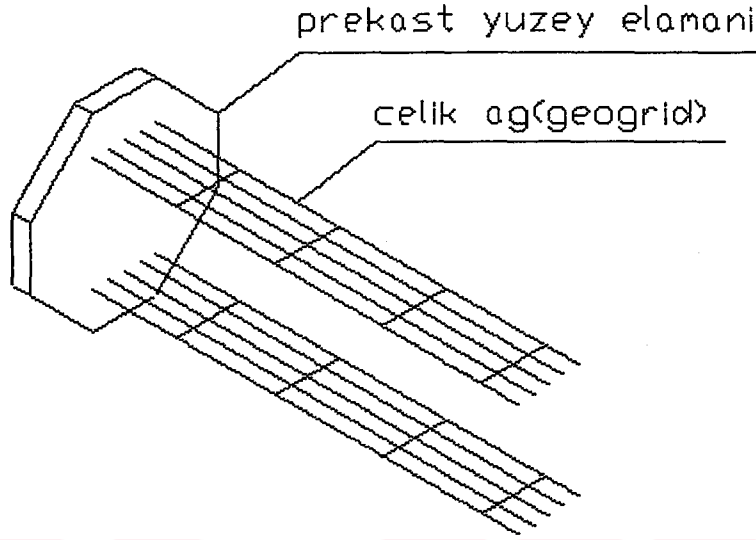
Donatılı zemin uygulamalarındaki amaç gerilme direnci düşük zeminlerle gerilme direnci yüksek olan donatının birlikte kullanılmasına bağlı olarak mukavemeti yüksek bir yapısal sistem elde etmektir. Donatılı duvarlar ise donatı ile güçlendirme konusunun bir alt uygulaması yani bir stabilizasyon modellemesi olarak adlandırılabilir. Donatılı duvarlar, donatı malzemesinin fiziksel, kimyasal özelliklerine göre farklı biçim ve çeşide sahiptir. Yinede çeşidi ve biçimi ne olursa olsun amaçlanan temel hedef, mukavemeti yüksek yapısal sistemler elde etmektir. Donatılı duvarlardaki güçlendirme şilte biçimindeki geotekstillerle sağlanılabileceği (geotekstil duvar) gibi, çubuk, dairesel kesitli çubuk (rot), geogrid ve diğer geosentetik malzemelerle de sağlanabilmektedir.



Şekil 1.2 Geotekstil ile güçlendirilmiş duvar (Clayton, Milititsky ve Woods., 1993)

Yukarıda bahsedilenlere ek olarak ilk defa Kuzey Amerika da Caltrans tarafından 1975 yılında kullanılan Ağ tipi (geogrid) güçlendirmeyi de sayabiliriz. “Mekanik Stabilize Duvar” olarak

adlandırılan sistemde; ağ şeklinde düzenlenmiş çelik çubuklar betondan imal yüzey panellerine tutturulmuştu. Benzer sistemler Amerika Birleşik Devletlerinde de (Hifiker, 1977) geliştirilmiştir.



Şekil 1.3 Ağ tipi güçlendirme (Clayton, Milititsky ve Woods, 1993)

1.1 Araştırmanın Kapsamı

Bu çalışmanın ilk iki bölümünde donatılı duvar uygulamalarının daha rahat anlaşılabilmesi amacıyla, donatılı zemin ve temel prensiplerinden bahsedilmiş, sonraki bölümlerdeyse donatılı duvar uygulama alanları ve tasarım metotlarına değinilmiştir. Çalışmanın geri kalan bölümlerindeyse, çeşitli özelliklere sahip donatılı duvar modelleri için sayısal analizler gerçekleştirilip, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dahili analiz hesaplamalarında çubuk donatılı duvarlar için kullanılan iki metot esas alınarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. DONATILI ZEMİN

Donatılı zemin eksenel gerilmeye karşı dirençli, şilte, çubuk, file, yada hasır şeklindeki donatıların genellikle kohezyonsuz zeminlerle oluşturduğu kompozit bir sistemdir. Bu kompozit sistemdeki donatıların görevi zati ve hareketli yüklerden doğacak çekme gerilmelerini karşılamaktır. Granüler zeminlerin basınç ve kesme gerilmelerine karşı dayanıklı olduğu çekme gerilmeleri karşındaysa zayıf bir direnç gösterdiği bilinmektedir (Saran, 1996). Bu tip zeminlerin içerisine, eksenel gerilmeler doğrultusunda donatı yerleştirilmesiyle oluşturulan kompozit sistem betonarme kesitlere benzer bir biçimde, kesitin çekmeye karşı mukavemetini önemli derecede arttırmaktadır. Şekil 2.1. donatılı zemin dolgusunun 3 önemli bileşenini göstermektedir. Bu bileşenler şu şekilde sıralanabilirler;

- i) toprak dolgu,
- ii) donatı,
- iii) donatı ucuna bağlanmış panel yüzey elemanları.

Yüzey panelleri hayati bir bileşen olmamakla birlikte yüzey erozyonunu engellemek ve estetik bir dış görünüş sağlanması amacıyla önemli bir elemandır.

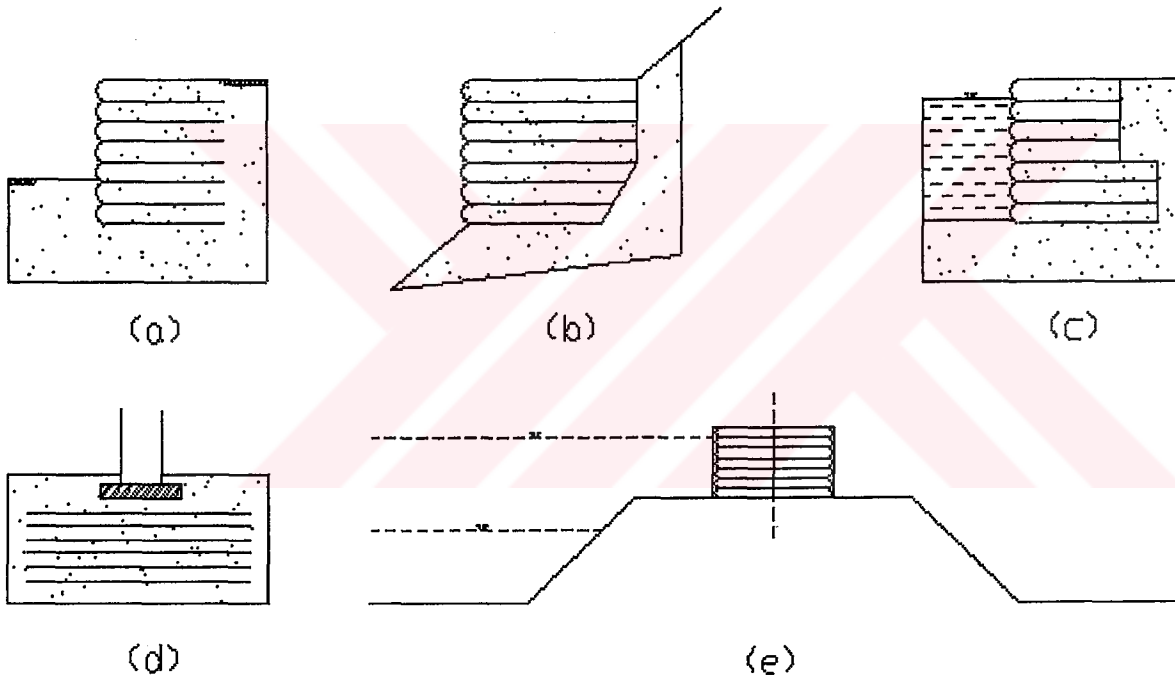
Donatılı zemin taşınabilirliği, depolanabilirliği, ve uygulanabilirliği kolay olan prefabrik elemanlar içermektedir. Donatılı duvarların rijit istinat duvarların aksine, topuk gerilmelerinin ufak olması dolayısıyla zayıf zemin koşulları altında elverişli uygulamalar sağladığı görülmüştür. Donatılı zemin yapıları fark edilebilir derecede esnektir. Bünyesel özellikleri sayesinde yüksek büyüklükteki farklı oturmalara sıkıntısız bir biçimde mukavemet edebilme yeteneğine sahiptir.

Bütün bu anlatılanların sonucunda, donatılı zeminin zayıf temel zemini, yada belirli yüksekliklerin üzerinde yapılması planlanan istinat duvarları gibi ve benzeri durumlarda yüksek avantajlarla uygulanabileceği görülmektedir.

2.1 Donatılı Zeminin Temel Mekanizması

Donatılı zemin temel mekanizması Rankine gerilme durumu teorisi yardımıyla kolayca açıklanabilir. Eğer (iki boyutlu) kohezyonsuz zemin numunesi tek eksenli gerilmeye maruz bırakılırsa mohr gerilme çemberinin mukavemet zarfını kestiği anda göçme gerçekleşir (Şekil 2.2a). Eğer numune iki eksenli gerilmeye maruz bırakılırsa üniform sıkıştırmaya göçmeye uğramadan katlanabilir. Fakat uygulanan gerilme değerleri birbirine eşit değilse numune üç eksenli gerilmeye maruz kalıyormuş gibi davranarak, oluşacak yanal gerilmeler sonucunda

göçer. Göçme esnasında, yanal gerilme değeri σ_3 , asal gerilme değeri (σ_1) ile ilişkilidir $\sigma_3 = k_a \sigma_1$, bu anda mohr gerilme dairesi mukavemet zarfına teğettir (Şekil 2.2 b). Numunenin göçmemesi için, yanal gerilme değeri σ_3 'ün büyüklüğünün artırılması gerekmektedir. σ_3 doğrultusunda numuneye donatı yerleştirilmesi halinde Zemin - Donatı etkileşimi sonucunda ara yüzeyler boyunca sürtünme kuvvetleri doğar. Sıyrılma olmadığı müddetçe donatılarda yanal sıkışmalara karşı gelen eksenel gerilmeler oluşacaktır. Şekil 2.2 c de görüldüğü gibi ek yanal gerilmeler mohr çemberini sağa doğru mukavemet zarfından uzağa öteleyecektir (Saran, 1996). Donatılı zemin mekanizması yukarıdaki biçimde açıklanabileceği gibi donatının zemin üzerindeki etkilerini farklı bakış açılarıyla ele alan çalışmalar da yapılmıştır (Bassett ve Last, 1978).



Şekil 2.1 Donatılı Zemine ait birkaç uygulama alanı (Saran, 1996)

- farklı iki yatay düzlem arasında ani seviye farkı oluşturulmasında.
- eğimli arazilerde yatay düzlemler oluşturulmasında.
- rihtım duvarı olarak.
- temel altı zemini iyileştirmelerinde.
- mevcut baraj yüksekliğinin artırılmasında.

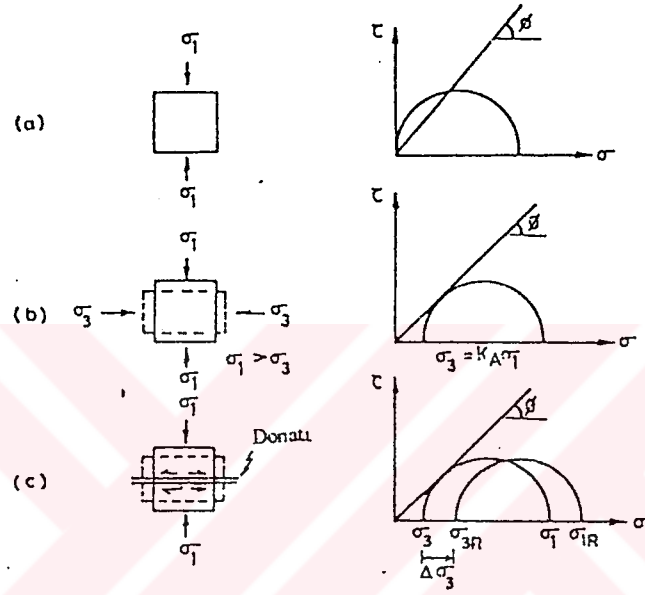
2.2 Zemin Seçimi

Donatılı zemin tasarımı zemin seçimi konusunda üç ana kriter varsayılabilir bunlar;

- Tamamlanmış yapının uzun dönem stabilitesi,
- Kısa dönem (imalat aşaması) stabilite,

iii) Malzemelerin Fizikokimyasal özellikleri.

Granüler zeminler bünyesel özellikleri nedeniyle donatılı zeminler için uygundur. Özellikle bu yapılardaki drenaj koşulları yüksek standartta olduğunda efektif normal gerilmenin hızlı transferi kolaylaşır. Üstelik, granüler zeminler donatılı zemin yapılarının maruz kaldığı yük değerleri aralığı içerisinde elastik malzeme gibi davranır. Bu iki sonuca bağlı olarak inşaat esnasında hareketlilik olmaz.



Şekil 2.2 donatılı zemin temel mekanizması

Bilindiği gibi normal koşullar altında fakir drenaj özelliğine sahip ince daneli zeminlerde, efektif gerilme transferi yavaş olacaktır. Bu nedenle imalat esnasında güvenlik düşük olacaktır. Üstelik adı geçen zeminlerin elastoplastik yada plastik davranış özelliği nedeniyle imalat esnası hareketlilik gerçekleşecektir. Ayrıca kohezif dolgu içerisindeki yüksek gerilmeye maruz donatı elemanları krip davranışı gösterme ihtimalleri artar (Mckittrick, 1978) ve metal donatı korozyonu hassasiyeti artar (Murray ve Boden, 1979). Bütün bu sonuçların getirdiği yargıya ince daneli zeminlerin donatılı zemin imalatında dolgu malzemesi olarak kullanılmaması gerekliliğidir.

Aşağıda ideal uyum gösterme yeteneğine sahip zemin şartları belirtilmiştir (Mckittrick, 1978).

Elek çapı % Geçen

150 mm	100
75 mm	75-100
75 mikron	0-25
ve P.I. < 6	
yada,	

75 mikrondan daha küçük danelerin oranı %25 den fazlaysa ve 15 mikrondan daha küçük danelerin oranı %15 den daha az ise $\Phi = 30^\circ$ ve P.I. < %6 olması kaydıyla dolgu malzemesi uygun olarak kabul edilebilir.

Amerikan Ulaştırma departmanı (1978), Çizelge 2.1. kriterlerine uygun kohezyonlu zeminlerin kullanılabilceğini salık vermektedir.

Duvar yüzleri kenarında (konsantre yükleri taşıyabilmesi açısından duvar üzerinde), drenaj kalitesi yüksek kohezyonsuz nispeten daha iç bölgelerde kohezyonlu özelliğe sahip birden fazla tipte dolgu kullanmak daha ekonomik olabilir. Yinede farklı granülometrik özelliklere sahip birden fazla dolgu kullanımı halinde dolgu arkasında ve altında uygun drenaj koşullarının sağlanması gerekliliği unutulmamalıdır.

Çizelge 2.1 Donatılı zeminlerde kullanılabilcek kohezyonlu zemin limit değerleri

ELEK ÇAPI	AĞIRLIKÇA % GEÇEN
125 mm	100
90 mm	85
10 mm	25
600 mikron	10
63 mikron	10
2 mikron	10
LİKİT LİMİT	$\leq \%45$
PLASTİSİTE İNDİSİ	$\leq \%20$
Φ	$\geq 20^\circ$

2.3 Donatı Çeşitleri

Günümüze kadar başarılı bir biçimde çeşitli mühendislik yapılarında kullanılmış malzemeler; galvanize çelik, paslanmaz çelik, ahşap, demirli beton, polimer ve plastiklerdir. Donatı biçimleri ileride de değinileceği gibi çubuk, grid, çapa, şilte, hasır, file gibi çok çeşitli şekillerde olabilirler.

2.3.1 Metal Donatı

Daha çok çubuk şeklindedir. Santimetre mertebesinde genişliğe milimetre mertebesinde kalınlığa ve yapı yüksekliği ile orantılı uzunluğa sahiptir. Metal çubuklar ucuzluğu, creep deformasyonuna dayanıklılığı, rijit yapısı ve yüksek mukavemet kapasitesi gibi özellikleri dolayısıyla tercih edilen bir donatı çeşididir.

En çok kullanılan metal donatı çeşidi galvanize çeliktir. Bazen alüminyum magnezyum alaşımı ve %17 krom muhteviyatlı paslanmaz çelikte kullanılır. Metal donatı kullanımı esnasında karşılaşılabilecek en büyük güçlük, yapı ömrü içerisindeki korozyon vakası ve oranının tahminidir. Bu nedenle metal donatılar korozyon kalınlığı diye adlandırabileceğimiz kesit genişletilmesiyle boyutlandırılarak tasarlanırlar. Korozyon kalınlığı, dolgu zemini özelliklerine bağlı olarak çelikte 0.75 - 1.25 mm arasında, paslanmaz çelik için 0.1 - 0.2 mm arasında değerler alır. Metal donatıların bütün bu özelliklerinin yanı sıra donatı - zemin arası sürtünmeyi arttırmak amacıyla nervürlü yapıya sahip olanları da vardır (Saran, 1996).

2.3.2 Polimer Donatı

Metal olmayan donatılar genellikle mukavemet ve deformasyon özellikleri üretim aşamasında belirlenerek tek yada çeşitli sayıdaki polimerlerin kombine edilmesiyle üretilirler. Genel olarak bakıldığında metal olmayan donatılar metal emsallerine nazaran daha az mukavemete sahiptirler.

Polimer donatı çeşidinin korozyondan etkilenmemesi gibi avantajları olsa da çeşitli etkenlere karşı hassastırlar. Çizelge 2.2 de donatı malzemesi hammaddesi olarak tercih edilen polimerlerin çeşitli etkenlere karşı bozulma dirençleri gösterilmiştir. Polimerlerin krip davranışına meyilli olması tasarım esnasında dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biridir. Bilindiği gibi krip davranışı sabit yükleme esnasındaki şekil değiştirmelerin sonucunda ortaya çıkan zaman bağımlı bir fenomendir. Bu nedenle polimer esaslı donatı uygulamalarında

tasarım aşamasında deformasyon - yük - yapı ömrü ilişkisi incelenmeli ve uygun tahminlerle ve arazi ölçümleriyle birlikte tasarım tamamlanmalıdır.

2.3.3 Geotekstil Donatılar

Geotekstiller hammaddesi polipropilen, polyester, polietilen, vb.. gibi maddeler olan gözenekli kumaşlardır. Kalınlıkları 0.25mm den 7.5 mm aralığında, permeabiliteleri ise kaba kum ve ince kumunkine denk gelen değerler arasında değişmektedir.

2.3.4 Geogridler

Geogridlerin imalat süreci, polietilen ve polipropilen şilteler üzerinde düzenli deliklerin oluşturulmasına dayanmaktadır. Bu işlem kontrollü ısı altında uzun molekül dizinleri oluşturmak olarak da özetlenebilir.

Bütün bu saydığımız donatı malzemelerine ek olarak sürekli polimerik yapısıyla ana bileşeni kauçuk yada plastik olan geomembranlar, ve yukarıdaki malzemelerin en az ikisinin kullanılması sonucunda oluşan geokompozitler de donatılı zeminlerde kullanılan donatı malzemeleri arasında yer almaktadır.

Çizelge 2.2 Bozulma direnç çizelgesi (Saran, 1996)

	POLYESTER	POLİMİT	POLİETİLEN	POLİPROPİLEN	PVC
MANTAR	ZAYIF	İYİ	ÇOKİYİ	İYİ	İYİ
HAŞERE	ORTA	ORTA	ÇOKİYİ	ORTA	İYİ
KEMİRGİN	ORTA	ORTA	ÇOKİYİ	ORTA	İYİ
MİNERAL ASİTLER	İYİ	ORTA	ÇOKİYİ	ÇOKİYİ	İYİ
ALKALİLER	ORTA	İYİ	ÇOKİYİ	ÇOKİYİ	İYİ
KURU SICAK	İYİ	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA
NEMLİ SICAK	ORTA	İYİ	ORTA	ORTA	ORTA
AŞINMA	ÇOKİYİ	ÇOKİYİ	İYİ	İYİ	ÇOKİYİ
ULTRAVİYOLE IŞINLARI	ÇOKİYİ	İYİ	ZAYIF	ZAYIF	ÇOKİYİ

2.4 Donatılı Zeminin Mukavemet Özellikleri

Donatının, gerilme-şekil değiştirme özelliğine etkide bulunarak zemine ek bir mukavemet kazandırdığı gerçeği alışılmış deney yöntemleriyle açıklanabilmektedir. Birçok araştırmacı

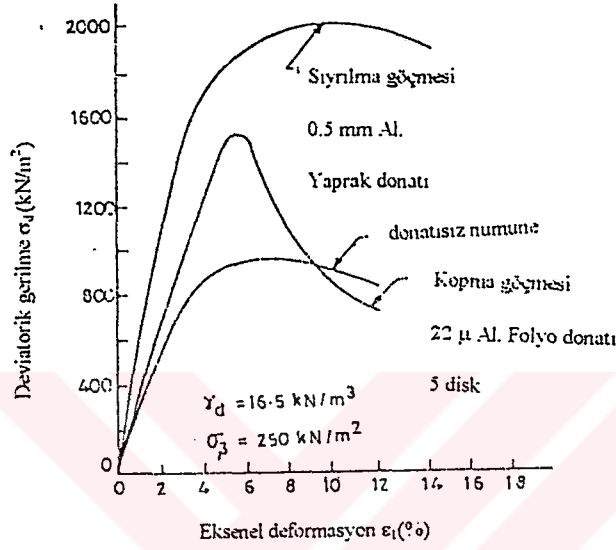
donatılı zemin numuneleri üzerinde gerek üçeksenli, gerekse düzlemsel yükleme deneyleri vasıtasıyla güçlendirilmiş zemine ait mukavemet artışları üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla donatılı zemin, homojen özellikte bir malzeme olarak kabul edilmiş gerilme-şekil değiştirme ve mukavemet özellikleri araştırılmıştır (Long et al.,1972, Hausmann,1976, Broms, 1977, Talwar, 1981, Singh, 1991). Bu çalışmalarda göçme anındaki gerilmelerde fark edilebilir derecede bir artış olduğunu ve göçmenin 2 farklı biçimde gerçekleştiği görülmüştür. Göçme biçimlerinden ilkinin donatının kopması sonucunda, ikincininse donatının zeminden sıyrılması sonucunda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Şekil 2.3. den de anlaşılacağı gibi 2 göçme çeşidinin gerilme-şekil değiştirme eğrileri farklılık göstermektedir. Donatılı zemin numunelerinin kopmaya bağlı göçme halinde güçlendirilmemiş zemine nazaran daha yüksek gerilmelere daha az deformasyonla katlanabildiği görülmüştür. Bu söylediğimize ek olarak, eğriye bakıldığında kopmaya bağlı göçme halinin kolayca tanımlanabilir bir göçme gerilme değerinin olduğu görülebilir. Oysaki diğer göçme çeşidinin kusursuz tanımlanabilen bir tepe noktası göstermediği tespit edilmiştir. Numune göçme değerinin, kopmaya bağlı göçme biçiminde donatı elemanlarının eksenel gerilme mukavemetiyle, sıyrılmaya bağlı göçme biçimindeyse zemin - donatı ara yüzeyinde oluşan sürtünme dirençlerine bağlı olduğu şüphe götürmez bir gerçektir (S. Saran, 1996).

Göçme biçimi, donatılı zemine ait mukavemet zarfı üzerinde derin bir etkiye sahiptir. Kopmaya bağlı göçme biçiminde görülen mukavemet zarfı, donatısız olan numunenin mukavemet zarfına paralellik göstermektedir fakat Şekil 2.4. den de anlaşılacağı gibi bu moddaki mukavemet zarfı daha yüksek bir kohezyon katsayısına sahiptir. Sıyrılmaya bağlı göçme biçimindeyse kayma mukavemeti açısının arttığı, kohezyon katsayısının ise ya çok az yada hiç artmadığı görülmüştür.

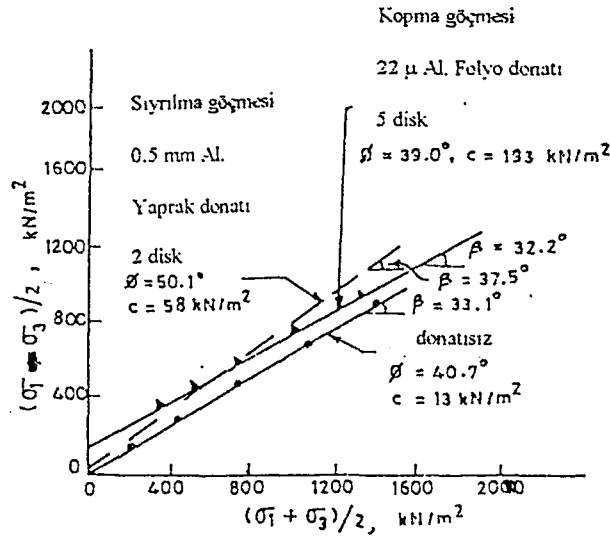
Donatının zemin mukavemet parametreleri üzerindeki sayısal etkisini tarif etmek amacıyla Talwar, 1981 ve Singh, 1991 in araştırmalarının özeti aşağıda sunulmuştur.

Talwar (1981), malzeme özellikleri farklı diskler yardımıyla oluşturduğu donatılı zemin numuneleriyle üçeksenli basınç deneyleri yapmıştır. Numuneler şekil 2.5, deki özelliklere sahiptir. Kullanılan zemin kuru Ranipur kumudur [zemin cinsi : SP , $D_{10} = 0.13 \text{ mm}$, $C_u = 1.85$]. Üç eksenli numuneleri güçlendirmek üzere kullanılan donatı malzemeleri göçmenin hem kopmaya hemde sıyrılmaya bağlı olarak meydana gelebileceği şekilde seçilmiştir. Numunelerde dört farklı malzeme özelliğine sahip donatı kullanılmıştır. Aşağıda, dayanıklılık değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanmış donatı çeşitlerini görmekteyiz.

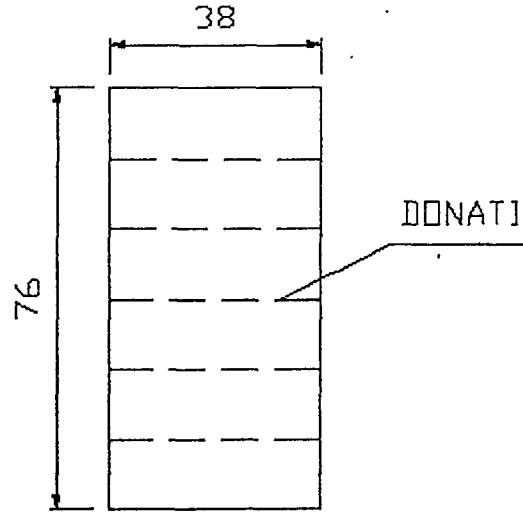
- i) 22 Mikron kalınlığında alüminyum yaprak,
- ii) 50 Mikron kalınlığında alüminyum yaprak,
- iii) 0.08 mm kalınlığında Fiberglas,
- iv) 0.5 mm kalınlığında alüminyum yaprak.



Şekil 2.3 Donatılı ve donatısız numunelerin gerilme – şekil değiştirme davranışı (Talwar, 1981)

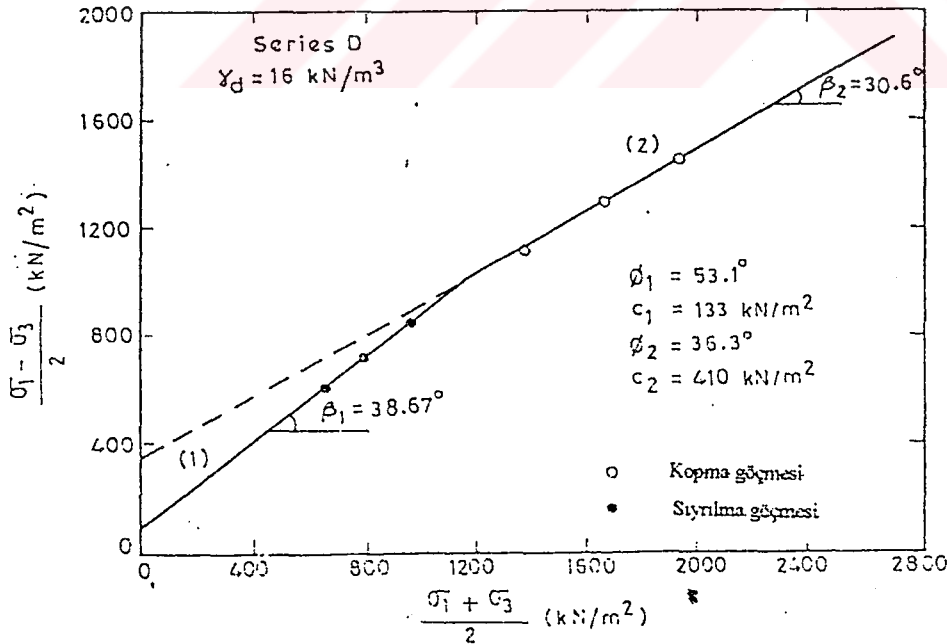


Şekil 2.4 Donatılı ve donatısız numunelerin mukavemet zarfları (Talwar, 1981)



Şekil 2.5 Deney numuneleri donatı yerleşim biçimi (Talwar, 1981).

Donatılı zemin numuneleri, içerisine 5 tabaka halinde 35 mm çaplı diskler yerleştirilerek oluşturulmuştur (Şekil 2.5.). Testler orta ve yoğun hale karşılık gelen değerleri 16 kN/m^3 ve 16.5 kN/m^3 [$D_R = \%67.9$ ve $\%79.5$] olan iki ayrı yoğunlukta ve büyüklükleri 20 kN/m^2 ila 500 kN/m^2 arasında değişen çeşitli çevresel basınç değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde olunan tipik Mohr göçme zarfı Şekil 2.6. da görülmektedir. Bu çalışmadaki deneysel veriler Çizelge 2.3. de listelenmiştir.



Şekil 2.6 Mohr göçme zarfı (Talwar, 1981)

Çizelge 2.3 Donatılı zemin numunelerine ait kayma mukavemeti parametreleri (Talwar, 1981)

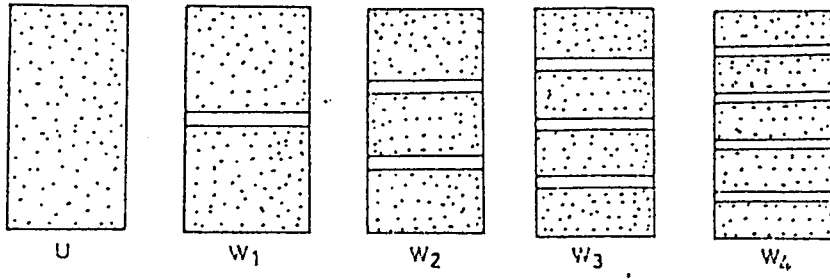
Numune Tipi	Kohezyon Katsayısı c , kN/m ²	Kayma Mukavemeti açısı Φ [derece]	Göçme Tipi	Notlar
Orta sıkı Kum, $D_R = \%67.9$				
1. Donatısız	10	38.5	Kesme	(i) numune şekil 2.5. deki gibi donatılandırılmıştır.
2. Donatılı				
a- 22 Mikron Al.yaprak	170	37.0	Kopma	
b- 50 Mikron Al.yaprak	133	53.0	Sıyırılma $\sigma_3 \leq 100 \text{ kN/m}^2$	
	410	37.0	Kopma $\sigma_3 > 100 \text{ kN/m}^2$	(ii) σ_3 =çevre basıncı
c- Fiberglas	166	46.0	kısmi kopma	
Sıkı Kum, $D_R = \%79.5$				
1. Donatısız	13.2	41.0	Kesme	
2. Donatılı				
a- 22 Mikron Al.yaprak	118	40.5	Kopma	
b- 50 Mikron Al.yaprak	80	64.2	Sıyırılma $\sigma_3 \leq 100 \text{ kN/m}^2$	
	365	40.0	$\sigma_3 > 100 \text{ kN/m}^2$	
c- 0.5 mm Al yaprak	58	50.1	Sıyırılma	

Singh 1991 de yaptığı üçeksenli basınç deneylerindeyse %75 relatif sıklık derecesine sahip Amanartgarh kumu [Zemin cinsi : SP , D_{10} : 0.19 mm , Cu : 1.58] kullanmıştır. Örnekler iki tip geotekstille güçlendirilmiştir bunlar ;

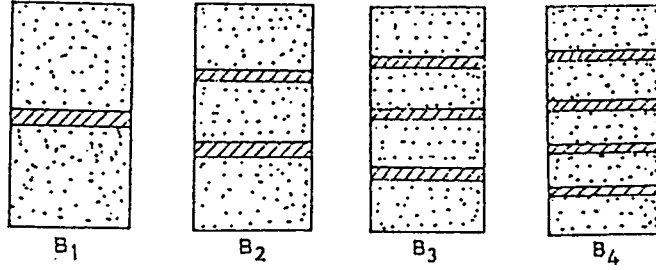
i) Beyaz Geotekstil , (W)

ii) Siyah Geotekstil , (B)

Deney numuneleri şekil 2.7. de gösterildiği gibi güçlendirilmiştir. Testler 50 kN/m² ila 500 kN/m² değişen çevresel basınç aralığında gerçekleştirilmiştir. Ve deneyler neticesinde ortaya çıkan sonuçlar Çizelge 2.4. de listelenmiştir.



a) beyaz geotekstil donatılı numuneler



b) siyah geotekstil donatılı numuneler

Şekil 2.7 Deney numuneleri donatı yerleşim biçimi (Singh, 1991).

Çizelge 2.4 Donatılı zemin numunelerine ait kayma mukavemeti parametreleri (Singh, 1991)

Numune Tipi	Kohezyon Katsayısı c , kN/m ²	Kayma Mukavemeti açısı Φ [derece]	Göçme Tipi	Notlar
1. Donatısız	15	39	Kesme	(i) σ_3 =çevre basıncı
2. Donatılı (beyaz)				
a- W1	33	41	Kopma	
b- W2	50	46	Kısmi Kopma	
c- W3	34	54	Sıyırılma	
	290	38	Kopma	$\sigma_3 \leq 100$ kN/m ²
d- W4	20	60	Sıyırılma	$\sigma_3 > 100$ kN/m ²
	350	38	Kopma	$\sigma_3 \leq 100$ kN/m ²
				$\sigma_3 > 100$ kN/m ²
1. Donatılı (siyah)				
a- B1	20	41.5	Kopma	
b- B2	35	50	Sıyırılma	
	240	39	Kopma	$\sigma_3 \leq 100$ kN/m ²
c- B3	60	54	Kısmi kopma	$\sigma_3 > 100$ kN/m ²
	280	40	Kopma	$\sigma_3 \leq 200$ kN/m ²
d- B4	100	56	Sıyırılma	$\sigma_3 > 200$ kN/m ²
	450	38	Kopma	$\sigma_3 \leq 200$ kN/m ²
				$\sigma_3 > 200$ kN/m ²

Çizelge 2.3. ve 2.4 den de anlaşılacağı gibi yüksek çevresel basınç altında göçme biçimi sıyrılmadan kopmaya doğru değişim göstermektedir. Bu vakanın nedeniyse gelen yüklerin donatı-zemin yüzeyleri arasındaki sürtünme dirençleri yerine donatı eksenel gerilme kuvvetleri tarafından karşılanması olarak açıklanabilir.



3. DONATILI DUVAR TASARIMI

3.1 Giriş

Mevcut dizayn metotları, tasarımda basitliği sağlayabilmek amacıyla duvarın Rankine gerilme durumunu yaratacak kadar dışa hareket ettiği, düşey gerilmenin üniform yada derinlik z ile lineer artan bir fonksiyona sahip olması gibi birtakım kabuller yapmıştır.

Küçük ölçekli modeller ve teorik analizler yardımıyla aşağıdaki tavsiyeler oluşturulmuştur:

- i- Duvar kalınlığı / duvar yüksekliği oranının 0.8 den büyük tutulması sonucunda sıyrılmaya bağlı göçme biçimi engellenebilir.
- ii- Duvar yüzündeki düşey gerilmenin derinlikle lineer arttığı ve temelde maksimum değerine ulaştığı düşünülmelidir.
- iii- Donatı kesiti boyunca duvar yüzüne yaklaşıldıkça çekme gerilmesi değeri artar.

Donatılı duvar tasarımı 2 aşamanın incelenmesini gerektirmektedir.

- i- Harici denge
- ii- Dahili denge

Harici denge analizinde duvar, tüm elemanlarıyla birlikte tek bir parça olarak rijit ağırlık yapılarında olduğu gibi basit statik kuralları yardımıyla çözülür.

Dahili denge analizindeyse, donatı gerilmesi, donatının boyu, kesit ve malzeme özellikleri, ankraj uzunluğu gibi birtakım değerler mevcut koşullar (zemin özelliği, duvar boyutu vb...) gözönünde bulundurularak hesaplanır. Bu değerler aynı zamanda birim duvar elemanına ait kesit özellikleridir.

Önboyutlandırma

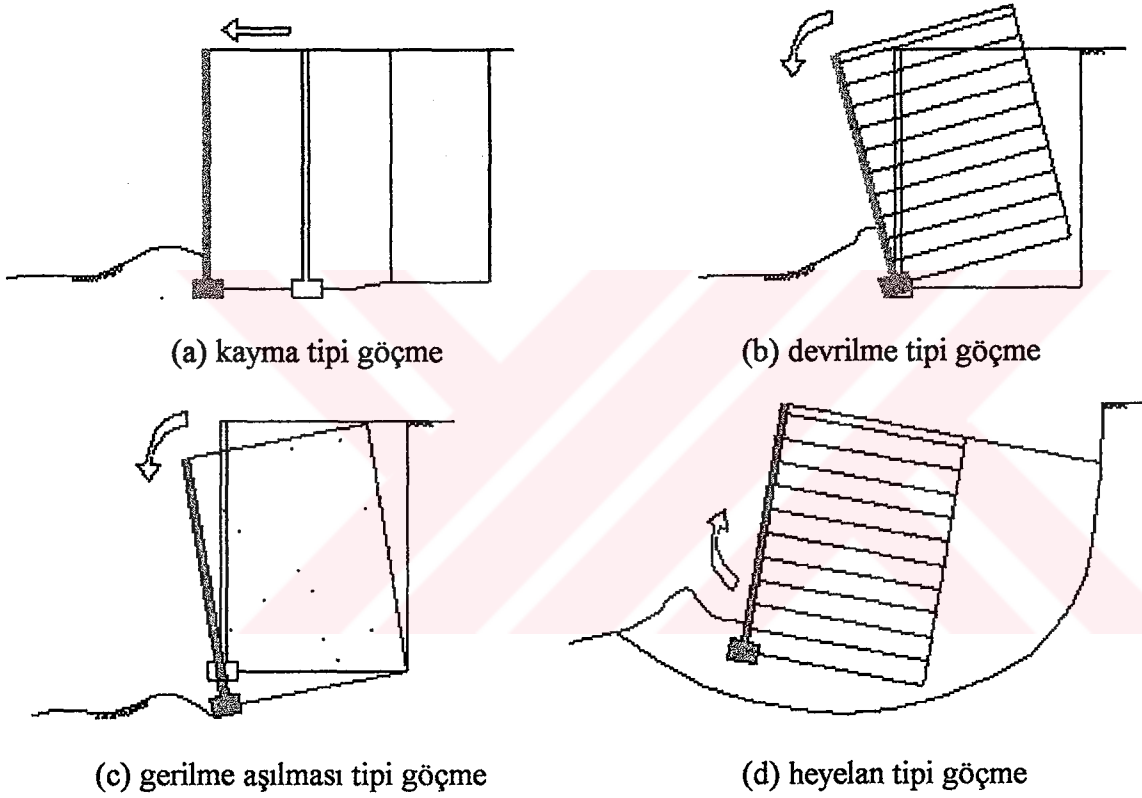
Yüksekliği h olan dolgu için tasarlanacak bir duvar tabanının temel zeminine $h/10$ değeri kadar gömülmesi gerekir. Bir başka deyişle duvar yüksekliği H , dolgu yüksekliği h' dan %10 daha fazladır. Donatı uzunluğu genellikle toplam duvar yüksekliğinin %80' ine denk gelir $L=0.8H$. Alçak duvarlar (3-6m) için bu değer 5m den az alınmamalıdır. Donatı uzunluklarının sabit seçilmesi imalat aşamasında kolaylık sağlamasına rağmen bazı hallerde donatı malzemesi tasarrufu hedefiyle derinlikle artan donatı uzunlukları seçilebilir.

3.2 Harici Denge

Bu tip stabilitenin incelenmesi geleneksel ağırlık dayanma yapılarınınkiyle aynıdır. Ve harici denge tahkikleri dört farklı göçme mekanizması incelenerek yapılır bunlar;

- i- kayma
- ii- devrilme
- iii- taban basıncı
- iv- genel stabilite (heyelan stabilitesi)

Bahsedilen bu mekanizmalar Şekil 3.1 de gösterildiği gibidir.

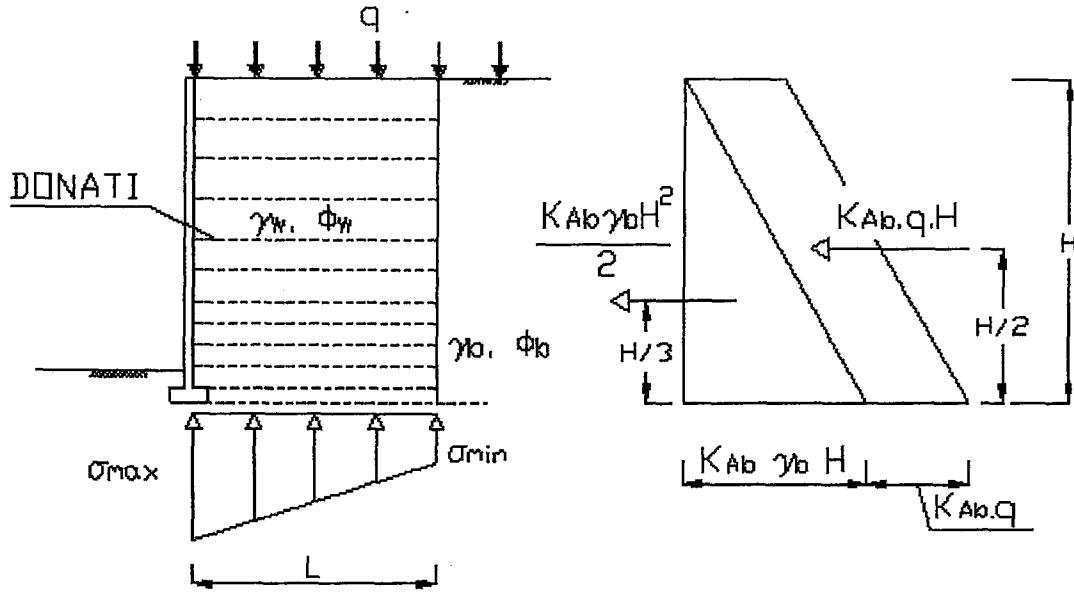


Şekil 3.1 Harici stabilite analizindeki göçme mekanizmaları (Clayton, Milititsky, ve Woods, 1993)

Şimdide Şekil 3.2. deki yüklere maruz bir donatılı duvarın harici stabilitesini inceleyelim.

3.2.1 Kayma Güvenliği

Dışa kayma, güçlendirilmemiş geri dolgunun duvarı itmesi sonucunda gelişen bir vakadır ve genellikle en alt donatının alt yada üst yüzeyi boyunca gerçekleşir. Bunun nedeni donatı - zemin arasındaki sürtünme katsayısının zemin - zemin arasındakine nazaran daha düşük bir değere sahip olmasıdır.



Şekil 3.2 Donatılı duvar ve yüklemeleri (Saran, 1996)

$$\text{Kaymaya karşı güvenlik sayısı} = \frac{\sum \text{kaymaya karşı koyan kuvvetler}}{\sum \text{kaymaya zorlayan kuvvetler}}$$

$$\begin{aligned} \text{Güvenlik sayısı} &= \frac{\mu(\gamma_w H L + q L)}{\frac{1}{2} K_{Ab} \gamma_b H^2 + K_{Ab} q H} \\ &= \frac{2\mu(\gamma_w H + q)}{K_{Ab}(\gamma_b H + 2q)(H/L)} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Burada;

μ = zemin sürtünme katsayısı,

γ_b = dolgu gerisindeki zeminin birim hacim ağırlığı

K_{Ab} = dolgu gerisindeki zeminin aktif toprak basıncı katsayısı

$$= \frac{1 - \sin \Phi_b}{1 + \sin \Phi_b}$$

Φ_b = dolgu gerisindeki zeminin kayma mukavemeti açısı,

K_{Aw} = duvar dolgusu aktif toprak basıncı katsayısı

Φ_w = duvar dolgu zemininin kayma mukavemeti açısı,

γ_w = duvar zemini birim hacim ağırlığıdır.

Kaymaya karşı güvenlik sayısı en az 2 olmalıdır.

3.2.2 Devrilme Güvenliği

Devrilme güçlendirilmemiş geri dolgunun donatılı duvarı devirmeye zorlaması sonucunda gerçekleşir.

$$\text{topuktaki devrilme momenti} = K_{Ab}\gamma_b \frac{H^3}{6} + K_{Ab}q \frac{H^2}{2}$$

$$\text{topuktaki devrilmeye karşı koyan moment} = \gamma_w H \frac{L^2}{2} + q \frac{L^2}{2}$$

$$\text{Devrilmeye karşı güvenlik sayısı} = \frac{\text{Devrilmeye karşı koyan momentler}}{\text{Devirmeye çalışan momentler}}$$

$$= \frac{\gamma_w H L^2 / 2 + q L^2 / 2}{K_{Ab}\gamma_b H^3 / 6 + K_{Ab}q H^2 / 2}$$

$$G.S. = \frac{3(\gamma_w H + q)}{K_{Ab}(\gamma_b H + 3q)(H/L)^2} \quad (3.2)$$

Devrilmeye karşı güvenlik sayısı en az 2 olmalıdır.

3.2.3 Taban Basıncı Güvenliği

Temel zemini göçmesi, donatılı zemin bloğu tarafından iletilen maksimum düşey gerilme değerinin temel zemini taşıma kapasitesi değerini aşması sonucunda gerçekleşir. İlk olarak düşey gerilmenin temel zemini üzerindeki dağılımı hesaplanmalı ve izin verilebilir gerilme değeriyle karşılaştırılmalıdır (şekil 3.2).

$$\sigma = \frac{V}{A} \pm \frac{M}{I} y = (\gamma_w H + q) \pm \frac{K_{Ab}\gamma_b H^3 / 6 + K_{Ab}q H^2 / 2}{(1 \times L^3 / 12)} \cdot \frac{L}{2}$$

$$\sigma_{maks} = (\gamma_w H + q) + K_{Ab}(\gamma_b H + 3q)(H/L)^2 \quad (3.3)$$

$$\sigma_{min} = (\gamma_w H + q) - K_{Ab}(\gamma_b H + 3q)(H/L)^2 \quad (3.4)$$

Güvenli tasarım için ;

$$\sigma_{maks} \leq q_a$$

$$\sigma_{min} \geq 0$$

buradaki q_a = izinverilebilir zemin emniyet gerilmesidir.

Taşıma kapasitesinin yetersiz çıkması halinde, tasarımcı temel zeminini güçlendirme yoluna gidebilir.

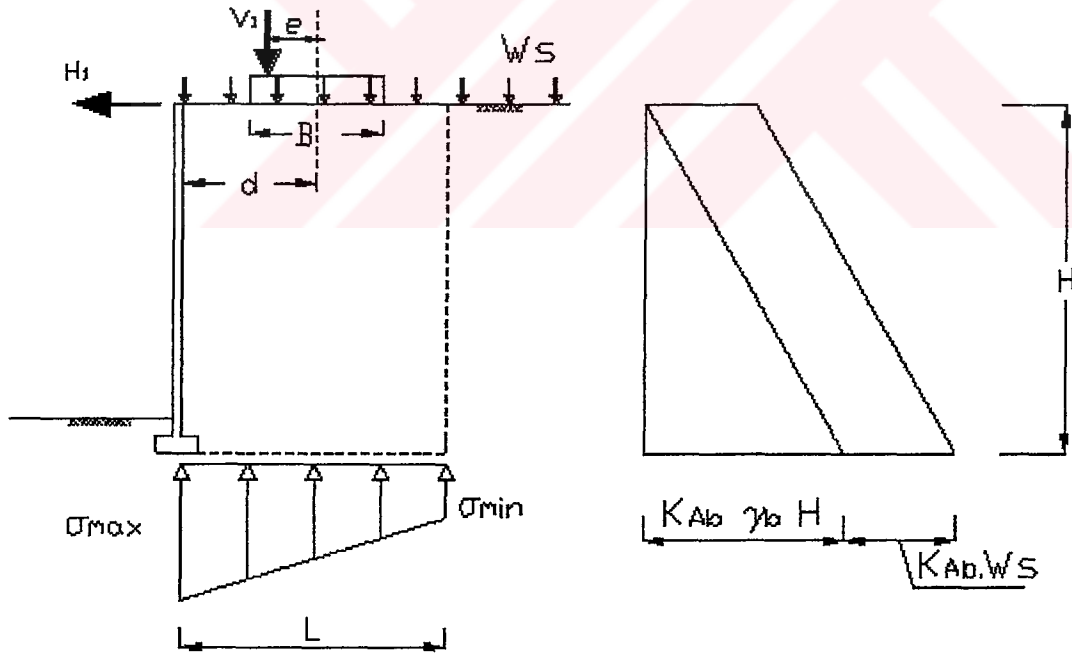
Eğer, oluşturulacak yapı üzerinde Şekil 3.3 deki gibi yatay ve/veya düşey doğrultuda bir yük söz konusu ise, güvenlik sayıları ve duvar alt gerilmeleri aşağıdaki şekilde hesaplanmalıdır.

$$\text{Kaymaya karşı Güvenlik sayısı} = \frac{2\mu [\gamma_w H + q + (V_1 / L)]}{K_{Ab} [\gamma_b H + 2q](H / L) + (2H_1 / L)} \quad (3.1a)$$

$$\text{Devrilmeye karşı güvenlik sayısı} = \frac{3(\gamma_w H + q) + [6V_1(d - e) / L^2]}{[K_{Ab} (\gamma_b H + 3q) + (6H_1 / H)](H / L)^2} \quad (3.2a)$$

$$\sigma_{maks} = (\gamma_w H + q + V_1 / L) + K_{Ab} (\gamma_b H + 3q)(H / L)^2 + 3[2HH_1 + V_1(L - 2d + 2e)] / L \quad (3.3a)$$

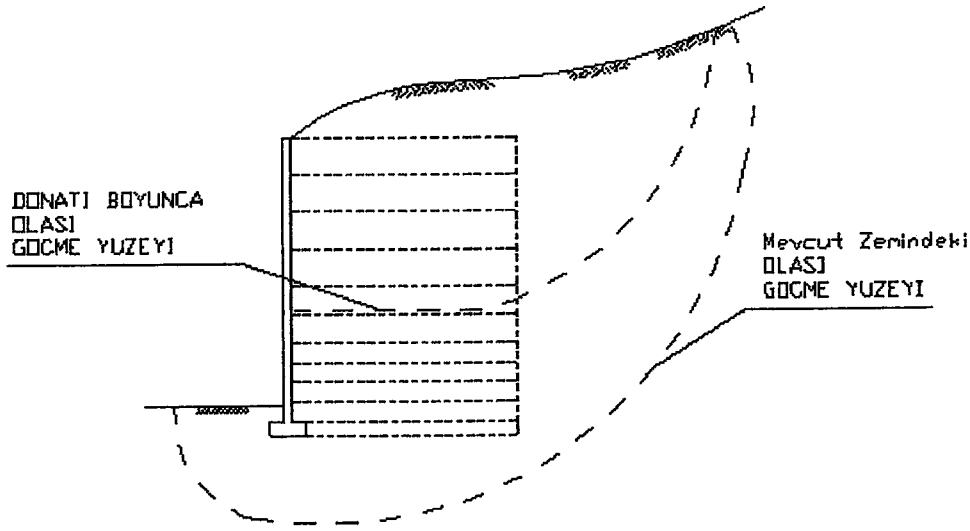
$$\sigma_{min} = (\gamma_w H + q + V_1 / L) - K_{Ab} (\gamma_b H + 3q)(H / L)^2 - 3[2HH_1 + V_1(L - 2d + 2e)] / L \quad (3.4a)$$



Şekil 3.3 Düşey ve yatay çizgisel yüklere maruz donatılı duvar

3.2.4 Genel Stabilité Güvenliği

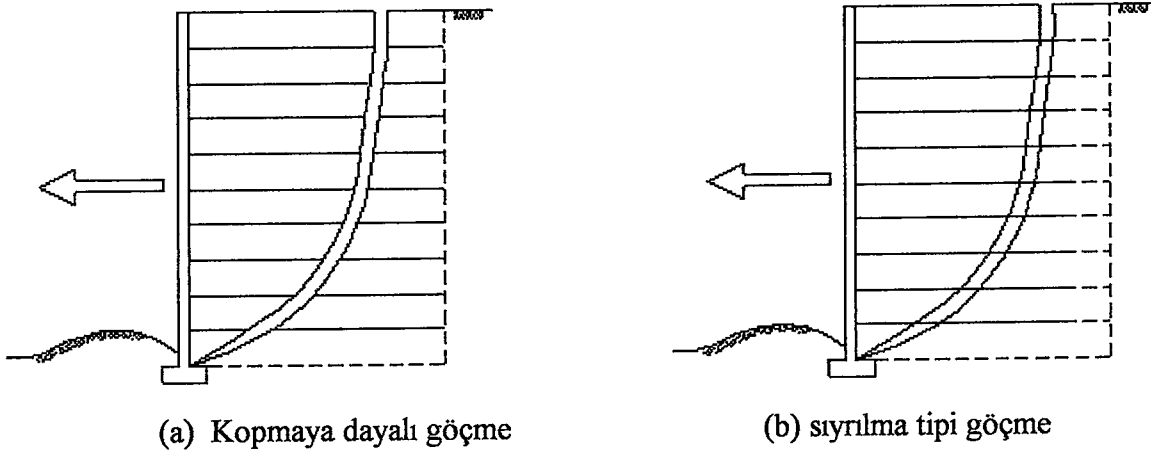
Bütün potansiyel heyelan (göçme) yüzeyleri araştırılmalı (şekil 3.4). bu yüzeyler boyunca rezidüel zemin parametreleri yardımıyla genel stabilité analizi yapılmalıdır.



Şekil 3.4 Olası göçme yüzeyleri (Saran, 1996)

3.3 Dahili Stabilité (içsel denge/stabilite)

İçsel stabiliteyi gözönüne alarak yapılan tasarım, donatıların sayısı, boyutları ve dolgu içerisine yerleştirilme aralıklarının saptanmasını içerir. Ayrıca panellerin de, kendilerine bağlanan donatı elemanlarının aktardığı çekme kuvvetlerini ve üstüne yerleştirilen diğer panellerin ağırlığını karşılayabilecek şekilde tasarımı gerekir. Donatılı zemin duvarların analizinde klasik toprak basıncı ve teorilerinin geçerliliği tartışılmaktadır. Ancak basit olmaları ve tamamlanmış çok sayıda donatılı zemin yapısının sorun çıkartmamış olması sebebiyle halen tasarımda kullanılmaktadır.



(a) Kopmaya dayalı göçme

(b) sıyrılma tipi göçme

Şekil 3.5 Donatılı duvarda içsel göçme mekanizmaları (Clayton, Milititsky, ve Woods, 1993)

Asıl olarak içsel stabilite, şekil 3.5. dede gösterildiği gibi kopma ve sıyrılma göçme mekanizmalarıyla ilişkilidir. Kopma göçmesi, her tabaka için kontrol edilmelidir. Kontrol esnasında zati ağırlıkta dahil olmak üzere tüm düşey-yatay yükler ve momentler hesaplanmalıdır. Sıyrılma göçmesi her tabakanın sıyrılma kapasitesi ve düzlemsel kama

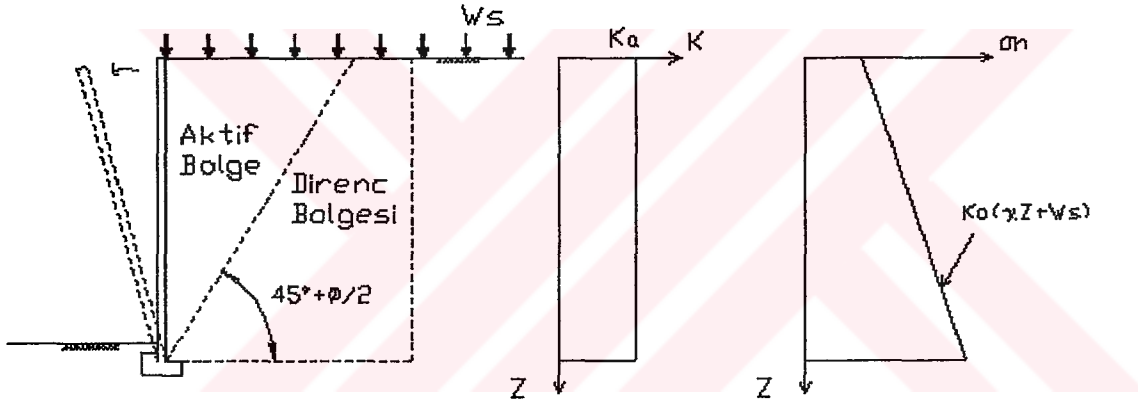
mekanizmalarının incelenmesi yardımıyla kontrol edilir. Her tabaka için tutunma uzunluğu maksimum gerilme değerine bağlı olarak tayin edilmelidir.

Analitik metodların çoğu Colulomb ve Rankine teorilerine dayanmaktadır. Tasarımda genellikle en çok kullanılan iki metod

a- geri bağ - kama analizi

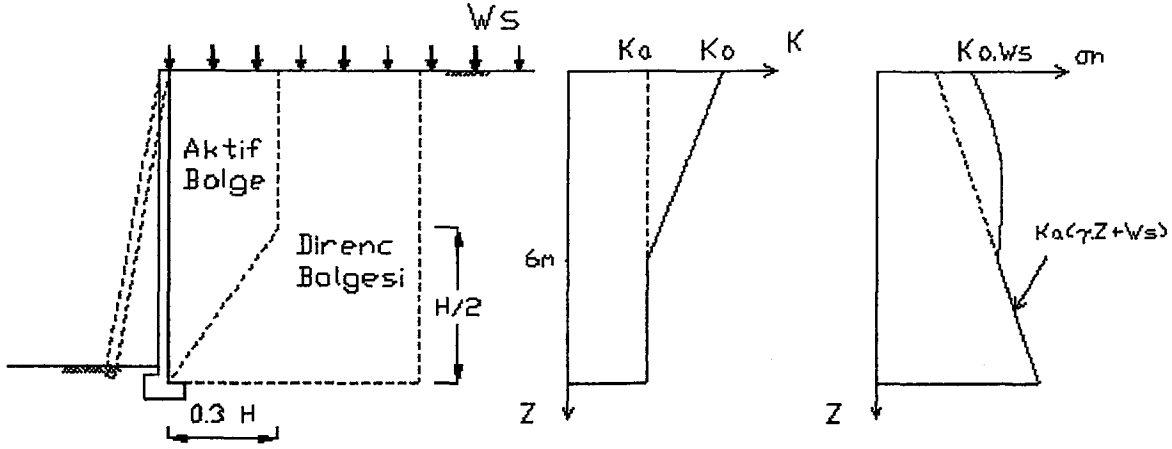
b- uygun ağırlık analizidir

Geri bağ - kama analizi, duvar yüzünün topuk etrafında dışa doğru döndüğü kabulü ile hareket eder. Şüphesiz bu dönmeye neden olan duvarın bünyesindeki deformasyondur (Bknz. Şekil 3.6.). Donatılandırılmış bölge içinde aktif durum şartları söz konusudur. Yatayla açısı $45^\circ + \Phi'/2$ olan doğrunun maksimum donatı gerilmesiyle çakıştığı kabul edilmiştir ve aynı zamanda bu doğrunun Coulomb kaması oluşturduğu düşünülmüştür (. Clayton, Milititsky, ve Woods, 1993).

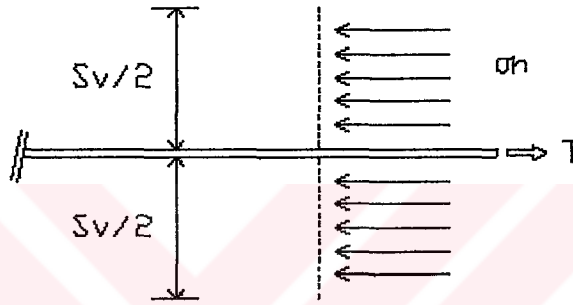


Şekil 3.6 Geri-Bağ kama analizi kabulleri

Uygun ağırlık analizi, toprak basıncı teorisine, çeşitli model ve birebir ölçekteki duvarlardan elde edilen ölçüm değerlerine dayanan kısmi deneysel (yarı amprik) bir metottur. Bu metot Donatılı Zemin şirketinin (Reinforced Earth Com.) çelik çubuk donatılandırılması için kullandığı bir metottur. Duvar deformasyonunun tepe noktası etrafında dışa doğru olduğu ve güçlendirilmiş kütlelerin bir çizgi tarafından ikiye bölündüğü kabul edilmiştir (şekil3.7). Bu bölümler aktif bölge ve direnen bölge olarak adlandırılmıştır. Toprak basıncı katsayısının, duvar üst noktasında k_0 dan başlayarak 6m derinliğe kadar azalan ve bu noktadan sonra sabit bir k_a değerine sahip olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca donatı-zemin sürtünme katsayısı μ değerlerinin eldesi için bir takım amprik kurallar geliştirilmiştir (Clayton, Milititsky, ve Woods, 1993).



Şekil 3.7 Uygun ağırlık analizi kabulleri (Clayton, Milititsky, ve Woods, 1993)



Şekil 3.8 Bölgesel denklik kontrolü (Clayton, Milititsky, ve Woods, 1993)

3.3.1 Kopma Göçmesi

Bu göçme tipi donatı mukavemetinin yatay yükleri taşımakta yetersiz kalması halinde gerçekleşir. S_v : donatı düşey aralığı olmak üzere her tabakanın altında ve üstünde $1/2 S_v$ kadar mesafeye etki eden yatay gerilmeleri taşıdığı kabul edilmiştir (şekil 3.8). Şekil 3.9 daki gibi sürşarj yükü ile yüklenmiş üniform dolgulu bir duvar gözönünde bulunduralım. h_i derinliğindeki bir noktada duvarın bir metresine düşen eksenel gerilme T_i ;

$$T_i = K_{aw} \sigma_{vi} S_{vi} S_{Hi} \quad (3.5)$$

Formülü ile elde edilir. Burada S_{vi} ve S_{Hi} h_i derinliğindeki donatı düşey ve yatay aralığıdır. 3.3 formülünde H yerine h_i yazılırsa;

$$\sigma_{vi} = (\gamma_w h_i + q) + K_{Ab} (\gamma_b h_i + 3q)(h_i / L)^2 \quad (3.6)$$

Bu değeri 3.5 eşitliğinde yerine koyarsak;

$$T_i = K_{Aw} [(\gamma_w \cdot h_i + q) + K_{Ab} (\gamma_b \cdot h_i + 3q)(h_i / L)^2] S_{vi} S_{Hi} \quad (3.7)$$

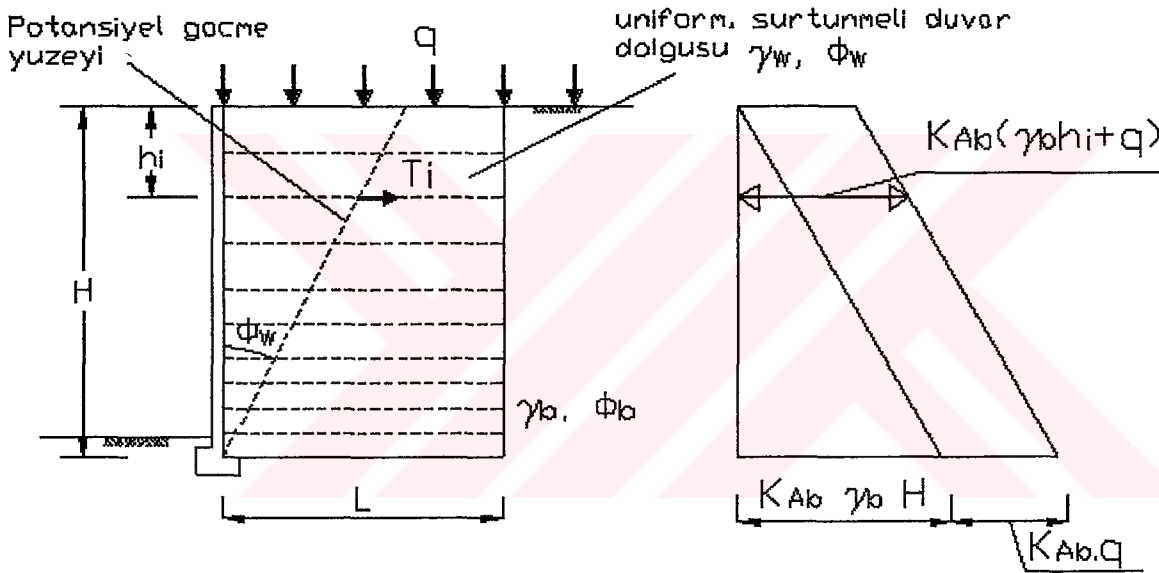
Kohezyonlu sürtünmeli zemin olması halinde formül 3.7 aşağıdaki hali alır;

$$T_i = K_{Aw} [(\gamma_w \cdot h_i + q) - 2c / \sqrt{K_{aw}} + K_{Ab} (\gamma_b \cdot h_i + 3q)(h_i / L)^2] S_{vi} S_{Hi} \quad (3.7a)$$

Kohezyon etkisinin ihmal edilmesi halinde tasarım çok az tutucu tarafa kayar. Donatının kopmaması için;

$$T_i \leq T_a \quad (3.8)$$

burada T_a = donatının izinverilebilir eksenel gerilme mukavemetidir.



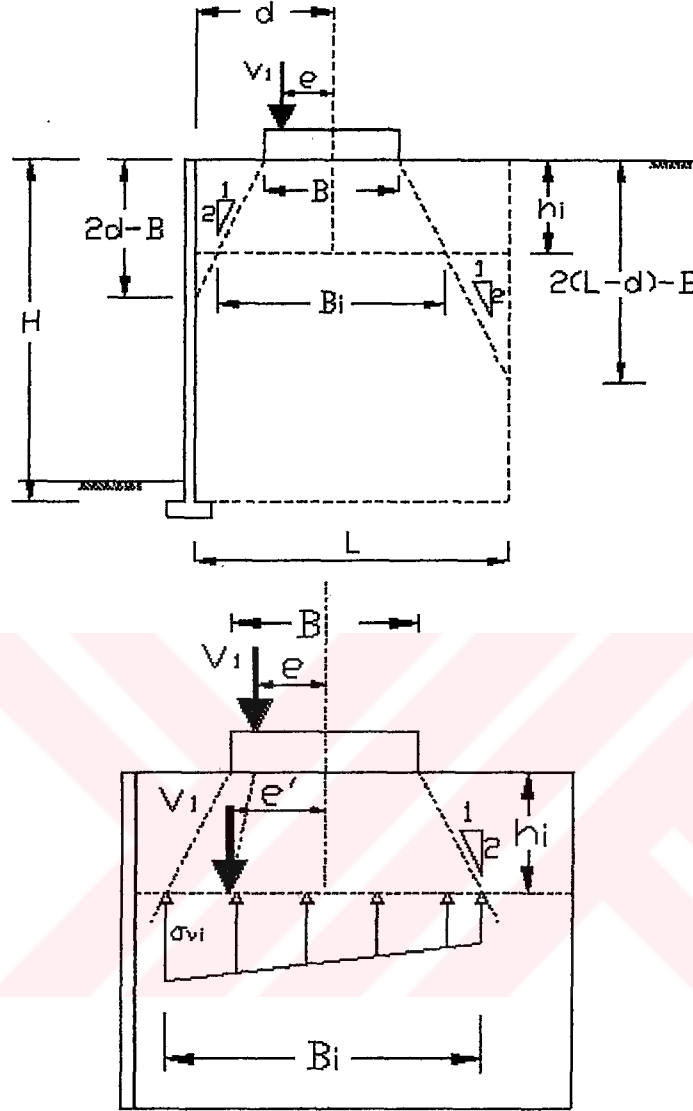
Şekil 3.9 Donatılı duvar ve gerilme dağılımları

Ek yükler

Donatılı duvara etkiyen yükler ayrı ayrı incelenmesi gereken çok çeşitli bileşenlere sahip olabilirler. Yukarıda verilen eşitlikler duvar üstüne etkiyen düşey, yatay çizgisel yada noktasal yükleri hesaba katmazlar. Bu yüklerden kaynaklanan gerilmeler ayrı ayrı hesaplanıp yukarıdaki değerlere eklenmelidir.

Düşey çizgi yükler : Bu durum genellikle donatılı duvar elemanının köprü ayağı olarak kullanılması halinde ortaya çıkar. Yüklerin şekil 3.10 da gösterildiği gibi 1:2 lik bir dağılımla derinliğe yayıldığı kabul edilmiştir. Trapez şeklindeki bir dağılıma sahip olduğu kabul edilen düşey gerilme değeri hesaplanıp formül 3.5 de yerine konularak düşey çizgisel yükten kaynaklanan donatı eksenel gerilme değeri bulunmuş olur.

Tutucu fakat basit bir yaklaşımla düşey yük V_1 in h_i derinliğindeki dışmerkezliği (e') hesaplanır. Buna göre;



Şekil 3.10 Düşey çizgisel yükleme halinde donatı gerilmesi bulunması

$$\sigma_{vi} = \frac{V_1}{B_i} + \frac{6V_1 e'}{B_i^2} \quad (3.9)$$

Eğer $h_i \leq (2d-B)$ ise $B_i = h_i + B$ ve $e' = eB_i / B$ olur. Bu nedenle,

$$\sigma_{vi} = \frac{V_1}{(h_i + B)} \left[1 + \frac{6e}{B} \right] \quad (3.10)$$

ve

$$T_i = \frac{K_{Aw} V_i}{(h_i + B)} \left[1 + \frac{6e}{B} \right] S_{vi} S_{Hi} \quad (3.11)$$

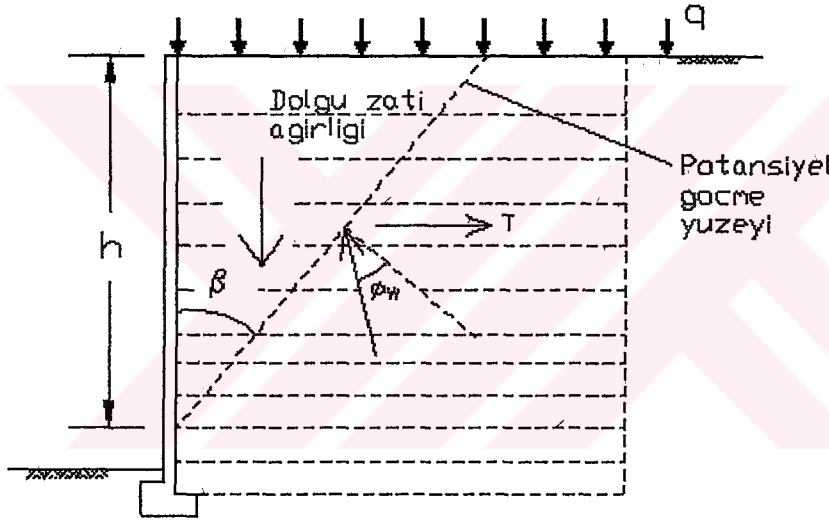
$h_e \leq H$ olduğu zaman, h_i derinliğindeki donatıda meydana gelen gerilme;

$$T_i = \frac{2H_1}{h_e} \left[1 - \left(\frac{h_i}{h_e} \right) \right] S_{vi} S_{Hi} \quad (3.15)$$

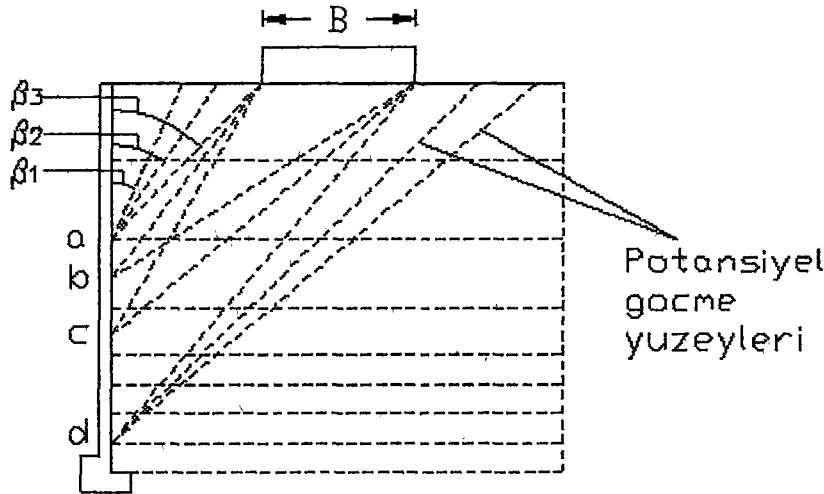
formülü yardımıyla elde edilir. Eğer $h_e > H$ ise ; $h_e = H$ basitleştirici kabulü ile T_i ' yi aşağıdaki gibi elde etmek mümkündür.

$$T_i = \frac{2H_1}{H} \left[1 - \frac{h_i}{H} \right] S_{vi} S_{Hi} \quad (3.16)$$

Donatı tipinin hasır/şilte biçiminde olması halinde (ör: geotekstil yada geogrid) donatıdaki eksenel gerilme değeri (T_i) duvarın birim genişliği için hesaplanmalı ve bu nedenle yukarıdaki eşitlikteki S_{Hi} donatı yatay mesafe değeri 1 olarak alınmalıdır.



Şekil 3.12 Sıyırılma göçme mekanizması



Şekil 3.13 Olası göçme yüzeyleri

3.3.2 Kama / sıyrılma göçmesi

Donatının hem bölgesel hem de bütünü için sıyrılma dirençlerini kontrol etmek en çok tercih edilen yöntemdir. Lokal kontrol her tabaka için maksimum gerilme değeri ile bağ kuvvetlerinin karşılaştırılması olarak özetlenebilir. Bütünsel kontrollerse donatılı bölgelerdeki potansiyel göçme mekanizmalarını gözönünde tutarak zorlayan ve karşı koyan kuvvetleri karşılaştırır.

Kama / sıyrılma analizinde yapılan temel kabuller aşağıda sıralanmıştır.

- i- Her kama rijit kütle biçiminde davranmaktadır,
- ii- Dolgu ile duvar yüzü arasındaki sürtünme ihmal edilmiştir,
- iii-Potansiyel göçme yüzeylerinden hiçbir köprü ayağı gibi yük aktarılan noktalardan geçmez.

Şekil 3.12 analizde dikkate alınması gereken yük ve kuvvetleri göstermektedir. Bu değerler;

- i- Kamadaki dolgunu zati ağırlığı,
- ii- Üniform yayılı sürşarj (q)
- iii-Düşey yükleme (V_1)
- iv- Yatay yükleme (H_1)
- v- Potansiyel göçme düzlemindeki reaksiyon kuvveti (R)
- vi- Potansiyel göçme düzlemi tarafından kesilen donatıların toplam gerilme değeri.

Şekil 3.13 den de anlaşılacağı gibi duvar yüzüyle çakışan a,b,c,d gibi noktalardan değişken $\beta(\beta_1, \beta_2, \beta_3, vb...)$ açılarıyla yüzeye çıkan kamalar oluşturularak potansiyel göçme düzlemleri elde edilmiştir. Bu analitik işlemin sonucunda her β değeri için farklı bir T değerinin olduğu görülmüş ve bu T değerinin bir noktada maksimuma ulaştığı tespit edilmiştir(şekil 3.14a). Şekil 3.14b deki kamanın denkliği sonucunda aşağıdaki eşitlik elde edilir.

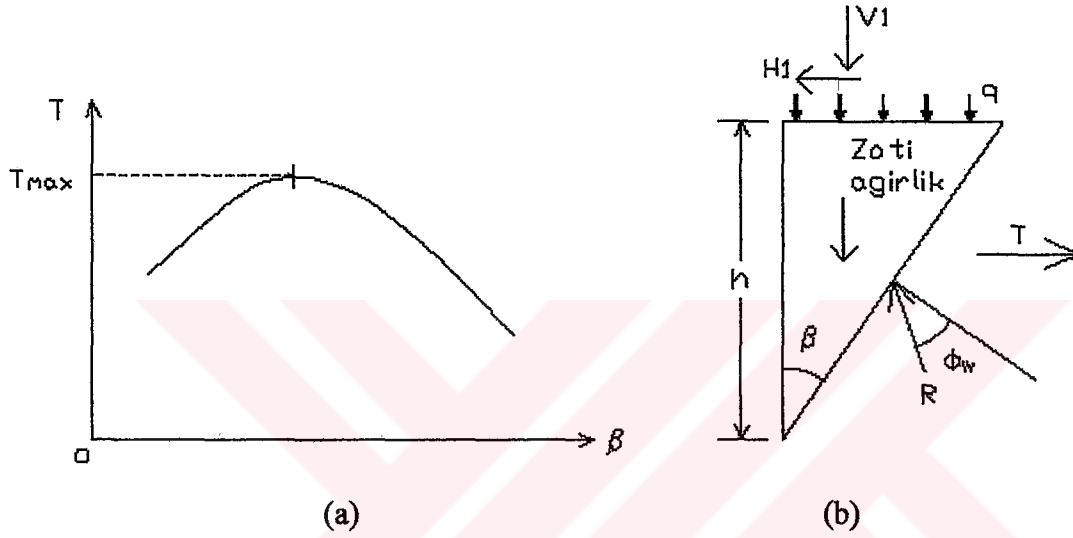
Tek bir donatıya gelen eksenel gerilme toplam gerilme değeri T nin kama tarafından kesilen donatı sayısına bölünmesi sonucu elde edilir.

$$T = \left[\frac{h \tan \beta (\gamma_w h + 2q) + 2V_1}{2 \tan(\Phi'_w + \beta)} \right] + H_1 \quad (3.17)$$

Ankraj

Maksimum gerilme değeri T bulunduğunda, tasarımcı tüm donatıların (çubuk, şilte, grid) sıyrılmayı engelleyecek ankraj uzunluğuna sahip olduğundan emin olmalıdır.

Yeterli ankraj uzunluğu zemin tipi ve donatı biçimine göre değişkenlik gösteren tesir katsayısı α yardımıyla hesaplanır. Bu katsayı genellikle 300 mm direkt kesme kutusu yada sıyrılmaya deneylerinden elde olunur.



Şekil 3.14 Kama kuvvet denkliği

Ankraj uzunluğunun hesabı maksimum gerilmenin tespiti ile mümkündür, kuşkusuz bulunan gerilmenin donatı mukavemet değerinden küçük olması gerekir. Denklem 3.18, h_i derinliğindeki bir donatının ankraj uzunluğunu bulmamızı sağlar.

$$Le = \frac{T_i \times G.S.}{2\alpha \tan \Phi_w (\gamma_w h_i + q)} \quad (3.18)$$

Formülün paydasındaki 2 katsayısı donatının her iki yüzünün de dikkate alındığını göstermektedir. Genellikle Güvenlik sayısı iki olarak seçilir.

4. TASARIM METODLARININ İNCELENMESİ

Daha öncede bahsedildiği gibi donatılı duvar tasarımı iki aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; harici denge ve dahili denge analizleridir. Bilindiği gibi, harici denge analizinde duvar, tek bir parça gibi düşünülüp, yapısına etkiyen yükler altındaki kayma, devrilme, taban ve heyelan stabilitesi gibi bir takım incelemelere tabi tutulur. Dahili denge analizindeyse duvara etkiyen yüklerin duvar tarafından karşılanabilmesi için birim duvar elemanına ait kesit değerleri belirlenir. Bu değerler donatı düşey ve yatay aralığı, donatı kesit ölçüleri ve uzunluğu, zemin sınıfı gibi bünyesel özelliklerdir.

Temel olarak donatılı duvar tasarımı aşağıdaki aşamaları içerir.

a) Donatılar arası düşey ve yatay mesafeleri Şekil 4.1. deki sınırlar dahilinde belirleyiniz. Malzeme olarak geotekstil kullanılması halinde düşey mesafe S_v 'nin tespit edilmesi önboyutlandırma için yeterlidir. Donatı düşey aralığı : S_v , $0.2m \leq S_v \leq 1.5m$ koşulunu sağlamalıdır. Donatı düşey aralığı, her derinlik için aynı seçilebileceği gibi derinlikle azalan değerler de alabilir. Donatılar arası yatay mesafe değeri : S_H , $0.8m \leq S_H \leq 1.5m$ koşulunu sağlamalıdır. Yanal toprak itkisini belirlemekte kullanılan birim genişlik değeri burada; donatılar arası yatay mesafeye karşılık gelmektedir.

b) Donatıların, duvara etkiyen yükler nedeniyle maruz kalacağı gerilmeleri hesaplayın. Bu hesaplama, donatı seviyesindeki toplam yanal basıncın bulunmasıyla kafi yakınsaklık derecesiyle gerçekleştirilir.

$$q_{hi} = q_h + \Delta q_h \quad (4.1)$$

Burada,

q_h = duvar geri dolgusu ve üniform sürüşarj kaynaklı Rankine yada Coulomb yanal toprak itkisidir.

Δq_h = bölgesel sürüşarj kaynaklı yanal toprak itkisidir.

Eşitlik 4.1 den hesaplanan toplam basınç değeri yardımı ile donatı gerilmeleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$T_i = A_c q_{hi} \quad (4.1a)$$

Burada A_c = efektif alan olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

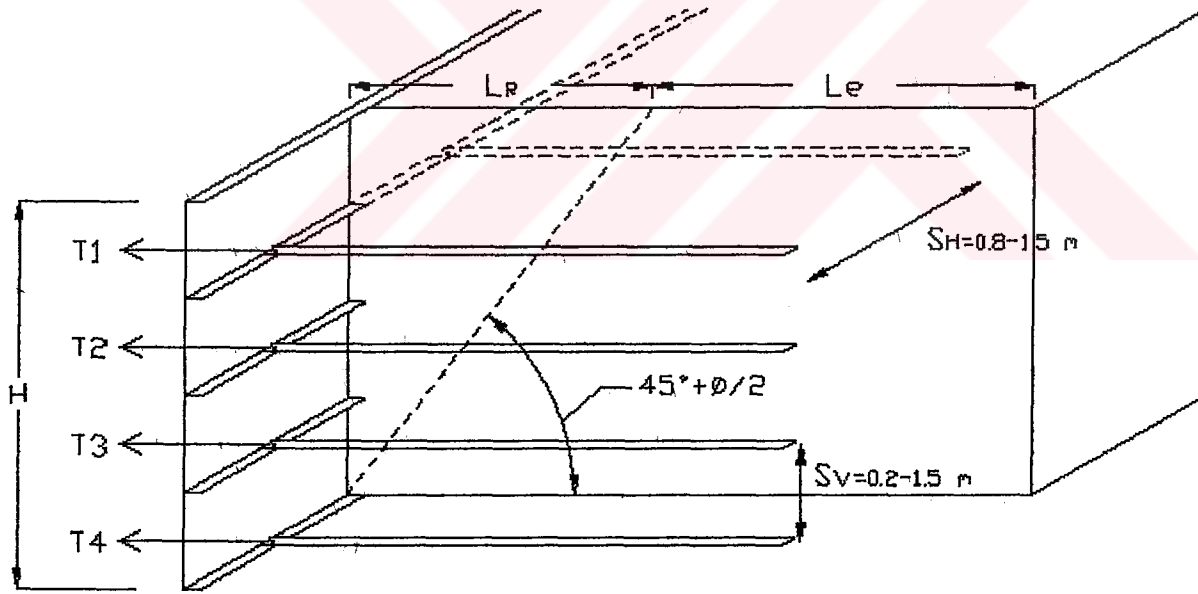
$$A_c = \frac{h_i + h_{i+1}}{2} s$$

ve sonuç olarak hesaplanan gerilmeler aşağıdaki eşitliği sağlamalıdır.

$$\Sigma T_i = s \times (P_{ah} + \Delta q \text{ diyagram alanı}) \quad (4.1b)$$

Denklem 4.1.b, donatılara aktarılan yüklerin, yapının birim uzunluğuna etkiyen yanal toprak itkisine eşitlenmesi olarak özetlenebilir.

c) Donatı uzunluğu L_e ' yi hesaplayın. GS = güvenlik sayısı olmak üzere gerekli olan sürtünme direnci $F_r = T_i \times GS$ şeklinde hesaplanır (yada $L_{e, \text{tasarım}} = L_{e, \text{hesaplanan}} \times GS$). Tüm duvar yüksekliğince aynı uzunlukta donatı seçilmesi uygulamada kolaylık sağlamakla birlikte tercih edilip edilmemesi tasarımla sorumlu olan mühendisin kararına bağlıdır. Tutunma uzunluğu Zemin-donatı sürtünme katsayısı ile ilişkilidir ve bu katsayı $f = \tan \delta$ şeklinde formülize edilebilir. Burada, δ : 1.0, 0.8, 0.6 Φ gibi Φ nin katları halindedir. δ değerinin büyüklüğünün tayini kullanılan donatı malzemesinin pürüzlülüğü ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Örneğin pürüzlülüğü yüksek malzemeli donatılar için $\delta = \Phi$ olarak, düzgün yüzeyli donatılar için; $\delta = 20-25^\circ$ olarak hesaba dahil edilmelidir (Joseph E. Bowles, 1996).



Şekil 4.1 Donatılı Duvarda donatı mesafeleri

Şerit donatılarda $b \times L_e$ büyüklüğü ile orantılı, geotekstil şiltelerdeyse birim genişlik $\times L_e$ büyüklüğü ile orantılı (her iki yüzde) sürtünme direnci oluşur. Daire kesitli (rot/mil) donatılarda çevre alanı büyüklüğü ile artan bir direnç söz konusudur. Yukarıda bahsetmiş olduğumuz bütün hallerde sürtünme direnci f (çevre alanı) $\times$ donatıya etkiyen düşey gerilmenin ürünüdür. Donatıya etkiyen düşey kuvvetin büyüklüğü : $p_o = \gamma z_i$ şeklinde hesaplanır, burada z_i duvar üst yüzeyinden donatıya kadar olan mesafeye tekabül eder. Bütün

bu yaklaşımların ışığında Fr = tutunma kuvvetlerini ($Fr > \text{sıyrılma kuvveti}$) aşağıdaki şekilde formülize edebiliriz.

$$\text{Şerit: } Fr = 2(\gamma z_i)(bxL_e)\tan\delta \geq T_i \times GS \quad (4.2.a)$$

$$\text{Mil: } Fr = \Pi D(\gamma z_i)L_e \tan\delta \geq T_i \times GS \quad (4.2.b)$$

$$\text{Şilte: } Fr = 2(\gamma z_i)(1xL_e)\tan\delta \geq T_i \times GS \quad (4.2.c)$$

Burada;

B = şerit genişliği, D = mil çapı ve 1 = şilte genişliğidir.

d) Daha sonra uygun kesit alanını tayin ediniz. Şerit için bxt , mil için çap ve geotekstil için uygun mukavemet değerine sahip şilte seçilir.

Bütün bu elemanlar için nihai gerilme mukavemetini azaltıcı güvenlik sayısının tespiti gereklidir. Metaller için 1,5 ile 1,67 arasındaki bir güvenlik sayısının seçilmesi yaygın uygulamalardandır. Bununla birlikte izin verilebilir gerilme farklı güvenlik parametrelerinin etkili olduğu bir formülasyonla hesaplanabilir.

$$T_{izin} = T_{nih} \left(\frac{1}{GS_{id} \times GS_{cr} \times GS_{cd} \times GS_{bd} \times GS_{if} \times GS_{\phi}} \right) \quad (4.3)$$

Burada,

T_{izin} = İzin verilebilir eksenel gerilme

T_{nih} = nihai eksenel gerilme mukavemeti

GS_{id} = yerleştirme hasarı faktörü, geotekstillerde : 1.1 ila 1.5 arasında, metaller için 1 kabul edilir.

GS_{cr} = krip faktörü (geotekstillerde 1-3, metallerde 1)

GS_{cd} = kimyasal hasar yada korozyon faktörü (geotekstillerde 1 ila 1.5 , metallerde 1 ila 1.2)

GS_{bd} = biyolojik nedenlerle malzeme yıpranması (geotekstillerde 1-1.3 , metallerde 1-1.2)

GS_{if} = Yapı önem faktörü (1-1.5)

GS_{ϕ} =genel faktör (geotekstillerde 1, metallerde 1.3-1.4)

Metall güçlendirme donatı şeritleri günümüzde $b = 75$ ila 100 mm ve $t = 3$ ila 5 mm (yaklaşık her yüz için $+1$ mm korozyon payı eklenmelidir) kesit ölçü seçenekleriyle projelendirilmektedir (Joseph E. Bowles.1996).

4.1 Sayısal Analiz

Şekil 4.2 de verilen donatılı duvarı boyutlandırılım.

Malzeme ve duvar özellikleri:

Donatı yatay aralığı (S_H) : 1 m

Donatı düşey aralığı (S_V) : 1 m

Donatılar, yüzey panellerinin merkezlerine tutturulmuştur.

Yüzey paneli özellikleri : 200 mm kalınlığında, 1000 kg yada 9.807 kN ağırlığında, birbirlerine kenetlenilebilir artı (+) şeklinde betonarme elemanlar.

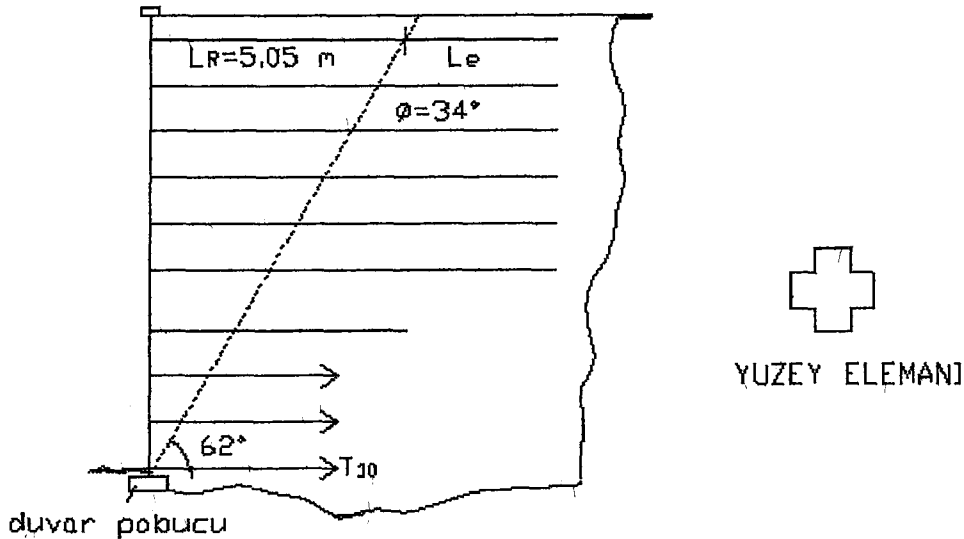
Çelik donatı izinverilebilir gerilme değeri : $250 \text{ Mpa} / 1.786 = 140 \text{ Mpa}$

Zemin kayma mukavemeti açısı (Φ) : 34°

Zemin birim hacim ağırlığı (γ) : 17.30 kN/m^3

$\delta = 0.7 \times 34 = 24^\circ$ kabul ediniz.

Duvarın üst bölümündeki üniformalığı sağlayabilmek amacıyla üst yüzey panellerine oturan 150 mm kalınlığında betonarme şapka yerleştirilmiştir. Ayrıca doğrusalığı sağlamak, panellerin zati ağırlığını zemine yayabilmek ve farklı oturmaları engellemek amacıyla ilk sıra yüzey panelleri altında temel pabucu oluşturulmuştur. Formül 3.7 ye bakıldığında duvar dolgusu gerisindeki topraktan kaynaklanan moment ve buna bağlı olarak ortaya çıkan gerilme değeri T_i değerinin hesabında etkilidir. Fakat bazı tasarım metotlarında bu gerilme değeri gözönünde bulundurulmamıştır. Bu örnek üç farklı yöntemle çözülmüştür. 1 ve 2 nolu çözümlerde yanal toprak basıncı katsayısı k , derinlikle sabit kabul edilmiştir. 3 nolu çözümde ise daha önce uygun ağırlık analizi adıyla andığımız metot kullanılmıştır.



Şekil 4.2 Sayısal analize ait donatılı duvar şekli

Çözüm 1 ($K_{AW}.K_{AB}(\gamma h_i+3q)(h_i/L)^2$ Sv.S_H ihmal hali) :

$$K = K_a = \tan^2(45 - \Phi/2) \text{ (derinlikle sabit)}$$

$$= \tan^2(45-34/2) = 0.283$$

$f = \tan \delta \Rightarrow \tan 24 = 0.445$ Ti ve L_e değerleri aşağıdaki şekilde bulunur.

Çizelge 4.1 1 nolu çözüme ait donatı gerilme ve uzunlukları

Donatı No.	zi, m	Ti = $\gamma z_i(1 \times 1)K_a$, KN	$L_e = \frac{T_i \times GS}{2b \tan \delta (\gamma z_i)}$, m
1	0.5	2.45	4.77
2	1.5	7.34	“
3	2.5	12.24	“
4	3.5	17.14	“
5	4.5	22.03	“
6	5.5	26.93	“
7	6.5	31.82	“
8	7.5	36.72	“
9	8.5	41.62	“
10	9.5	46.51	4.77
$\Sigma T_i = 244.80 \text{ kN}$			

4.1. b formülü gereği,

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$$

$P_a = \frac{1}{2} (17.30)(10^2)(0.283) = 244.80 \text{ kN/m}$ hesaplanmış ve donatı gerilmeleri toplam değerine eşit olduğu görülmüştür.

En çok gerilmeye maruz kalan donatı 10 nolu donatı olduğu için donatı kesiti T_{10} değerine göre belirlenmelidir. Burada donatı kesit genişliği $b = 100 \text{ mm}$ kabul edilmiştir ($H/100$).

$$B \times t \times f_a = T_i$$

$$0.100 (t)(140) = 46.51 \text{ kN}$$

$$(140 \text{ Mpa} = 140 \times 1000 \text{ kPa})$$

$$t = \frac{46.51}{0.10(140)(1000)} = 0.00332 \text{ m} \Rightarrow 3.32 \text{ mm}$$

Bu değer her iki taraftan 1 mm ye yakın paspayı ile 5mm olarak seçilir.
 $t = 5\text{mm}$ ve hesaplanan değerler aşağıdaki formülde yerlerine konulursa,

$$L_e = \frac{(G.S)(T_i)}{2b(\tan \delta)(\gamma z_i)} = \frac{1.5T_i}{2(0.1)(0.445 \times 17.30 z_i)}$$

$z_i = 0.5$ m için $L_e = 4.77$ m bulunur ve diğer derinliklerdeki donatılar için L_e hesaplandığında değerin sabit ve 4.77 m olduğu görülür. Şimdide L_g aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\rho = 45^\circ + \Phi/2 = 62^\circ$$

temelden 9.5 m yükseklikteki Rankine bölgesi sınırı

$$L_R = 9.5 \times \tan(90^\circ - 62^\circ) = 9.5 \times \tan 28^\circ = 5.05 \text{ m}$$

$$L_g = L_R + L_e = 5.05 + 4.77 = 9.82 \text{ m}$$

Bu uzunluğu her donatı için esas olarak kabul edebileceğimiz gibi her seviye için L_g değerini hesaplayarak ekonomik bir çözüme de gidebiliriz.

$$\text{Tabandan } 0.5 \text{ m yükseklikte : } L_g = 0.5 \times \tan 28^\circ + 4.77 = 5.04 \text{ m}$$

$$\text{Tabandan } 4.5 \text{ m yükseklikte : } L_g = 4.5 \times \tan 28^\circ + 4.77 = 7.16 \text{ m}$$

$$\text{Tabandan } 9.5 \text{ m yükseklikte : } L_g = 9.5 \times \tan 28^\circ + 4.77 = 9.82 \text{ m}$$

Aradaki değerler yukarıdaki gibi de hesaplanabileceği gibi doğrusal değerler olduğu için Totonman kullanılarak da hesaplanabilir.

Bütün bunlara ek olarak duvarın dışsal analizleri de yapılmalıdır. Dışsal analizde duvar genişliği $B = \text{sabit} = 9.82$ m seçilip bölüm 3.2. de anlatıldığı gibi çözülebilir. Her derinlikteki donatı uzunluğunun farklı seçilmesi halindeyse dışsal analiz aşağıdaki gibi yapılmalıdır.

Taban basıncı tahkiki : taban gerilmesi tahkikini duvarın birim uzunluğu için her derinlikte kontrol edilmesi gerekir.

Kayma direnci : donatıların lineer değişime sahip olarak kabul edilmesi halinde donatılı duvarımızın ağırlığı ortalama genişliğin yoğunluk ve duvar yüksekliği ile çarpılması sonucunda elde edilir.

$$W = 17.30(10) \frac{9.82 + 5.04}{2} \times 1 = 1286 \text{ kN}$$

$$F_R = W \tan \Phi = 1286 \tan 34^\circ = 867 \text{ kN} \gg P_a = 244.8 \text{ kN}$$

$$\text{kaymaya karřagüvenlik} = \frac{867}{244.8} = 3.5$$

Çözüm 2 ($T_i = K_{AW} [(\gamma h_i + q) + K_{AB}(\gamma h_i + 3q)(h_i/L)^2] S_v.S_H$ hali) :

$$k = k_a = 0.283 \text{ (derinlikle sabit)}$$

Harici denge :

Kayma direnci :

$K_a = 0.283$ için formül 3.1 kullanılarak,

$$G.S. = \frac{2 \tan 34. (\gamma . H)}{K_a. (\gamma . H). \frac{H}{L}}$$

$$G.S. = 2 < 0.47668 . L \rightarrow L > 4.196 \text{ m}$$

$L = 5 \text{ m}$ kaymaya karşı direnç için yeterlidir. Fakat 3. bölümde yer alan ön boyutlandırma esaslarına bakıldığında duvar genişliğinin duvar yüksekliğine oranının 0.8 den büyük olması gerektiği görülür.

$$L / 10 > 0.8 \rightarrow L > 8 \text{ m}$$

1 nolu çözüm de gözönünde bulundurulursa,

$$\rightarrow L = 10 \text{ m seçilir.}$$

Devrilmeye karşı direnç :

Formül 3.2 den,

$$G.S. = \frac{3. (\gamma . H + q)}{K_a. (\gamma . H + 3q) \left(\frac{H}{L} \right)^2} = \frac{3L^2}{KaH^2}$$

$L = 10 \text{ m}$ ve $H = 10 \text{ m}$ için,

$$G.S. = \frac{3. \times 100}{0.283 \times 100} = 10.6 > 2$$

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Dahili denge :

Şekil 4.2 de gösterildiği gibi düzenlenen donatılı duvardaki donatı gerilme değerlerini hesaplayalım. Formül 3.7, çözdüğümüz donatılı duvar üzerine etkiyen sürşarj yükünün olmaması münasebetiyle aşağıdaki hali alır.

$$T_i = K_a [\gamma h_i + K_a (\gamma h_i) (h_i / L)^2] \times S_v \cdot S_H$$

$$T_{0,5} = 0.283(17.3 \times 0.5 + 0.283 \times 17.3 \times 0.5 \times 0.5^2 / 100) \times 1 \times 1$$

$$T_{0,5} = 2.45 \text{ kN}$$

Diğer donatılardaki gerilme değerleri ve donatı uzunlukları Çizelge 4.2 de yer almaktadır. Donatı kesidini belirleyebilmek amacıyla Çizelge 4.2 deki en büyük gerilme değeri gözönünde bulundurulur.

b = 100 mm için,

$$t = \frac{58.39}{0.1(140)1000} = 0.00417 \text{ m} \rightarrow 4.17 \text{ mm}$$

paspayı da gözönünde bulundurularak t = 5.5 mm seçilir.

Çizelge 4.2 2 nolu çözüme ait donatı gerilme uzunlukları (Lg : gerekli donatı uzunluğu, Ls : seçilen donatı uzunluğu)

D.No	Zi, [m]	Ti [kN]	Le [m]	Lg [m]	Ls [m]
1	0.5	2.45	4.77	9.82	10
2	1.5	7.39	4.8	9.32	10
3	2.5	12.46	4.86	8.85	10
4	3.5	17.73	4.94	8.4	10
5	4.5	23.29	5.04	7.96	10
6	5.5	29.23	5.18	7.57	10
7	6.5	35.63	5.34	7.2	10
8	7.5	42.56	5.53	6.86	10
9	8.5	50.12	5.74	6.54	10
10	9.5	58.39	5.99	6.26	10

$$L_e = \frac{1.5 T_i}{2.(0.10)(0.445 \times 17.30 \times z_i)} = 0.97422 \frac{T_i}{z_i}$$

$$Le_{0.5} = 4.77 \text{ m}$$

Ve diğer derinlikler için Le değerleri hesaplanır.

$$z = 0.5 \text{ için } Lg = 9.5 \times \tan 28 + 4.77 = 9.82 \text{ m}$$

$$z = 1.5 \text{ için } Lg = 8.5 \times \tan 28 + 4.8 = 9.32 \text{ m}$$

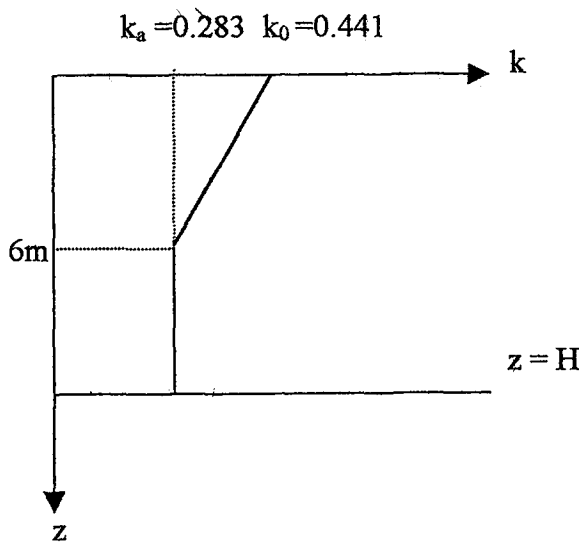
$$z = 8.5 \text{ için } Lg = 1.5 \times \tan 28 + 5.74 = 6.54 \text{ m}$$

$$z = 9.5 \text{ için } Lg = 0.5 \times \tan 28 + 5.99 = 6.26 \text{ m}$$

ve diğer derinlikler için Lg uzunlukları yukarıdaki şekilde hesaplanır.

Çözüm 3 : (k derinlikle değişken)

Basit tasarım yöntemlerindeki (geri bağ – kama analizi) kabuller, yapılan ölçme ve gözlemlere tamamen uymamaktadır. Çekme kuvvetinin donatı boyunca değişimi, kabullerden farklı olarak, genellikle duvar yüzünde küçük ve hatta sıfır olmakta, duvar arkasında belli bir mesafede maksimum değere ulaşmaktadır. Maksimum çekme kuvvetlerinin olduğu noktaların geometrik yeri, Rankine kırılma düzlemi ile ancak alt donatı seviyelerinde çakışmaktadır. Ölçmelerle de belirlendiği gibi aktif bölgenin büyük bir kısmı sükunetteki toprak basıncına tekabül eden gerilim durumundadır. McKittrick (1979) tasarım için hakiki durumu daha iyi yansıtan pratik öneriler geliştirmiştir. Bunlar, yanal toprak basıncının saptanması için k değerinin seçimi, muhtemel kırılma yüzeyi ve efektif donatı uzunluğu L_e 'nin belirlenmesi (Şekil 3.7) içindir (Wasti, ve Özçelik, 1987).



Şekil 4.3 3. çözüme ait yanal toprak basıncı katsayısı değişimi

Çizelge 4.3 3 nolu çözüme ait donatı kuvveti ve uzunlukları

Donatı No.	z _i , m	T _i = $\gamma z_i(1 \times 1)k$ KN	L _e m	L _r m	L _Σ m
1	0.5	3.7	7.21	3	10.21
2	1.5	10.432	6.78	3	9.78
3	2.5	16.22	6.32	3	9.32
4	3.5	21.13	5.88	3	8.88
5	4.5	25.15	5.44	3	8.44
6	5.5	28.164	4.99	2.4	7.69
7	6.5	31.82	4.77	1.9	6.87
8	7.5	36.72	4.77	1.33	6.27
9	8.5	41.62	4.77	0.8	5.67
10	9.5	46.51	4.77	0.27	5.07

5. PARAMETRİK ANALİZ

5.1. Farklı Yüksekliklerdeki Donatılı Zemin Duvarlara Ait Sayısal Analiz

5.1.1 Geri Bağ – Kama analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki

($k = k_a$ derinlikle sabit)

$$S_V = S_H = 1 \text{ m}, \quad \gamma = 17.3 \text{ kN/m}^3, \quad b = 100 \text{ mm}, \quad f_a = 140 \text{ MPa}$$

$$H = 4 \text{ m}, \quad \Phi = 26^\circ$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,377	8,907	2,187	11,094
2	1,5	10,132	8,907	1,562	10,469
3	2,5	16,887	8,907	0,937	9,844
4	3,5	23,642	8,907	0,312	9,219
$\Sigma :$					40,626

$$A_s = 0,000169 \text{ m}^2, \quad \Sigma Vd = 0,00687 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$H = 4 \text{ m}, \quad \Phi = 27^\circ$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,248	8,226	2,145	10,371
2	1,5	9,745	8,226	1,532	9,758
3	2,5	16,241	8,226	0,919	9,145
4	3,5	22,738	8,226	0,306	8,533
$\Sigma :$					37,807

$$A_s = 0,000162 \text{ m}^2, \quad \Sigma Vd = 0,00612 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$H = 4 \text{ m}, \quad \Phi = 28^\circ$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,123	7,604	2,103	9,707
2	1,5	9,369	7,604	1,502	9,106
3	2,5	15,615	7,604	0,901	8,506
4	3,5	21,861	7,604	0,300	7,905
$\Sigma :$					35,224

$$A_s = 0,000156 \text{ m}^2, \quad \Sigma Vd = 0,0055 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$H = 4 \text{ m}, \Phi = 29^\circ$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,001	7,035	2,062	9,097
2	1,5	9,004	7,035	1,473	8,508
3	2,5	15,007	7,035	0,884	7,919
4	3,5	21,009	7,035	0,295	7,329
Σ :					32,853

$$As = 0,00015 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,00493 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$H = 4 \text{ m}, \Phi = 30^\circ$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,883	6,513	2,021	8,533
2	1,5	8,650	6,513	1,443	7,956
3	2,5	14,417	6,513	0,866	7,379
4	3,5	20,183	6,513	0,289	6,801
Σ :					30,669

$$As = 0,000144 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,00442 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$H = 4 \text{ m}, \Phi = 31^\circ$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,769	6,033	1,980	8,013
2	1,5	8,307	6,033	1,414	7,447
3	2,5	13,844	6,033	0,849	6,881
4	3,5	19,382	6,033	0,283	6,316
Σ :					28,657

$$As = 0,000138 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,00395 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$H = 4 \text{ m}, \Phi = 32^\circ$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,658	5,591	1,940	7,531
2	1,5	7,973	5,591	1,386	6,977
3	2,5	13,289	5,591	0,831	6,422
4	3,5	18,605	5,591	0,277	5,868
Σ :					26,798

$$As = 0,000133 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,00356 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$H = 4 \text{ m}, \Phi = 33^\circ$$

Donati No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,550	5,184	1,900	7,084
2	1,5	7,650	5,184	1,357	6,541
3	2,5	12,750	5,184	0,814	5,998
4	3,5	17,850	5,184	0,271	5,455
Σ :					25,078

$$As = 0,000128 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,00321$$

$$H = 4 \text{ m}, \Phi = 34^\circ$$

Donati No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,445	4,808	1,861	6,668
2	1,5	7,336	4,808	1,329	6,137
3	2,5	12,227	4,808	0,798	5,605
4	3,5	17,118	4,808	0,266	5,073
Σ :					23,483

$$As = 0,000122 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,00286$$

$$H = 5 \text{ m}, \Phi = 26^\circ$$

$$As = 0,000217 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,0114 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donati No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,377	8,907	2,812	11,719
2	1,5	10,132	8,907	2,187	11,094
3	2,5	16,887	8,907	1,562	10,469
4	3,5	23,642	8,907	0,937	9,844
5	4,5	30,397	8,907	0,312	9,219
Σ :					52,345

$$H = 5 \text{ m}, \Phi = 27^\circ$$

$$As = 0,000209 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,0102 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donati No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,248	8,226	2,758	10,984
2	1,5	9,745	8,226	2,145	10,371
3	2,5	16,241	8,226	1,532	9,758
4	3,5	22,738	8,226	0,919	9,145
5	4,5	29,235	8,226	0,306	8,533
Σ :					48,791

$$H = 5 \text{ m}, \Phi = 28^\circ$$

$$As = 0,000201 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,00915 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,123	7,604	2,704	10,308
2	1,5	9,369	7,604	2,103	9,707
3	2,5	15,615	7,604	1,502	9,106
4	3,5	21,861	7,604	0,901	8,506
5	4,5	28,106	7,604	0,300	7,905
$\Sigma :$					45,532

$$H = 5 \text{ m}, \Phi = 29^\circ$$

$$As = 0,000193 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,00821 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,001	7,035	2,651	9,686
2	1,5	9,004	7,035	2,062	9,097
3	2,5	15,007	7,035	1,473	8,508
4	3,5	21,009	7,035	0,884	7,919
5	4,5	27,012	7,035	0,295	7,329
$\Sigma :$					42,539

$$H = 5 \text{ m}, \Phi = 30^\circ$$

$$As = 0,000185 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,0074 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,883	6,513	2,598	9,111
2	1,5	8,650	6,513	2,021	8,533
3	2,5	14,417	6,513	1,443	7,956
4	3,5	20,183	6,513	0,866	7,379
5	4,5	25,950	6,513	0,289	6,801
$\Sigma :$					39,78

$$H = 5 \text{ m}, \Phi = 31^\circ$$

$$As = 0,000178 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,00663 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,769	6,033	2,546	8,579
2	1,5	8,307	6,033	1,980	8,013
3	2,5	13,844	6,033	1,414	7,447
4	3,5	19,382	6,033	0,849	6,881
5	4,5	24,920	6,033	0,283	6,316
$\Sigma :$					37,236

$$H = 5 \text{ m}, \Phi = 32^\circ$$

$$A_s = 0,000171 \text{ m}^2, \Sigma V_d = 0,00596 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,658	5,591	2,494	8,085
2	1,5	7,973	5,591	1,940	7,531
3	2,5	13,289	5,591	1,386	6,977
4	3,5	18,605	5,591	0,831	6,422
5	4,5	23,920	5,591	0,277	5,868
$\Sigma :$					34,883

$$H = 5 \text{ m}, \Phi = 33^\circ$$

$$A_s = 0,000164 \text{ m}^2, \Sigma V_d = 0,00536 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,550	5,184	2,443	7,627
2	1,5	7,650	5,184	1,900	7,084
3	2,5	12,750	5,184	1,357	6,541
4	3,5	17,850	5,184	0,814	5,998
5	4,5	22,950	5,184	0,271	5,455
$\Sigma :$					32,705

$$H = 5 \text{ m}, \Phi = 34^\circ$$

$$A_s = 0,000157 \text{ m}^2, \Sigma V_d = 0,00482 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,445	4,808	2,393	7,200
2	1,5	7,336	4,808	1,861	6,668
3	2,5	12,227	4,808	1,329	6,137
4	3,5	17,118	4,808	0,798	5,605
5	4,5	22,009	4,808	0,266	5,073
$\Sigma :$					30,683

Yukarıdaki çözümlere bakıldığında, $H = 4 \text{ m}$, $\Phi = 26^\circ$ olan duvara ait $T_1 : 0.5 \text{ m}$ derinliğindeki donatı kuvveti büyüklüğünün, $H = 5 \text{ m}$, $\Phi = 26^\circ$ olan duvarın $T_1 : 0.5 \text{ m}$ derinliğindeki donatı kuvveti büyüklüğüne eşit olduğu görülür. Aynı zamanda bu eşitliğin derinlikleri birbirine eşit diğer donatılar için de geçerli olduğu görülmektedir. Farklı kayma mukavemeti açıları ve farklı duvar yükseklikleri için yapılan çözümlere bakıldığında, kayma mukavemeti ve derinlikleri birbirine eşit donatılara ait kuvvetlerin de birbirine eşit olduğu görülür.

Yukarıdaki sonuçlara bakıldığında $H = 4\text{m}$, $\Phi = 26^\circ$ olan duvara ait L_{e1} : 0.5 m derinliğindeki donatı tutunma uzunluğunun, diğer derinliklerdeki donatı tutunma uzunluklarına eşit olduğu görülür. Sonuçlara bakıldığında kayma mukavemeti açıları ve kesit özellikleri birbirine eşit farklı yüksekliklerdeki donatılı duvarların L_e uzunluklarının da birbirine eşit olduğu görülür. Bu eşitliğin nedenini anlayabilmek için L_e uzunluğunun hangi parametrelere bağlı olduğu araştırılmalıdır.

$$L_e = \frac{G.S \times T_i}{2b(\tan \delta)\gamma.z_i} \quad \text{formülünde } T_i \text{ yerine } \gamma.z_i.K_a.S_v.S_H, \tan \delta \text{ yerine } \tan(0.7\Phi)$$

yazıldığında formül aşağıdaki şekli alır.

$$L_e = \frac{G.S \times K_a.S_v.S_H}{2b \tan(0.7\Phi)} \quad L_e\text{'nin bağlı olduğu değerlere bakıldığında, duvar yüksekliği ve}$$

donatı derinliğinin olmadığı görülür. Donatı yatay ve düşey aralıkları, Φ açıları, birbirine eşit yükseklikleri birbirinden farklı iki duvara ait L_e uzunluklarının birbirine eşit çıkmasının nedeni L_e formülünde H etkisinin olmayışdır.

L_R : hareketli bölgedeki uzunluk değerlerine bakıldığında, (h : duvar tabanından donatı seviyesine kadar olan uzunluk) $H = 4\text{m}$, $\Phi = 26^\circ$ olan duvara ait L_{R4} : $h = 0.5$ metredeki hareketli bölge uzunluğunun, $H = 5\text{m}$, $\Phi = 26^\circ$ olan duvara ait L_{R5} : 0.5 metredeki hareketli bölge uzunluğuna ve aşağıda çözümleri bulunan $H = 6\text{m}$, $\Phi = 26^\circ$ olan duvara ait L_{R6} uzunluğuna eşit olduğu görülür. Bu eşitlik diğer Φ değerleri için yapılan çözümlerde de aynıdır. Bu eşitliğin nedenini anlayabilmek için L_R uzunluğunun hangi parametrelere bağlı olduğu araştırılmalıdır.

Bilindiği üzere L_R değeri, $L_R = \tan (45 - \Phi/2) \times h$ bağıntısı ile hesaplanır. Bu formülde değişkenlerin Φ ve h olduğu görülür. Φ ve h değerleri değişmediği sürece L_R değerinin aldığı değer de sabit kalır bu nedenden dolayı, $L_{R4H=4}$, $L_{R5H=5}$, $L_{R6H=6}$ uzunlukları birbirlerine eşit çıkar. Bu eşitlik sabit kayma mukavemeti açıları için, $L_{R4H=4} = L_{R5H=5} = L_{R6H=6} = \dots = L_{RnH=n}$ olarak özetlenebilir ($L_{RnH=n}$: $H=n$ metre yüksekliğindeki bir duvarın n . Donatı uzunluğu).

Toplam donatı uzunlukları (L) sonuçları, L_R uzunluğu için söylediğimiz yargılara benzer bir ilişki içerisinde. $H = 4\text{m}$, $\Phi = 26^\circ$ olan duvara ait L_4 : $h = 0.5$ metredeki toplam donatı uzunluğunun, $H = 5\text{m}$, $\Phi = 26^\circ$ olan duvara ait L_5 : 0.5 metredeki toplam donatı uzunluğuna ve aşağıda çözümleri bulunan $H = 6\text{m}$, $\Phi = 26^\circ$ olan duvara ait L_6 uzunluğuna eşit olduğu

görülür. Bu eşitlik diğer Φ değerleri için yapılan çözümlerde de aynıdır. Bu eşitliğin nedenini anlayabilmek için L uzunluğunun hangi parametrelere bağlı olduğu araştırılmalıdır.

Bilindiği gibi L : toplam donatı uzunluğu L_R ve L_e değerlerinin toplamına eşittir.

$L = L_R + L_e$, L_R ve L_e değerleri açıldığında L değerinin,

$$L = \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \times h + \frac{G.S \times K_a \cdot S_v \cdot S_H}{2b \tan(0.7\Phi)} \quad (5.1)$$

Formül 5.1 incelendiğinde h , Φ , b , S_v ve S_H değerlerinin sabit kalması halinde L değerinin değişmeyeceği açıkça görünür. Bu eşitlik $L_{4H=4} = L_{5H=5} = L_{6H=6} = \dots = L_{nH=n}$ olarak özetlenebilir ($L_{nH=n}$: $H=n$ metre yüksekliğindeki bir duvarın n . Donatısının toplam uzunluğu).

$$S_v = S_H = 1 \text{ m}, \quad \gamma = 17,3 \text{ kN/m}^3, \quad b = 100 \text{ mm}, \quad f_a = 140 \text{ MPa}$$

$$H = 6 \text{ m}, \quad \Phi = 26^\circ$$

$$A_s = 0,000265 \text{ m}^2, \quad \Sigma Vd = 0,0171 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,377	8,907	3,437	12,344
2	1,5	10,132	8,907	2,812	11,719
3	2,5	16,887	8,907	2,187	11,094
4	3,5	23,642	8,907	1,562	10,469
5	4,5	30,397	8,907	0,937	9,844
6	5,5	37,152	8,907	0,312	9,219
Σ :					64,689

$$H = 6 \text{ m}, \quad \Phi = 27^\circ$$

$$A_s = 0,000255 \text{ m}^2, \quad \Sigma Vd = 0,0154 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,248	8,226	3,370	11,597
2	1,5	9,745	8,226	2,758	10,984
3	2,5	16,241	8,226	2,145	10,371
4	3,5	22,738	8,226	1,532	9,758
5	4,5	29,235	8,226	0,919	9,145
6	5,5	35,731	8,226	0,306	8,533
Σ :					60,388

$$H = 6 \text{ m}, \Phi = 28^\circ$$

$$As = 0,000245 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,0138 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,123	7,604	3,305	10,909
2	1,5	9,369	7,604	2,704	10,308
3	2,5	15,615	7,604	2,103	9,707
4	3,5	21,861	7,604	1,502	9,106
5	4,5	28,106	7,604	0,901	8,506
6	5,5	34,352	7,604	0,300	7,905
$\Sigma :$					56,441

$$H = 6 \text{ m}, \Phi = 29^\circ$$

$$As = 0,000236 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,0125 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,001	7,035	3,240	10,275
2	1,5	9,004	7,035	2,651	9,686
3	2,5	15,007	7,035	2,062	9,097
4	3,5	21,009	7,035	1,473	8,508
5	4,5	27,012	7,035	0,884	7,919
6	5,5	33,015	7,035	0,295	7,329
$\Sigma :$					52,814

$$H = 6 \text{ m}, \Phi = 30^\circ$$

$$As = 0,000227 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,0112 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,883	6,513	3,175	9,688
2	1,5	8,650	6,513	2,598	9,111
3	2,5	14,417	6,513	2,021	8,533
4	3,5	20,183	6,513	1,443	7,956
5	4,5	25,950	6,513	0,866	7,379
6	5,5	31,717	6,513	0,289	6,801
$\Sigma :$					49,468

$$H = 6 \text{ m}, \Phi = 31^\circ$$

$$As = 0,000218 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,0101 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,769	6,033	3,112	9,145
2	1,5	8,307	6,033	2,546	8,579
3	2,5	13,844	6,033	1,980	8,013
4	3,5	19,382	6,033	1,414	7,447
5	4,5	24,920	6,033	0,849	6,881
6	5,5	30,457	6,033	0,283	6,316
$\Sigma :$					46,381

$$H = 6 \text{ m}, \Phi = 32^\circ$$

$$A_s = 0,000209 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,0091 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,658	5,591	3,049	8,640
2	1,5	7,973	5,591	2,494	8,085
3	2,5	13,289	5,591	1,940	7,531
4	3,5	18,605	5,591	1,386	6,977
5	4,5	23,920	5,591	0,831	6,422
6	5,5	29,236	5,591	0,277	5,868

$$\Sigma : 43,523$$

$$H = 6 \text{ m}, \Phi = 33^\circ$$

$$A_s = 0,0002 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,0082 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,550	5,184	2,986	8,170
2	1,5	7,650	5,184	2,443	7,627
3	2,5	12,750	5,184	1,900	7,084
4	3,5	17,850	5,184	1,357	6,541
5	4,5	22,950	5,184	0,814	5,998
6	5,5	28,050	5,184	0,271	5,455

$$\Sigma : 40,875$$

$$H = 6 \text{ m}, \Phi = 34^\circ$$

$$A_s = 0,000192 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,00738 \text{ m}^3/\text{m}$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,445	4,808	2,924	7,732
2	1,5	7,336	4,808	2,393	7,200
3	2,5	12,227	4,808	1,861	6,668
4	3,5	17,118	4,808	1,329	6,137
5	4,5	22,009	4,808	0,798	5,605
6	5,5	26,900	4,808	0,266	5,073

$$\Sigma : 38,415$$

Yukarıdaki sonuçların ışığında;

- kayma mukavemeti açıları, düşey ve yatay donatı aralıkları, zemin birim hacim ağırlıkları birbirine eşit, yükseklikleri birbirinden farklı olan duvarların aynı derinlikteki donatılarına ait gerilmeler birbirine eşittir. (ör., $T_{Z=2,5 \text{ H}=6\text{m}} = T_{Z=2,5 \text{ H}=5\text{m}}$)

- Zemin ve kesit özellikleri birbirine eşit, yükseklikleri (H) birbirinden farklı olan duvarlarda aynı yükseklikteki (h) donatıların uzunlukları birbirine eşittir. (ör., $L_6.H=6m = L_5.H=5m = L_4.H=4m$)

Yüksekliği 16 m olan bir duvar için yapılacak hesapların sonuçları aynı zamanda 16 m den küçük duvarların hesap sonuçlarını da içerir. Aşağıda $26 \leq \Phi \leq 34$ aralığında $H = 16$ m yüksekliğine kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları çözüm sonuçları yer almaktadır.

$H = 16$ m, $\Phi = 26^\circ$ için $A_s = 0,000748 \text{ m}^2$, $\Sigma Vd = 0,166 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 5.1)

Çizelge 5.1 H=16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi=26^\circ$, $S_v=S_H=1$, $\gamma = 17,30 \text{ kN/m}^3$)

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	(H=16m) LR [m]	(H=16m) L [m]	(H=15m) L [m]	(H=4m) L [m]
1	0,5	3,377	8,907	9,685	18,592	17,968	11,094
2	1,5	10,132	8,907	9,061	17,968	17,343	10,469
3	2,5	16,887	8,907	8,436	17,343	16,718	9,844
4	3,5	23,642	8,907	7,811	16,718	16,093	9,219
5	4,5	30,397	8,907	7,186	16,093	15,468	
6	5,5	37,152	8,907	6,561	15,468	14,843	
7	6,5	43,907	8,907	5,936	14,843	14,218	
8	7,5	50,662	8,907	5,311	14,218	13,593	
9	8,5	57,417	8,907	4,687	13,593	12,969	
10	9,5	64,172	8,907	4,062	12,969	12,344	
11	10,5	70,927	8,907	3,437	12,344	11,719	
12	11,5	77,682	8,907	2,812	11,719	11,094	
13	12,5	84,437	8,907	2,187	11,094	10,469	
14	13,5	91,192	8,907	1,562	10,469	9,844	
15	14,5	97,947	8,907	0,937	9,844	9,219	
16	15,5	104,702	8,907	0,312	9,219		
				$\Sigma : 222,495$	$203,902$	$40,626$	

$H = 16$ m, $S_v = S_H = 1$ m, $\gamma = 17.30 \text{ kN/m}^3$ için Donatı gerilme ve uzunlukları hesaplanarak Çizelge 5.1 – 5.9 oluşturulmuştur. $26 \leq \Phi \leq 34$ aralığında oluşturulan bu çizelgeleri kullanarak yüksekliği $H \leq 16$ m olan donatılı duvarlara ait donatı kuvvetlerini ve uzunluklarını bulabilmek mümkündür.

$H = 16$ m, $\Phi = 27^\circ$ için $A_s = 0,000719 \text{ m}^2$, $\Sigma Vd = 0,151 \text{ m}^3/\text{m}$ bulunur. Donatı kuvvetleri ve uzunlukları Çizelge 5.2 deki gibidir.

Çizelge 5.2 H=16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi=27^\circ$, $S_v=S_H=1$, $\gamma = 17,30$ kN/m^3)

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	(H=16m) LR [m]	(H=16m) L [m]	(H=15m) L [m]		(H=4m) L [m]
1	0,5	3,248	8,226	9,498	17,725	17,112		10,371
2	1,5	9,745	8,226	8,886	17,112	16,499		9,758
3	2,5	16,241	8,226	8,273	16,499	15,886		9,145
4	3,5	22,738	8,226	7,660	15,886	15,273		8,533
5	4,5	29,235	8,226	7,047	15,273	14,661		
6	5,5	35,731	8,226	6,434	14,661	14,048		
7	6,5	42,228	8,226	5,822	14,048	13,435		
8	7,5	48,724	8,226	5,209	13,435	12,822		
9	8,5	55,221	8,226	4,596	12,822	12,209		
10	9,5	61,718	8,226	3,983	12,209	11,597		
11	10,5	68,214	8,226	3,370	11,597	10,984		
12	11,5	74,711	8,226	2,758	10,984	10,371		
13	12,5	81,207	8,226	2,145	10,371	9,758		
14	13,5	87,704	8,226	1,532	9,758	9,145		
15	14,5	94,200	8,226	0,919	9,145	8,533		
16	15,5	100,697	8,226	0,306	8,533			
				Σ : 210,057	192,332	37,807		

H = 16 m, $\Phi = 28^\circ$, için $A_s = 0,000692 \text{ m}^2$, $\Sigma Vd = 0,137 \text{ m}^3/\text{m}$ bulunur. Donatı kuvvetleri ve uzunlukları Çizelge 5.3 deki gibidir.

Çizelge 5.3 H=16 m ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi=28^\circ$, $S_v=S_H=1$, $\gamma = 17,30$ kN/m^3)

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	(H=16m) LR [m]	(H=16m) L [m]	(H=15m) L [m]		(H=4m) L [m]
1	0,5	3,123	7,604	9,313	16,918	16,317		9,707
2	1,5	9,369	7,604	8,712	16,317	15,716		9,106
3	2,5	15,615	7,604	8,112	15,716	15,115		8,506
4	3,5	21,861	7,604	7,511	15,115	14,514		7,905
5	4,5	28,106	7,604	6,910	14,514	13,913		
6	5,5	34,352	7,604	6,309	13,913	13,312		
7	6,5	40,598	7,604	5,708	13,312	12,712		
8	7,5	46,844	7,604	5,107	12,712	12,111		
9	8,5	53,090	7,604	4,506	12,111	11,510		
10	9,5	59,336	7,604	3,906	11,510	10,909		
11	10,5	65,582	7,604	3,305	10,909	10,308		
12	11,5	71,828	7,604	2,704	10,308	9,707		
13	12,5	78,073	7,604	2,103	9,707	9,106		
14	13,5	84,319	7,604	1,502	9,106	8,506		
15	14,5	90,565	7,604	0,901	8,506	7,905		
16	15,5	96,811	7,604	0,300	7,905			
				Σ : 198,578	181,66	35,224		

$H = 16 \text{ m}$, $\Phi = 29^\circ$ için $A_s = 0,000665 \text{ m}^2$, $\Sigma Vd = 0,125 \text{ m}^3/\text{m}$ bulunur. Donatı kuvvetleri ve uzunlukları Çizelge 5.4 deki gibidir.

Çizelge 5.4 $H=16 \text{ m}$ ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi=29^\circ$, $S_v=S_H=1$, $\gamma = 17,30 \text{ kN/m}^3$)

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	(H=16m) LR [m]	(H=16m) L [m]	(H=15m) L [m]	(H=4m) L [m]
1	0,5	3,001	7,035	9,130	16,165	15,576	9,097
2	1,5	9,004	7,035	8,541	15,576	14,987	8,508
3	2,5	15,007	7,035	7,952	14,987	14,398	7,919
4	3,5	21,009	7,035	7,363	14,398	13,809	7,329
5	4,5	27,012	7,035	6,774	13,809	13,220	
6	5,5	33,015	7,035	6,185	13,220	12,631	
7	6,5	39,017	7,035	5,596	12,631	12,042	
8	7,5	45,020	7,035	5,007	12,042	11,453	
9	8,5	51,023	7,035	4,418	11,453	10,864	
10	9,5	57,025	7,035	3,829	10,864	10,275	
11	10,5	63,028	7,035	3,240	10,275	9,686	
12	11,5	69,030	7,035	2,651	9,686	9,097	
13	12,5	75,033	7,035	2,062	9,097	8,508	
14	13,5	81,036	7,035	1,473	8,508	7,919	
15	14,5	87,038	7,035	0,884	7,919	7,329	
16	15,5	93,041	7,035	0,295	7,329		
				Σ : 187,959	171,794		32,853

$H = 16 \text{ m}$, $\Phi = 30^\circ$ için $A_s = 0,000638 \text{ m}^2$, $\Sigma Vd = 0,114 \text{ m}^3/\text{m}$ bulunur.

Çizelge 5.5 $H=16 \text{ m}$ ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi=30^\circ$, $S_v=S_H=1$, $\gamma = 17,30 \text{ kN/m}^3$)

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	(H=16m) LR [m]	(H=16m) L [m]	(H=15m) L [m]	(H=4m) L [m]
1	0,5	2,883	6,513	8,949	15,462	14,884	8,533
2	1,5	8,650	6,513	8,372	14,884	14,307	7,956
3	2,5	14,417	6,513	7,794	14,307	13,730	7,379
4	3,5	20,183	6,513	7,217	13,730	13,152	6,801
5	4,5	25,950	6,513	6,640	13,152	12,575	
6	5,5	31,717	6,513	6,062	12,575	11,998	
7	6,5	37,483	6,513	5,485	11,998	11,420	
8	7,5	43,250	6,513	4,907	11,420	10,843	
9	8,5	49,017	6,513	4,330	10,843	10,265	
10	9,5	54,783	6,513	3,753	10,265	9,688	
11	10,5	60,550	6,513	3,175	9,688	9,111	
12	11,5	66,317	6,513	2,598	9,111	8,533	
13	12,5	72,083	6,513	2,021	8,533	7,956	
14	13,5	77,850	6,513	1,443	7,956	7,379	
15	14,5	83,617	6,513	0,866	7,379	6,801	
16	15,5	89,383	6,513	0,289	6,801		
				Σ : 178,104	162,642		30,669

$H = 16 \text{ m}$, $\Phi = 31^\circ$ için $A_s = 0,000613 \text{ m}^2$, $\Sigma Vd = 0,104 \text{ m}^3/\text{m}$ bulunur.

Çizelge 5.6 $H=16 \text{ m}$ ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi=31^\circ$, $S_v=S_H=1$)

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	(H=16m) LR [m]	(H=16m) L [m]	(H=15m) L [m]		(H=4m) L [m]
1	0,5	2,769	6,033	8,769	14,802	14,237		8,013
2	1,5	8,307	6,033	8,204	14,237	13,671		7,447
3	2,5	13,844	6,033	7,638	13,671	13,105		6,881
4	3,5	19,382	6,033	7,072	13,105	12,539		6,316
5	4,5	24,920	6,033	6,506	12,539	11,973		
6	5,5	30,457	6,033	5,941	11,973	11,408		
7	6,5	35,995	6,033	5,375	11,408	10,842		
8	7,5	41,533	6,033	4,809	10,842	10,276		
9	8,5	47,071	6,033	4,243	10,276	9,710		
10	9,5	52,608	6,033	3,678	9,710	9,145		
11	10,5	58,146	6,033	3,112	9,145	8,579		
12	11,5	63,684	6,033	2,546	8,579	8,013		
13	12,5	69,221	6,033	1,980	8,013	7,447		
14	13,5	74,759	6,033	1,414	7,447	6,881		
15	14,5	80,297	6,033	0,849	6,881	6,316		
16	15,5	85,835	6,033	0,283	6,316			
$\Sigma :$				168,944	154,142			28,657

$H = 16 \text{ m}$, $\Phi = 32^\circ$ için $A_s = 0,000589 \text{ m}^2$, $\Sigma Vd = 0,095 \text{ m}^3/\text{m}$ bulunur.

Çizelge 5.7 $H=16 \text{ m}$ ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi=32^\circ$, $S_v=S_H=1$)

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	(H=16m) LR [m]	(H=16m) L [m]	(H=15m) L [m]		(H=4m) L [m]
1	0,5	2,658	5,591	8,592	14,183	13,628		7,531
2	1,5	7,973	5,591	8,037	13,628	13,074		6,977
3	2,5	13,289	5,591	7,483	13,074	12,520		6,422
4	3,5	18,605	5,591	6,929	12,520	11,966		5,868
5	4,5	23,920	5,591	6,375	11,966	11,411		
6	5,5	29,236	5,591	5,820	11,411	10,857		
7	6,5	34,551	5,591	5,266	10,857	10,303		
8	7,5	39,867	5,591	4,712	10,303	9,748		
9	8,5	45,182	5,591	4,157	9,748	9,194		
10	9,5	50,498	5,591	3,603	9,194	8,640		
11	10,5	55,814	5,591	3,049	8,640	8,085		
12	11,5	61,129	5,591	2,494	8,085	7,531		
13	12,5	66,445	5,591	1,940	7,531	6,977		
14	13,5	71,760	5,591	1,386	6,977	6,422		
15	14,5	77,076	5,591	0,831	6,422	5,868		
16	15,5	82,391	5,591	0,277	5,868			
$\Sigma :$				160,407	146,22			26,798

$H = 16 \text{ m}$, $\Phi = 33^\circ$ için, $A_s = 0,000565 \text{ m}^2$, $\Sigma Vd = 0,086 \text{ m}^3/\text{m}$ bulunur.

Çizelge 5.8 $H=16 \text{ m}$ ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi=33^\circ$, $S_v=S_H=1$)

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	(H=16m) LR [m]	(H=16m) L [m]	(H=15m) L [m]		(H=4m) L [m]
1	0,5	2,550	5,184	8,416	13,599	13,056		7,084
2	1,5	7,650	5,184	7,873	13,056	12,514		6,541
3	2,5	12,750	5,184	7,330	12,514	11,971		5,998
4	3,5	17,850	5,184	6,787	11,971	11,428		5,455
5	4,5	22,950	5,184	6,244	11,428	10,885		
6	5,5	28,050	5,184	5,701	10,885	10,342		
7	6,5	33,150	5,184	5,158	10,342	9,799		
8	7,5	38,250	5,184	4,615	9,799	9,256		
9	8,5	43,350	5,184	4,072	9,256	8,713		
10	9,5	48,451	5,184	3,529	8,713	8,170		
11	10,5	53,551	5,184	2,986	8,170	7,627		
12	11,5	58,651	5,184	2,443	7,627	7,084		
13	12,5	63,751	5,184	1,900	7,084	6,541		
14	13,5	68,851	5,184	1,357	6,541	5,998		
15	14,5	73,951	5,184	0,814	5,998	5,455		
16	15,5	79,051	5,184	0,271	5,455			
				Σ :	152,438	138,83		25,078

$H = 16 \text{ m}$, $\Phi = 34^\circ$ için $A_s = 0,000542 \text{ m}^2$, $\Sigma Vd = 0,079 \text{ m}^3/\text{m}$ bulunur.

Çizelge 5.9 $H=16 \text{ m}$ ye kadar donatı gerilmeleri ve uzunlukları ($\Phi=34^\circ$, $S_v=S_H=1$, $\gamma=17,30$)

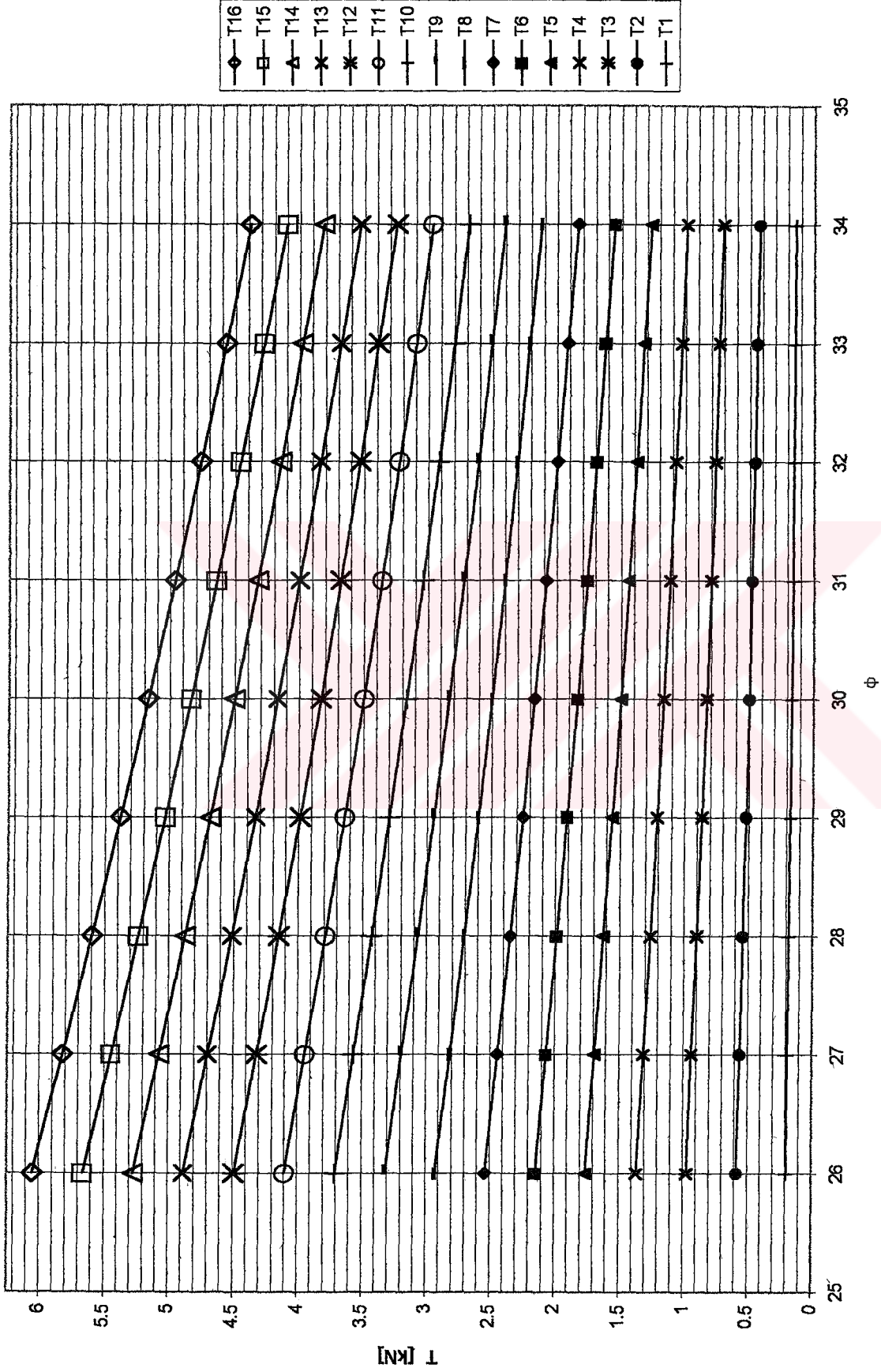
Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	(H=16m) LR [m]	(H=16m) L [m]	(H=15m) L [m]		(H=4m) L [m]
1	0,5	2,445	4,808	8,241	13,049	12,517		6,668
2	1,5	7,336	4,808	7,710	12,517	11,986		6,137
3	2,5	12,227	4,808	7,178	11,986	11,454		5,605
4	3,5	17,118	4,808	6,646	11,454	10,922		5,073
5	4,5	22,009	4,808	6,115	10,922	10,390		
6	5,5	26,900	4,808	5,583	10,390	9,859		
7	6,5	31,791	4,808	5,051	9,859	9,327		
8	7,5	36,682	4,808	4,520	9,327	8,795		
9	8,5	41,573	4,808	3,988	8,795	8,264		
10	9,5	46,464	4,808	3,456	8,264	7,732		
11	10,5	51,355	4,808	2,924	7,732	7,200		
12	11,5	56,246	4,808	2,393	7,200	6,668		
13	12,5	61,137	4,808	1,861	6,668	6,137		
14	13,5	66,028	4,808	1,329	6,137	5,605		
15	14,5	70,919	4,808	0,798	5,605	5,073		
16	15,5	75,810	4,808	0,266	5,073			
				Σ :	144,97	131,92		23,483

Çizelge 5.10 H=16 m 'ye kadar Donatı Gerilmeleri ($26^\circ \leq \Phi \leq 34^\circ$, $S_V = S_H = 1$ m, $\gamma = 17,30$ kN/m³)

Φ°	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆
26	3.38	10.13	16.89	23.64	30.40	37.15	43.91	50.66	57.42	64.17	70.93	77.68	84.44	91.19	97.95	104.7
27	3.25	9.75	16.24	22.74	29.24	35.73	42.23	48.72	55.22	61.72	68.21	74.71	81.21	87.70	94.2	100.7
28	3.12	9.37	15.62	21.86	28.11	34.35	40.60	46.84	53.09	59.34	65.58	71.83	78.07	84.32	90.57	96.81
29	3.00	9.00	15.01	21.01	27.01	33.02	39.02	45.02	51.02	57.03	63.03	69.03	75.03	81.04	87.04	93.04
30	2.88	8.65	14.42	20.18	25.95	31.72	37.48	43.25	49.02	54.78	60.55	66.32	72.08	77.85	83.62	89.38
31	2.77	8.31	13.84	19.38	24.92	30.46	35.99	41.53	47.07	52.61	58.15	63.68	69.22	74.76	80.30	85.84
32	2.66	7.97	13.29	18.61	23.92	29.24	34.55	39.87	45.18	50.50	55.81	61.13	66.45	71.76	77.08	82.39
33	2.55	7.65	12.75	17.85	22.95	28.05	33.15	38.25	43.35	48.45	53.55	58.65	63.75	68.85	73.95	79.05
34	2.45	7.34	12.23	17.12	22.01	26.90	31.79	36.68	41.57	46.46	51.36	56.25	61.14	66.03	70.92	75.81

Çizelge 5.11 H=16 m 'ye kadar Donatı Uzunlukları ($26^\circ \leq \Phi \leq 34^\circ$, $S_V = S_H = 1$ m, $\gamma =$ herhangi, $z_1=0,5$ m, H : Duvar yüks.)

Φ°	h=15.5 L _{H-15} [m]	h=14.5 L _{H-14} [m]	h=13.5 L _{H-13} [m]	h=12.5 L _{H-12} [m]	h=11.5 L _{H-11} [m]	h=10.5 L _{H-10} [m]	h=9.5 L _{H-9} [m]	h=8.5 L _{H-8} [m]	h=7.5 L _{H-7} [m]	h=6.5 L _{H-6} [m]	h=5.5 L _{H-5} [m]	h=4.5 L _{H-4} [m]	h=3.5 L _{H-3} [m]	h=2.5 L _{H-2} [m]	h=1.5 L _{H-1} [m]	h=0.5 L _H [m]
26	18.59	17.97	17.34	16.72	16.09	15.47	14.84	14.22	13.59	12.97	12.34	11.72	11.09	10.47	9.84	9.22
27	17.73	17.11	16.50	15.89	15.27	14.66	14.05	13.44	12.82	12.21	11.60	10.98	10.37	9.76	9.15	8.53
28	16.92	16.32	15.72	15.12	14.51	13.91	13.31	12.71	12.11	11.51	10.91	10.31	9.71	9.11	8.51	7.91
29	16.17	15.58	15.00	14.40	13.81	13.22	12.63	12.04	11.45	10.86	10.28	9.69	9.10	8.51	7.92	7.33
30	15.46	14.88	14.31	13.73	13.15	12.58	12.00	11.42	10.84	10.27	9.69	9.11	8.53	7.96	7.38	6.80
31	14.80	14.24	13.67	13.11	12.54	11.97	11.41	10.84	10.28	9.71	9.15	8.58	8.01	7.45	6.88	6.32
32	14.18	13.63	13.07	12.52	11.97	11.41	10.86	10.30	9.748	9.19	8.64	8.09	7.53	6.98	6.42	5.87
33	13.60	13.06	12.51	11.97	11.43	10.89	10.34	9.80	9.256	8.713	8.17	7.63	7.08	6.54	6.00	5.46
34	13.05	12.58	11.99	11.45	10.92	10.39	9.86	9.33	8.795	8.26	7.73	7.20	6.69	6.14	5.61	5.07



Şekil 5.1 Donatı gerilmeleri değişimi ($26^\circ \leq \Phi \leq 34^\circ$, $S_v = S_H = 1 \text{ m}$, $\gamma = 1 \text{ kN/m}^3$, metod: geri bağ - kama analizi)

Çizelge 5.1 – Çizelge 5.9daki donatı kuvvetleri tek bir Çizelge halinde Çizelge 5.10 da gösterilmiştir. Çizelge 5.10 vasıtasıyla duvar yüksekliği 16 metreye kadar olan, $S_v=S_H=1$, $\gamma = 17.30 \text{ kN/m}^3$ özelliklerindeki duvarlara ait donatı gerilmeleri bulunabilir. γ değeri 17.30 kN/m^3 den farklı zeminlerin kullanımı halindeyse Çizelge 5.10 dan okunacak T_i değerleri aşağıda anlatıldığı gibi dönüştürülmelidir.

$$T_i(\gamma_{\text{seçilen}}) = T_i(\text{Çizelgeden okunan değer} : \gamma = 17.30 \text{ kN/m}^3) \times \gamma_{\text{seçilen}} / 17.30$$

Donatı kuvvetleri yukarıda anlatıldığı üzere Çizelge 5.10 vasıtasıyla bulunabileceği gibi Şekil 5.1 de kullanılarak bulunabilir. Şekil 5.1 den okunacak T_i değeri kullanılacak zeminin birim hacim ağırlığı ile çarpılarak gerçek T_i değeri bulunabilir. [$T_{i(\gamma=18)} = T_{i\text{okunan}(\gamma=1)} \times 18$]

Çizelge 5.11 de ise Çizelge 5.1 – 5.9 da bulunan donatı uzunlukları yer almaktadır. Çizelge 5.11 vasıtasıyla duvar yüksekliği 16 metreye kadar olan, $S_v=S_H=1 \text{ m}$, özelliklerindeki duvarlara ait donatı uzunlukları bulunabilir. Formül 5.1 de görüldüğü üzere γ değerinin L_i donatı uzunluğuna bir etkisi yoktur bu nedenden dolayı γ değeri 17.30 kN/m^3 den farklı zeminlerin kullanımı halinde de donatı uzunlukları Çizelge 5.11 yardımıyla bulunabilir. Çizelge 5.11'i kullanarak 4 m yüksekliğindeki ve kesit özellikleri $S_v = S_H = 1 \text{ m}$, z_1 : birinci donatı derinliği = 1 m, $\Phi = 26^\circ$ olan donatılı duvara ait donatı uzunluklarını bulalım. 1. donatının yüksekliği : $h = 3.5 \text{ m}$ olduğundan sağdan 4. sütundaki değerler arasından $\Phi = 26^\circ$ 'ye karşılık gelen donatı uzunluğu: $L_1 = 11.09 \text{ m}$ olarak okunur. Diğer değerler de sırasıyla $L_2 = 10.47 \text{ m}$, $L_3 = 9.84 \text{ m}$, $L_4 = 9.22 \text{ m}$ olarak okunur.

5.1.2 Uygun ağırlık analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki

$$\begin{aligned} k \text{ derinlikle değişken} \rightarrow \quad & k = k_0 \cong (1 - \sin \Phi) & z = 0 \text{ m} \\ & k_a < k < k_0 & 0 < z < 6 \text{ aralığında lineer azalan} \\ & k = k_a = \tan^2(45 - \Phi/2) & z \geq 6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$S_v = S_H = 1 \text{ m}, \quad \gamma = 17.3 \text{ kN/m}^3, \quad b = 100 \text{ mm}, \quad f_a = 140 \text{ MPa}$$

$$H = 4 \text{ m}, \quad \Phi = 26^\circ$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	4.735	12.486	1.200	13.686
2	1.5	13.464	11.835	1.200	13.035
3	2.5	21.206	11.185	0.937	12.122
4	3.5	27.961	10.534	0.312	10.846

$$\Sigma : 49.689$$

$$A_s = 0.0002 \text{ m}^2, \quad \Sigma Vd = 0.01 \text{ m}^3/\text{m}$$

H = 4 m, $\Phi = 27^\circ$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	4.600	11.650	1.200	12.850
2	1.5	13.063	11.027	1.200	12.227
3	2.5	20.543	10.405	0.919	11.324
4	3.5	27.039	9.782	0.306	10.089
Σ :					46.49

$$As = 0,000193 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,009 \text{ m}^3/\text{m}$$

H = 4 m, $\Phi = 28^\circ$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	4.467	10.877	1.200	12.077
2	1.5	12.668	10.282	1.200	11.482
3	2.5	19.891	9.687	0.901	10.588
4	3.5	26.137	9.092	0.300	9.392
Σ :					43.539

$$As = 0,000187 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,0081 \text{ m}^3/\text{m}$$

H = 5 m, $\Phi = 26^\circ$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	4.735	12.486	1.500	13.986
2	1.5	13.464	11.835	1.500	13.335
3	2.5	21.206	11.185	1.500	12.685
4	3.5	27.961	10.534	0.937	11.471
5	4.5	33.729	9.883	0.312	10.196
Σ :					61.673

$$As = 0,00024 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,015 \text{ m}^3/\text{m}$$

H = 5 m, $\Phi = 27^\circ$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	4.600	11.650	1.500	13.150
2	1.5	13.063	11.027	1.500	12.527
3	2.5	20.543	10.405	1.500	11.905
4	3.5	27.039	9.782	0.919	10.701
5	4.5	32.553	9.160	0.306	9.466
Σ :					57.749

$$As = 0,00023 \text{ m}^2, \Sigma Vd = 0,013 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$H = 5 \text{ m}, \Phi = 28^\circ$$

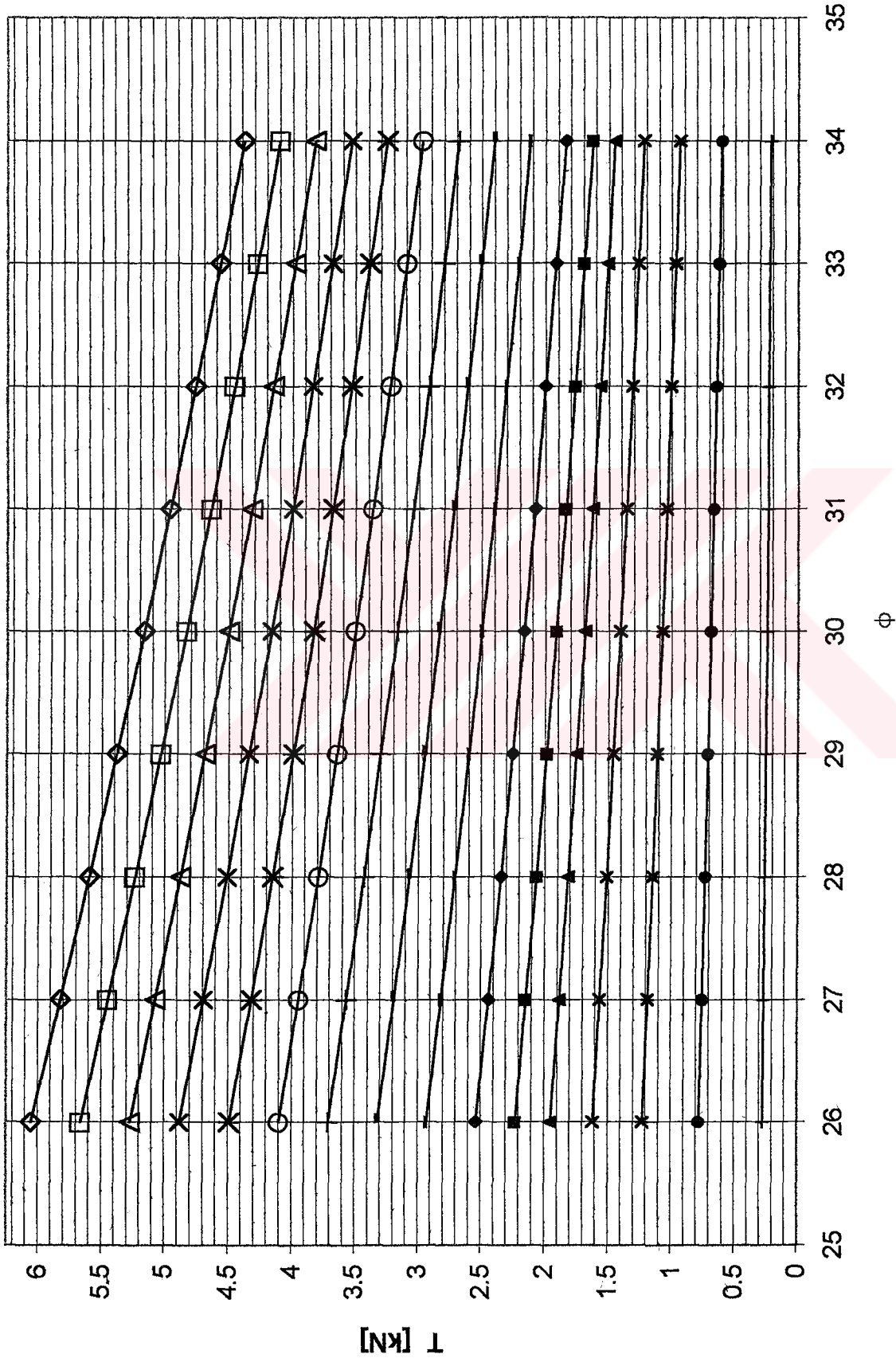
Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	4.467	10.877	1.500	12.377
2	1.5	12.668	10.282	1.500	11.782
3	2.5	19.891	9.687	1.500	11.187
4	3.5	26.137	9.092	0.901	9.993
5	4.5	31.405	8.497	0.300	8.797
					$\Sigma : 54.136$

$$A_s = 0,00022 \text{ m}^2, \Sigma V_d = 0,012 \text{ m}^3/\text{m}$$

Yapılan analizler sonucunda, kayma mukavemeti açıları aynı yükseklikleri farklı duvarların aynı derinlikteki donatılarına ait donatı kuvvetlerinin ve L_e : efektif uzunluk değerlerinin birbirine eşit olduğu görülmüştür. Farklı duvar yükseklikleri için L_R ve L değerleri arasında bölüm 5.1.1 de tespit edilen ilişkiye benzer bir ilişki bulunamamıştır. Bulunan bu benzerlikler Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13 de gösterilmiştir, Bu Çizelgeler yardımıyla $H=16 \text{ m}$ 'ye kadar olan donatı gerilmelerini ve L_e uzunlukları bulunabilmektedir. γ değeri 17.30 kN/m^3 den farklı zeminlerin kullanımı halindeyse Çizelge 5.12 den okunacak T_i değerleri aşağıda anlatıldığı gibi dönüştürülmelidir.

$$T_i(\gamma_{\text{seçilen}}) = T_i(\text{Çizelgeden okunan değer} : \gamma = 17.30 \text{ kN/m}^3) \times \gamma_{\text{seçilen}} / 17.30$$

Donatı kuvvetleri yukarıda anlatıldığı üzere Çizelge 5.12 vasıtasıyla bulunabileceği gibi Şekil 5.2 de kullanılarak bulunabilir. Şekil 5.2 den okunacak T_i değeri kullanılacak zeminin birim hacim ağırlığı ile çarpılarak gerçek T_i değeri bulunabilir. [$T_{i(\gamma=18)} = T_{i\text{okunan}(\gamma=1)} \times 18$]



Şekil 5.2 Donatı gerilmeleri değişimi ($26^\circ \leq \phi \leq 34^\circ$, $S_v = S_H = 1 \text{ m}$, $\gamma = 1 \text{ kN/m}^3$, metod: uygun ağırlık analizi)

5.2 Donatı Aralıkları Farklı Duvarların Sayısal Analizi

5.2.1 Geri Bağ – Kama analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki

($k = k_a$ derinlikle sabit)

Bu bölümde yüksekliği 4m, ve dolgu zemini özellikleri $\gamma = 17.3 \text{ kN/m}^3$, $\Phi = 26^\circ$ olan bir duvarın üç farklı donatı aralığı durumu için hesabı yapılmıştır.

$H = 4\text{m}$, $\gamma = 17.3 \text{ kN/m}^3$, $\Phi = 26^\circ$, $b = 100 \text{ mm}$, $f_a = 140 \text{ MPa}$

a) $S_V = 0,5 \text{ m}$, $S_H = 0,8 \text{ m}$, $S_V \times S_H = 0,40$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,3	0,811	3,563	2,312	5,875
2	0,8	2,162	3,563	2,000	5,562
3	1,3	3,513	3,563	1,687	5,250
4	1,8	4,864	3,563	1,375	4,938
5	2,3	6,215	3,563	1,062	4,625
6	2,8	7,566	3,563	0,750	4,313
7	3,3	8,917	3,563	0,437	4,000
8	3,8	10,268	3,563	0,125	3,688
$\Sigma :$					38,251

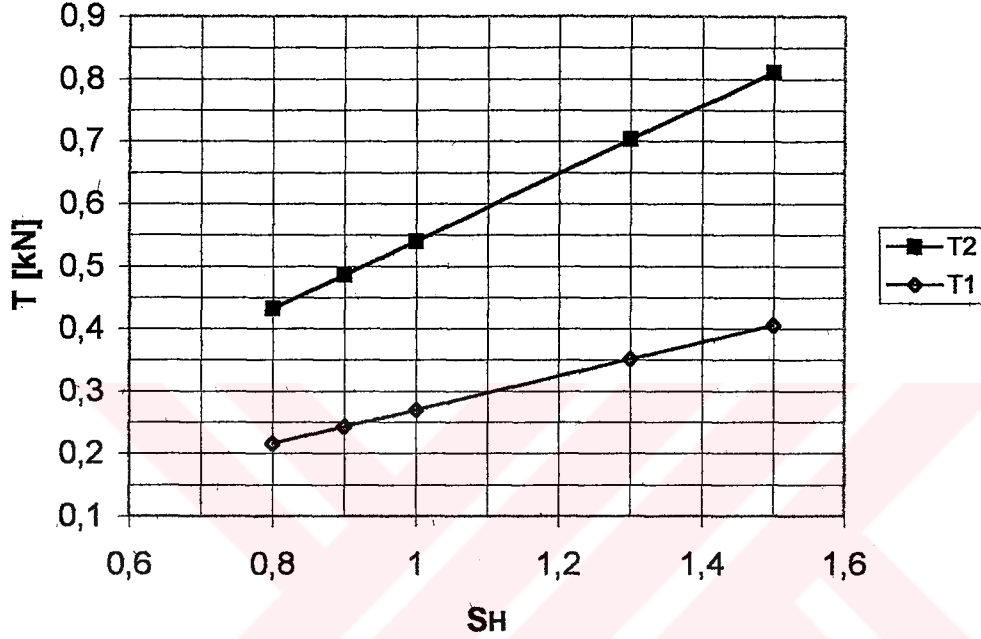
b) $S_V = 0,5 \text{ m}$, $S_H = 1 \text{ m}$, $S_V \times S_H = 0,50$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,3	1,013	4,453	2,312	6,766
2	0,8	2,702	4,453	2,000	6,453
3	1,3	4,391	4,453	1,687	6,141
4	1,8	6,079	4,453	1,375	5,828
5	2,3	7,768	4,453	1,062	5,516
6	2,8	9,457	4,453	0,750	5,203
7	3,3	11,146	4,453	0,437	4,891
8	3,8	12,834	4,453	0,125	4,578
$\Sigma :$					45,376

c) $S_V = 0,5 \text{ m}$, $S_H = 1,5 \text{ m}$, $S_V \times S_H = 0,75$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,3	1,520	6,680	2,312	8,992
2	0,8	4,053	6,680	2,000	8,680

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
3	1,3	6,586	6,680	1,687	8,367
4	1,8	9,119	6,680	1,375	8,055
5	2,3	11,652	6,680	1,062	7,743
6	2,8	14,185	6,680	0,750	7,430
7	3,3	16,719	6,680	0,437	7,118
8	3,8	19,252	6,680	0,125	6,805
$\Sigma :$					63,19



Şekil 5.3 $S_V = 0,2$ m, $\gamma = 17,3$ kN/m³, $\Phi = 26^\circ$, $b = 100$ mm olması halinde, S_H değerinin donatı kuvveti üzerine etkisinin incelenmesi.

Donatı yatay aralığının T_1 ve T_2 donatı kuvvetlerine etkisini inceleyen Şekil 5.3 de S_H değerinin artması sonucunda donatı kuvvetlerinin de arttığı görülmektedir. Şekil 5.3 de görülen doğruların eğimlerinin farklı olmasının nedeni: T_i formülündeki z_i derinlik parametresinden kaynaklanmaktadır.

Yukarıdaki çözümlere bakıldığında, aynı derinlikteki donatı kuvvetleri, L_e ve L_R uzunlukları arasında bir ilişki söz konusu olduğu görülür.

Bu ilişki L_R için araştırıldığında ;

a durumundaki L_{R1} değerinin b ve c durumundaki L_{R1} değerlerine eşit olduğu görülür. Bir başka deyişle aynı derinlikteki donatılara ait L_R uzunlukları birbirine eşittir. Farklı S_H değerleri için L_R : Rankine bölgesi donatı uzunluğu değerlerinin değişmemesindeki neden $L_R = \tan(45 - \Phi/2) \times h$, formülünde S_H parametresinin bulunmamasıdır.

Bu olay n farklı hal için, (diğer duvar parametrelerinin sabit, sadece S_H değerleri farklı n adet duvar çözümü halinde)

$$L_{Ria} = L_{Rib} = L_{Ric} = \dots\dots\dots = L_{Rin} \text{ şeklinde özetlenebilir.}$$

Bu ilişki L_e için araştırıldığında;

$$\frac{L_{eia}}{L_{eib}} = \frac{S_{Ha}}{S_{Hb}} = \frac{3.563}{4.453} = \frac{0.4}{0.5} = 0.8 \text{ olduğu görülür.}$$

n farklı hal için,

$$L_{ei(n)} = L_{ei(n-1)} \times \frac{S_{H(n)}}{S_{H(n-1)}}, \text{ olarak özetlenebilir.}$$

Bu ilişki $L = L_R + L_e$ için araştırıldığında;

$$L_{in} = L_{Ri(n-1)} + L_{ei(n-1)} \times S_{H(n)} / S_{H(n-1)} \text{ olduğu görülür.}$$

Bu ilişki T için araştırıldığında;

$$\frac{T_{ia}}{T_{ib}} = \frac{S_{Ha}}{S_{Hb}} = \frac{0.811}{1.013} = \frac{0.4}{0.5} = 0.8 \text{ olduğu görülür.}$$

$$\text{Dolayısıyla, } T_{in} = T_{i(n-1)} \times \frac{S_{Hn}}{S_{H(n-1)}} \text{ olur.}$$

Yukarıdaki bilgilerin ışığı altında Çizelge 5.10 Çizelge 5.14'e, Çizelge 5.11 ise Çizelge 5.15'e dönüştürülmüştür. Çizelge 5.14 vasıtasıyla duvar yüksekliği 16 metreye kadar olan, $S_v=1$, $\gamma = 17.30 \text{ kN/m}^3$ özelliklerindeki duvarlara ait donatı gerilmeleri bulunabilir. Çizelge 5.14 den okunacak T_i değerleri seçilen S_H uzunluğu ile çarpılmalıdır. γ değeri 17.30 kN/m^3 den farklı zeminlerin kullanımı halindeyse Çizelge 5.14 den okunacak T_i değerleri aşağıda anlatıldığı gibi dönüştürülmelidir.

$$T_i(\gamma_{\text{seçilen}}) = T_i(\text{Çizelgeden okunan değer : } \gamma = 17.30 \text{ kN/m}^3) \times \gamma_{\text{seçilen}} / 17.30$$

Çizelge 5.14 H=16 m 'ye kadar Donatı Gerilmeleri ($26^{\circ} \leq \Phi \leq 34^{\circ}$, $S_v = 1$ m, $\gamma = 17.30$ kN/m³, $z_1 = 0.5$ m, metod : g.bağ-kama)

Φ°	$\frac{T_1}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_2}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_3}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_4}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_5}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_6}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_7}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_8}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_9}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_{10}}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_{11}}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_{12}}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_{13}}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_{14}}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_{15}}{S_H}$ [kN/m]	$\frac{T_{16}}{S_H}$ [kN/m]
26	3.38	10.13	16.89	23.64	30.40	37.15	43.91	50.66	57.42	64.17	70.93	77.68	84.44	91.19	97.95	104.7
27	3.25	9.75	16.24	22.74	29.24	35.73	42.23	48.72	55.22	61.72	68.21	74.71	81.21	87.70	94.2	100.7
28	3.12	9.37	15.62	21.86	28.11	34.35	40.60	46.84	53.09	59.34	65.58	71.83	78.07	84.32	90.57	96.81
29	3.00	9.00	15.01	21.01	27.01	33.02	39.02	45.02	51.02	57.03	63.03	69.03	75.03	81.04	87.04	93.04
30	2.88	8.65	14.42	20.18	25.95	31.72	37.48	43.25	49.02	54.78	60.55	66.32	72.08	77.85	83.62	89.38
31	2.77	8.31	13.84	19.38	24.92	30.46	35.99	41.53	47.07	52.61	58.15	63.68	69.22	74.76	80.30	85.84
32	2.66	7.97	13.29	18.61	23.92	29.24	34.55	39.87	45.18	50.50	55.81	61.13	66.45	71.76	77.08	82.39
33	2.55	7.65	12.75	17.85	22.95	28.05	33.15	38.25	43.35	48.45	53.55	58.65	63.75	68.85	73.95	79.05
34	2.45	7.34	12.23	17.12	22.01	26.90	31.79	36.68	41.57	46.46	51.36	56.25	61.14	66.03	70.92	75.81

Çizelge 5.15 H=16 m 'ye kadar Donatı Uzunlukları ($26^{\circ} \leq \Phi \leq 34^{\circ}$, $S_v = 1$ m, γ = herhangi, $z_1=0,5$ m, H : Duvar yükü. Metod : g bağ-kama)

Φ°	h=15.5 L _{H-15} [m]	h=14.5 L _{H-14} [m]	h=13.5 L _{H-13} [m]	h=12.5 L _{H-12} [m]	h=11.5 L _{H-11} [m]	h=10.5 L _{H-10} [m]	h=9.5 L _{H-9} [m]	h=8.5 L _{H-8} [m]	h=7.5 L _{H-7} [m]	h=6.5 L _{H-6} [m]	h=5.5 L _{H-5} [m]	h=4.5 L _{H-4} [m]	h=3.5 L _{H-3} [m]	h=2.5 L _{H-2} [m]	h=1.5 L _{H-1} [m]	h=0.5 L _H [m]
26	9.69+8. 91S _H	9.06+8. 91S _H	8.44+8. 91S _H	7.81+8. 91S _H	7.19+8. 91S _H	6.56+8. 91S _H	5.94+8. 91S _H	5.31+8. 91S _H	4.69+8. 91S _H	4.06+8. 91S _H	3.44+8. 91S _H	2.81+8. 91S _H	2.19+8. 91S _H	1.56+8. 91S _H	0.94+8. 91S _H	0.31+8. 91S _H
27	9.50+8. 23S _H	8.89+8. 23S _H	8.27+8. 23S _H	7.66+8. 23S _H	7.05+8. 23S _H	6.43+8. 23S _H	5.82+8. 23S _H	5.21+8. 23S _H	4.60+8. 23S _H	3.98+8. 23S _H	3.37+8. 23S _H	2.76+8. 23S _H	2.15+8. 23S _H	1.53+8. 23S _H	0.92+8. 23S _H	0.31+8. 23S _H
28	9.31+7. 604S _H	8.71+7. 604S _H	8.11+7. 604S _H	7.51+7. 604S _H	6.91+7. 604S _H	6.31+7. 604S _H	5.71+7. 604S _H	5.11+7. 604S _H	4.51+7. 604S _H	3.91+7. 604S _H	3.31+7. 604S _H	2.70+7. 604S _H	2.10+7. 604S _H	1.50+7. 604S _H	0.90+7. 604S _H	0.3+7. 604S _H
29	9.13+7. 035S _H	8.54+7. 035S _H	7.95+7. 035S _H	7.36+7. 035S _H	6.77+7. 035S _H	6.19+7. 035S _H	5.60+7. 035S _H	5.01+7. 035S _H	4.42+7. 035S _H	3.83+7. 035S _H	3.24+7. 035S _H	2.65+7. 035S _H	2.06+7. 035S _H	1.47+7. 035S _H	0.88+7. 035S _H	0.30+7. 035S _H
30	8.95+6. 513S _H	8.37+6. 513S _H	7.79+6. 513S _H	7.22+6. 513S _H	6.64+6. 513S _H	6.06+6. 513S _H	5.49+6. 513S _H	4.91+6. 513S _H	4.33+6. 513S _H	3.75+6. 513S _H	3.18+6. 513S _H	2.60+6. 513S _H	2.02+6. 513S _H	1.44+6. 513S _H	0.87+6. 513S _H	0.29+6. 513S _H
31	8.77+6. 033S _H	8.20+6. 033S _H	7.64+6. 033S _H	7.07+6. 033S _H	6.51+6. 033S _H	5.94+6. 033S _H	5.38+6. 033S _H	4.81+6. 033S _H	4.24+6. 033S _H	3.68+6. 033S _H	3.11+6. 033S _H	2.55+6. 033S _H	1.98+6. 033S _H	1.41+6. 033S _H	0.85+6. 033S _H	0.28+6. 033S _H
32	8.59+5. 591S _H	8.04+5. 591S _H	7.48+5. 591S _H	6.93+5. 591S _H	6.38+5. 591S _H	5.82+5. 591S _H	5.27+5. 591S _H	4.71+5. 591S _H	4.16+5. 591S _H	3.60+5. 591S _H	3.05+5. 591S _H	2.49+5. 591S _H	1.94+5. 591S _H	1.39+5. 591S _H	0.83+5. 591S _H	0.28+5. 591S _H
33	8.42+5. 184S _H	7.87+5. 184S _H	7.33+5. 184S _H	6.79+5. 184S _H	6.24+5. 184S _H	5.70+5. 184S _H	5.16+5. 184S _H	4.62+5. 184S _H	4.07+5. 184S _H	3.53+5. 184S _H	2.99+5. 184S _H	2.44+5. 184S _H	1.9+5. 184S _H	1.36+5. 184S _H	0.81+5. 184S _H	0.27+5. 184S _H
34	8.24+4. 808S _H	7.71+4. 808S _H	7.18+4. 808S _H	6.65+4. 808S _H	6.12+4. 808S _H	5.59+4. 808S _H	5.05+4. 808S _H	4.52+4. 808S _H	3.99+4. 808S _H	4.56+4. 808S _H	2.92+4. 808S _H	2.39+4. 808S _H	1.86+4. 808S _H	1.33+4. 808S _H	0.80+4. 808S _H	0.27+4. 808S _H

Çizelge 5.14 ve 5.15 deki değerleri kontrol amacıyla aşağıda üç farklı S_H aralığı durumu için çözümler yapılmıştır. $H = 5\text{ m}$, $\gamma = 17.3\text{ kN/m}^3$, $\Phi = 26^\circ$, $b = 100\text{ mm}$, $f_a = 140\text{ MPa}$, olması halinde aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$S_V = 1\text{ m}, S_H = 0,8\text{ m}, S_V \times S_H = 0,80$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	2,702	7,126	2,812	9,937
2	1,5	8,106	7,126	2,187	9,313
3	2,5	13,510	7,126	1,562	8,688
4	3,5	18,914	7,126	0,937	8,063
5	4,5	24,318	7,126	0,312	7,438
$\Sigma :$					43,439

$$S_V = 1\text{ m}, S_H = 1\text{ m}, S_V \times S_H = 1$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	3,377	8,907	2,812	11,719
2	1,5	10,132	8,907	2,187	11,094
3	2,5	16,887	8,907	1,562	10,469
4	3,5	23,642	8,907	0,937	9,844
5	4,5	30,397	8,907	0,312	9,219
$\Sigma :$					52,345

$$S_V = 1\text{ m}, S_H = 1,5\text{ m}, S_V \times S_H = 1,5$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0,5	5,066	13,360	2,812	16,172
2	1,5	15,199	13,360	2,187	15,547
3	2,5	25,331	13,360	1,562	14,923
4	3,5	35,464	13,360	0,937	14,298
5	4,5	45,596	13,360	0,312	13,673
$\Sigma :$					74,613

Çizelge 5.14 ve 5.15 de S_H yerine 0,8, 1, 1,5 değerleri konulduğunda yukarıdaki çözümlerle aynı sonuca ulaşıldığı görülmüştür. Ör: $S_H = 1,5\text{ m}$ hali için, Çizelge 5.12 de T_1/S_H değeri 3.377 dir. Formülde S_H yerine 1,5 m yazıldığında, $T_1 = 3.377 \times 1,5 = 5.066\text{ kN}$ çıkar. Çizelge 5.13 de $h=0,5\text{ m}$ deki donatı uzunluğu : $L_5 = 0,31 + 8,907 S_H = 13,67\text{ m}$ çıkar.

5.2.2 Uygun ağırlık analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki

k derinlikle değişken $\rightarrow k = k_0 \cong (1 - \sin \Phi) \quad z = 0 \text{ m}$

$k_a < k < k_0 \quad 0 < z < 6 \text{ aralığında lineer azalan}$

$k = k_a = \tan^2(45 - \Phi/2) \quad z \geq 6 \text{ m}$

$H = 4 \text{ m}, \gamma = 17.3 \text{ kN/m}^3, \Phi = 26^\circ, b = 100 \text{ mm}, f_a = 140 \text{ MPa}$

a) $S_V = 0.5 \text{ m}, S_H = 0.8 \text{ m}, S_V \times S_H = 0.40$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.3	1.148	5.047	1.200	6.247
2	0.8	2.983	4.916	1.200	6.116
3	1.3	4.719	4.786	1.200	5.986
4	1.8	6.356	4.656	1.200	5.856
5	2.3	7.895	4.526	1.062	5.588
6	2.8	9.334	4.396	0.750	5.146
7	3.3	10.676	4.266	0.437	4.703
8	3.8	11.918	4.135	0.125	4.260
$\Sigma :$					43.902

b) $S_V = 0.5 \text{ m}, S_H = 1 \text{ m}, S_V \times S_H = 0.50$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.3	1.435	6.308	1.200	7.508
2	0.8	3.729	6.145	1.200	7.345
3	1.3	5.898	5.983	1.200	7.183
4	1.8	7.945	5.820	1.200	7.020
5	2.3	9.868	5.657	1.062	6.720
6	2.8	11.668	5.495	0.750	6.245
7	3.3	13.344	5.332	0.437	5.769
8	3.8	14.897	5.169	0.125	5.294
$\Sigma :$					53.084

c) $S_V = 0.5 \text{ m}, S_H = 1.5 \text{ m}, S_V \times S_H = 0.75$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.3	2.153	9.462	1.200	10.662
2	0.8	5.593	9.218	1.200	10.418
3	1.3	8.848	8.974	1.200	10.174
4	1.8	11.918	8.730	1.200	9.930
5	2.3	14.802	8.486	1.062	9.548
6	2.8	17.502	8.242	0.750	8.992
7	3.3	20.017	7.998	0.437	8.435
8	3.8	22.346	7.754	0.125	7.879
$\Sigma :$					76.038

Yapılan çözümler sonucunda, L_e ve T_i ler arasında aşağıda belirtilen biçimde bir ilişkinin bulunduğu görülmüştür.

Bu ilişki L_e için,

$$L_{ei(n)} = L_{ei(n-1)} \times \frac{S_{H(n)}}{S_{H(n-1)}}, \text{ olarak özetlenebilir.}$$

Bu ilişki T için;

$$\text{Dolayısıyla, } T_{in} = T_{i(n-1)} \times \frac{S_{Hn}}{S_{H(n-1)}} \text{ olarak özetlenebilir.}$$

Sonuç olarak, Çizelge 5.12 veya Şekil 5.2 S_H : donatı yatay aralığı 1 m den farklı olan duvarlara ait T_i : donatı kuvvetlerinin bulunması için de kullanılabilir. Donatı kuvvetleri Şekil 5.2 kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$T_i = T_{i(\text{okunan})} \times S_H \times \gamma$$

Çizelge 5.13 kullanılarak da L_e değerleri aşağıdaki biçimde bulunabilir.

$$L_{ei} = L_{ei(\text{okunan})} \times S_H$$

5.3 Sürşarj Yükünün Duvar Parametreleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi

5.3.1 Geri Bağ – Kama analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki

($k = k_a$ derinlikle sabit)

Malzeme ve kesit özellikleri; $H = 10\text{m}$, $\gamma = 17.3 \text{ kN/m}^3$, $S_V = S_H = 1 \text{ m}$, $\Phi = 26^\circ$, $b = 100 \text{ mm}$, $f_a = 140 \text{ MPa}$ olan donatılı duvara farklı q değerleri etkimesi halinde aşağıdaki çözümler elde edilir.

$q = 1 \text{ kN/m}^2$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	3.768	8.907	5.936	14.843
2	1.5	10.523	8.907	5.311	14.218
3	2.5	17.278	8.907	4.687	13.593
4	3.5	24.033	8.907	4.062	12.969
5	4.5	30.788	8.907	3.437	12.344
6	5.5	37.543	8.907	2.812	11.719
7	6.5	44.298	8.907	2.187	11.094
8	7.5	51.053	8.907	1.562	10.469
9	8.5	57.808	8.907	0.937	9.844
10	9.5	64.563	8.907	0.312	9.219
$\Sigma :$					120.312

Donatı alanı: $A_s = 0.000461 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.0555 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$q = 2 \text{ kN/m}^2$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	4.158	8.907	5.936	14.843
2	1.5	10.913	8.907	5.311	14.218
3	2.5	17.668	8.907	4.687	13.593
4	3.5	24.423	8.907	4.062	12.969
5	4.5	31.178	8.907	3.437	12.344
6	5.5	37.933	8.907	2.812	11.719
7	6.5	44.688	8.907	2.187	11.094
8	7.5	51.443	8.907	1.562	10.469
9	8.5	58.198	8.907	0.937	9.844
10	9.5	64.953	8.907	0.312	9.219
$\Sigma :$					120.312

Donatı alanı: $A_s = 0.000464 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.0558 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$$q = 3 \text{ kN/m}^2$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	4.549	8.907	5.936	14.843
2	1.5	11.304	8.907	5.311	14.218
3	2.5	18.059	8.907	4.687	13.593
4	3.5	24.814	8.907	4.062	12.969
5	4.5	31.569	8.907	3.437	12.344
6	5.5	38.324	8.907	2.812	11.719
7	6.5	45.079	8.907	2.187	11.094
8	7.5	51.834	8.907	1.562	10.469
9	8.5	58.589	8.907	0.937	9.844
10	9.5	65.344	8.907	0.312	9.219
$\Sigma :$					120.312

Donatı alanı: $A_s = 0.000467 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.0562 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$$q = 4 \text{ kN/m}^2$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	4.939	8.907	5.936	14.843
2	1.5	11.694	8.907	5.311	14.218
3	2.5	18.449	8.907	4.687	13.593
4	3.5	25.204	8.907	4.062	12.969
5	4.5	31.959	8.907	3.437	12.344
6	5.5	38.714	8.907	2.812	11.719
7	6.5	45.469	8.907	2.187	11.094
8	7.5	52.224	8.907	1.562	10.469
9	8.5	58.979	8.907	0.937	9.844
10	9.5	65.734	8.907	0.312	9.219
$\Sigma :$					120.312

Donatı alanı: $A_s = 0.00047 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.0565 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$$q = 5 \text{ kN/m}^2$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	5.330	8.907	5.936	14.843
2	1.5	12.085	8.907	5.311	14.218
3	2.5	18.840	8.907	4.687	13.593

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
4	3.5	25.595	8.907	4.062	12.969
5	4.5	32.350	8.907	3.437	12.344
6	5.5	39.105	8.907	2.812	11.719
7	6.5	45.860	8.907	2.187	11.094
8	7.5	52.615	8.907	1.562	10.469
9	8.5	59.370	8.907	0.937	9.844
10	9.5	66.125	8.907	0.312	9.219
$\Sigma :$				120.312	

Donatı alanı: $A_s = 0.000472 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.0568 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$q = 6 \text{ kN/m}^2$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	5.720	8.907	5.936	14.843
2	1.5	12.475	8.907	5.311	14.218
3	2.5	19.230	8.907	4.687	13.593
4	3.5	25.985	8.907	4.062	12.969
5	4.5	32.740	8.907	3.437	12.344
6	5.5	39.495	8.907	2.812	11.719
7	6.5	46.250	8.907	2.187	11.094
8	7.5	53.005	8.907	1.562	10.469
9	8.5	59.760	8.907	0.937	9.844
10	9.5	66.515	8.907	0.312	9.219
$\Sigma :$				120.312	

Donatı alanı: $A_s = 0.000475 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.0571 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$q = 7 \text{ kN/m}^2$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	6.111	8.907	5.936	14.843
2	1.5	12.866	8.907	5.311	14.218
3	2.5	19.621	8.907	4.687	13.593
4	3.5	26.376	8.907	4.062	12.969
5	4.5	33.131	8.907	3.437	12.344
6	5.5	39.886	8.907	2.812	11.719
7	6.5	46.641	8.907	2.187	11.094
8	7.5	53.396	8.907	1.562	10.469
9	8.5	60.151	8.907	0.937	9.844

Donatı No	Zi [m]	Tı [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
10	9.5	66.906	8.907	0.312	9.219
				$\Sigma :$	120.312

Donatı alanı: $A_s = 0.000478 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.0575 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$q = 8 \text{ kN/m}^2$

Donatı No	Zi [m]	Tı [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	6.501	8.907	5.936	14.843
2	1.5	13.256	8.907	5.311	14.218
3	2.5	20.011	8.907	4.687	13.593
4	3.5	26.766	8.907	4.062	12.969
5	4.5	33.521	8.907	3.437	12.344
6	5.5	40.276	8.907	2.812	11.719
7	6.5	47.031	8.907	2.187	11.094
8	7.5	53.786	8.907	1.562	10.469
9	8.5	60.541	8.907	0.937	9.844
10	9.5	67.296	8.907	0.312	9.219
				$\Sigma :$	120.312

Donatı alanı: $A_s = 0.000481 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.0579 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$q = 9 \text{ kN/m}^2$

Donatı No	Zi [m]	Tı [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	6.892	8.907	5.936	14.843
2	1.5	13.647	8.907	5.311	14.218
3	2.5	20.402	8.907	4.687	13.593
4	3.5	27.157	8.907	4.062	12.969
5	4.5	33.912	8.907	3.437	12.344
6	5.5	40.667	8.907	2.812	11.719
7	6.5	47.422	8.907	2.187	11.094
8	7.5	54.177	8.907	1.562	10.469
9	8.5	60.932	8.907	0.937	9.844
10	9.5	67.687	8.907	0.312	9.219
				$\Sigma :$	120.312

Donatı alanı: $A_s = 0.000483 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.0581 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$$q = 10 \text{ kN/m}^2$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	7.282	8.907	5.936	14.843
2	1.5	14.037	8.907	5.311	14.218
3	2.5	20.792	8.907	4.687	13.593
4	3.5	27.547	8.907	4.062	12.969
5	4.5	34.302	8.907	3.437	12.344
6	5.5	41.057	8.907	2.812	11.719
7	6.5	47.812	8.907	2.187	11.094
8	7.5	54.567	8.907	1.562	10.469
9	8.5	61.322	8.907	0.937	9.844
10	9.5	68.077	8.907	0.312	9.219
$\Sigma :$					120.312

Donatı alanı: $A_s = 0.000486 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.0585 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

Yukarıdaki çözümlere bakıldığında sürşarj yükünün artması neticesinde T_i ve ΣVd değerlerinin arttığı görülmüştür (Şekil 5.4). Donatı uzunluklarının ise q değişiminden etkilenmediği görülmüştür. Donatı uzunluklarının sabit kalmasının nedeni aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

$$L = L_e + L_R$$

$$L_R = h \times \tan(45 - \Phi/2)$$

$$L_e = \frac{(G.S.)(T_i)}{2b(\tan \delta)(\gamma.z_i + q)}$$
 bu formülde T_i yerine $(\gamma z_i + q) \cdot S_v \cdot S_H \cdot K_a$ yazıldığında pay ve

paydadaki $(\gamma z_i + q)$ lar sadeleşir ve L_e uzunluğunun q ya bağlı olmadığı görülür.

$$L_e = \frac{(G.S.)S_v S_H K_a}{2b(\tan \delta)}$$

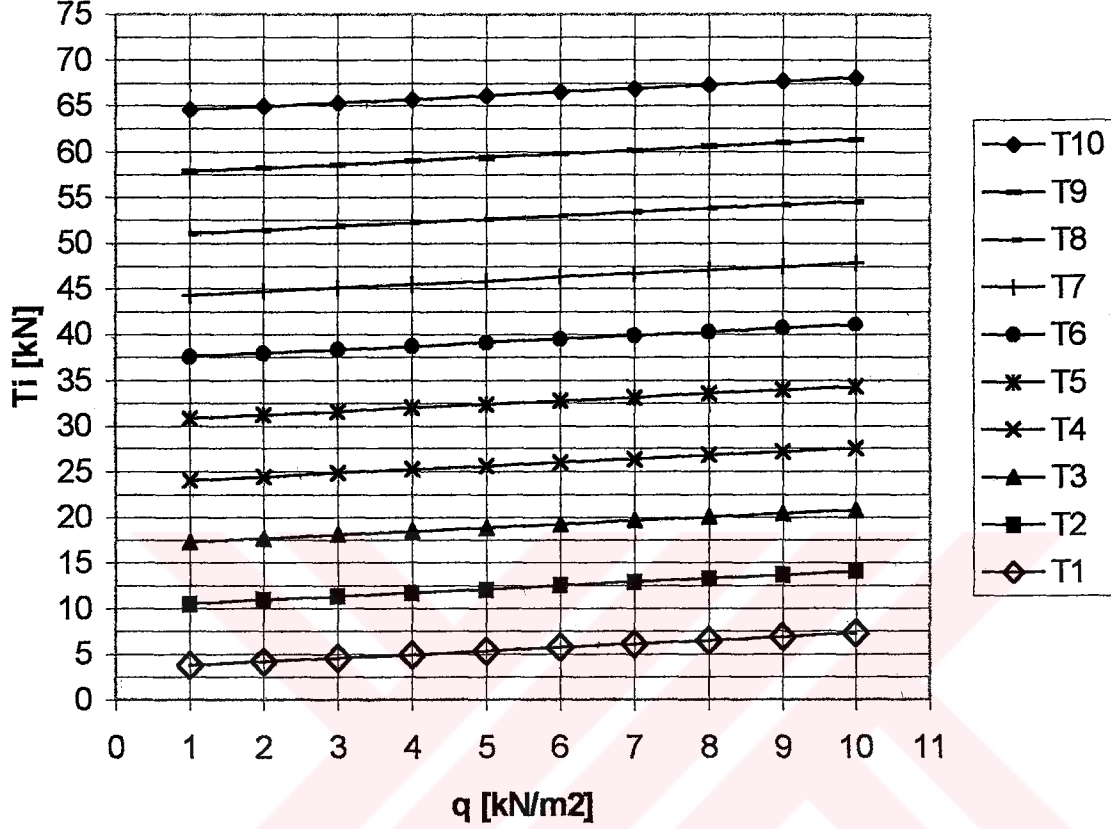
görüldüğü üzere ne L_R uzunluğu nede L_e uzunluğu q değerine bağlı değerler değildir. Bu nedenle toplamalarının da q değerine bağlı olmaması doğaldır.

Farklı q değerleri için örneklemelere ait sonuçlara ve Şekil 5.4 e bakıldığında, birim q değeri artışı için T_i değeri artışının sabit olduğu görülür (T_i doğruları birbirlerine paraleldir). Bu eşitlik tüm T_i değerleri için de geçerlidir. Bu denkleğin nedeni ise aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

$$q = 1 \text{ kN/m}^2 \text{ için } T_i = (\gamma \cdot z_i + 1) \cdot S_v \cdot S_H \cdot K_a$$

$$q = 2 \text{ kN/m}^2 \text{ için } T_i = (\gamma \cdot z_i + 2) \cdot S_v \cdot S_H \cdot K_a$$

$$T_i(q=2) - T_i(q=1) = S_v \cdot S_H \cdot K_a$$



Şekil 5.4 $T_i - q$ değişimi ($H = 10\text{m}$, $\gamma = 17.3 \text{ kN/m}^3$, $S_v = S_H = 1 \text{ m}$, $\Phi = 26^\circ$, $b = 100 \text{ mm}$, $f_a = 140 \text{ MPa}$)

Sonuç olarak,

Sürşarj yükünün donatı uzunluğuna etkisi olmadığından, Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.15 sürşarj yükünün bulunduğu haller için de geçerliliğini korur.

Sürşarj etkisinin olduğu hallerde donatı kuvvetleri, Çizelge 5.10 yada Çizelge 5.14 den bulunacak T_i değerlerine Çizelge 5.16 daki değerler eklenerek bulunabilir.

$$T_i = T_{i(\text{Çizelge})} + T_{i(q)} \times q \times S_H$$

Çizelge 5.16 sürşarj kaynaklı donatı ek kuvvetleri

Φ :	26	27	28	29	30	31	32	33	34
$T_{i(q)}$	0.39	0.376	0.361	0.347	0.333	0.32	0.307	0.295	0.283

5.3.2 Uygun ağırlık analizi yöntemi ile içsel denge tahkiki

$$\begin{aligned}
 k \text{ derinlikle değişken} \rightarrow k &= k_0 \cong (1 - \sin \Phi) & z = 0 \text{ m} \\
 k_a < k < k_0 & & 0 < z < 6 \text{ aralığında lineer azalan} \\
 k &= k_a = \tan^2(45 - \Phi/2) & z \geq 6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Malzeme ve kesit özellikleri; $H = 10\text{m}$, $\gamma = 17.3 \text{ kN/m}^3$, $S_V = S_H = 1 \text{ m}$, $\Phi = 26^\circ$, $b = 100 \text{ mm}$, $f_a = 140 \text{ MPa}$ olan donatılı duvara farklı q değerleri etkimesi halinde aşağıdaki çözümler elde edilir.

$$q = 1 \text{ kN/m}^2$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	5.282	12.486	3.000	15.486
2	1.5	13.983	11.835	3.000	14.835
3	2.5	21.696	11.185	3.000	14.185
4	3.5	28.423	10.534	3.000	13.534
5	4.5	34.162	9.883	3.000	12.883
6	5.5	38.914	9.232	2.812	12.044
7	6.5	44.298	8.907	2.187	11.094
8	7.5	51.053	8.907	1.562	10.469
9	8.5	57.808	8.907	0.937	9.844
10	9.5	64.563	8.907	0.312	9.219
$\Sigma :$					123.593

Donatı alanı: $A_s = 0.000461 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.057 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$$q = 2 \text{ kN/m}^2$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	5.829	12.486	3.000	15.486
2	1.5	14.501	11.835	3.000	14.835
3	2.5	22.186	11.185	3.000	14.185
4	3.5	28.884	10.534	3.000	13.534
5	4.5	34.595	9.883	3.000	12.883
6	5.5	39.319	9.232	2.812	12.044
7	6.5	44.688	8.907	2.187	11.094
8	7.5	51.443	8.907	1.562	10.469
9	8.5	58.198	8.907	0.937	9.844
10	9.5	64.953	8.907	0.312	9.219
$\Sigma :$					123.593

Donatı alanı: $A_s = 0.000464 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.057 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

$$q = 3 \text{ kN/m}^2$$

Donatı No	Zi [m]	Ti [kN]	Le [m]	LR [m]	L [m]
1	0.5	6.377	12.486	3.000	15.486
2	1.5	15.020	11.835	3.000	14.835
3	2.5	22.677	11.185	3.000	14.185
4	3.5	29.346	10.534	3.000	13.534
5	4.5	35.029	9.883	3.000	12.883
6	5.5	39.724	9.232	2.812	12.044
7	6.5	45.079	8.907	2.187	11.094
8	7.5	51.834	8.907	1.562	10.469
9	8.5	58.589	8.907	0.937	9.844
10	9.5	65.344	8.907	0.312	9.219
$\Sigma :$					123.593

Donatı alanı: $A_s = 0.000467 \text{ m}^2$ ve duvarın 1 metresindeki donatı hacmi: $\Sigma Vd = 0.058 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak elde edilir.

Sonuç olarak sürşarj etkisinin bulunması halinde,

Donatı uzunlukları Çizelge 5.13 kullanılarak bulunabilir. Donatı kuvvetleri ise, Çizelge 5.12 yada Şekil 5.2 den okunacak T_i değerlerine Çizelge 5.17 deki değerler eklenerek bulunmalıdır.

$$T_i = T_{i(\text{Çizelge})} + T_{i(q)} \times q \times S_H$$

Çizelge 5.17 sürşarj kaynaklı donatı ek kuvvetleri

Φ	$T_{i(q)} z < 6\text{m}$	$T_{i(q)} z \geq 6\text{m}$
26	$0.562 - 0.0287z$	0.39
27	$0.546 - 0.0284z$	0.376
28	$0.531 - 0.0282z$	0.361
29	$0.515 - 0.028z$	0.347
30	$0.5 - 0.0278z$	0.333
31	$0.485 - 0.0274z$	0.32
32	$0.47 - 0.0271z$	0.307
33	$0.455 - 0.0268z$	0.295
34	$0.441 - 0.0263z$	0.283

5.4 İçsel Stabilité Analizi Bilgisayar Programı

5.4.1 Geri Bağ – Kama analizi yöntemi programı

($k = k_a$ derinlikle sabit)

1. adım : Excel veri sayfasının düzenlenmesi

Veri sayfası Şekil 5.5 de görüldüğü gibi düzenlenmelidir. “Sayfa 1” → “çıktı” olarak yeniden adlandırılmalı (üzerine gelip sağ klik çıkan mönüden yeniden adlandır seçilerek yapılabilir.)

C8 hücrelerine " $=0.7 * C7$ "

F2 hücreesine “=(TAN(RADYAN(45-C7/2)))^2”

F3 hücrelerine “=C11*C12”

F4 hücrelerine “=C3*C4”

F5 hüçresine “=C2/C3”

J4 hücrelerine “=C3*C4”

J5 hücrelerine “=C2/C3”

J8 hücresine “=RADYAN(C8)”

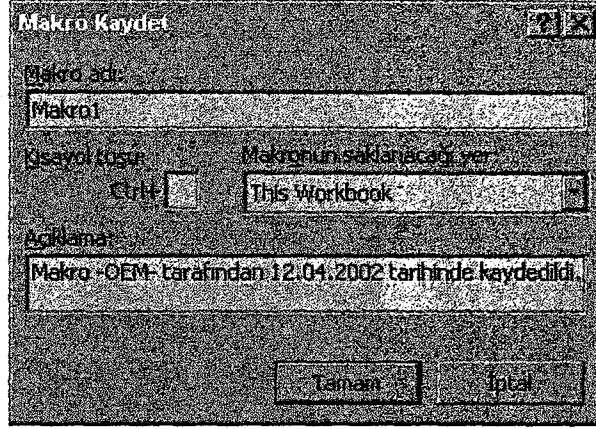
J9 hücreesine “=RADYAN(45-C7/2)” formülleri yazılmalıdır.

[illegible]

Şekil 5.5 programa ait veri sayfası görüntüsü

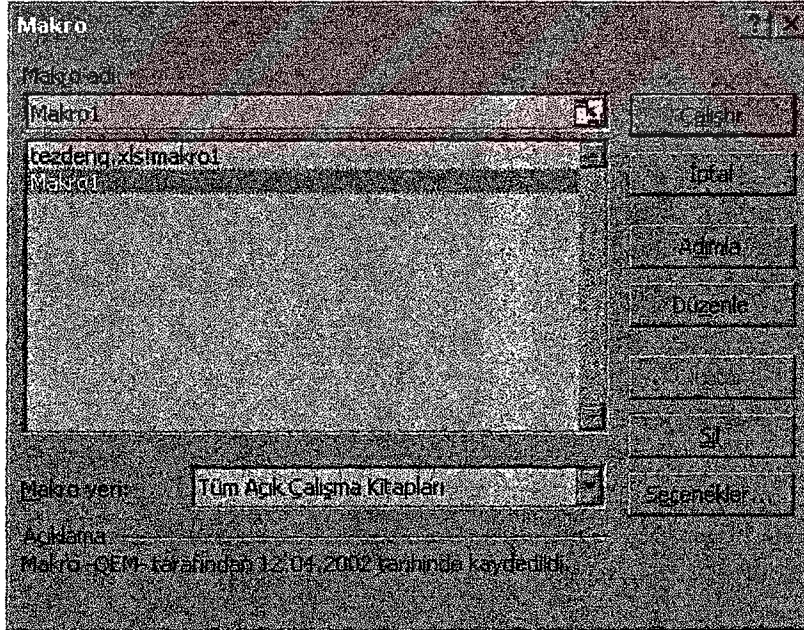
2. adım : makro oluşturulması (Visual Basic)

araçlar menüsünden makro → yeni makro kaydet seçilmeli



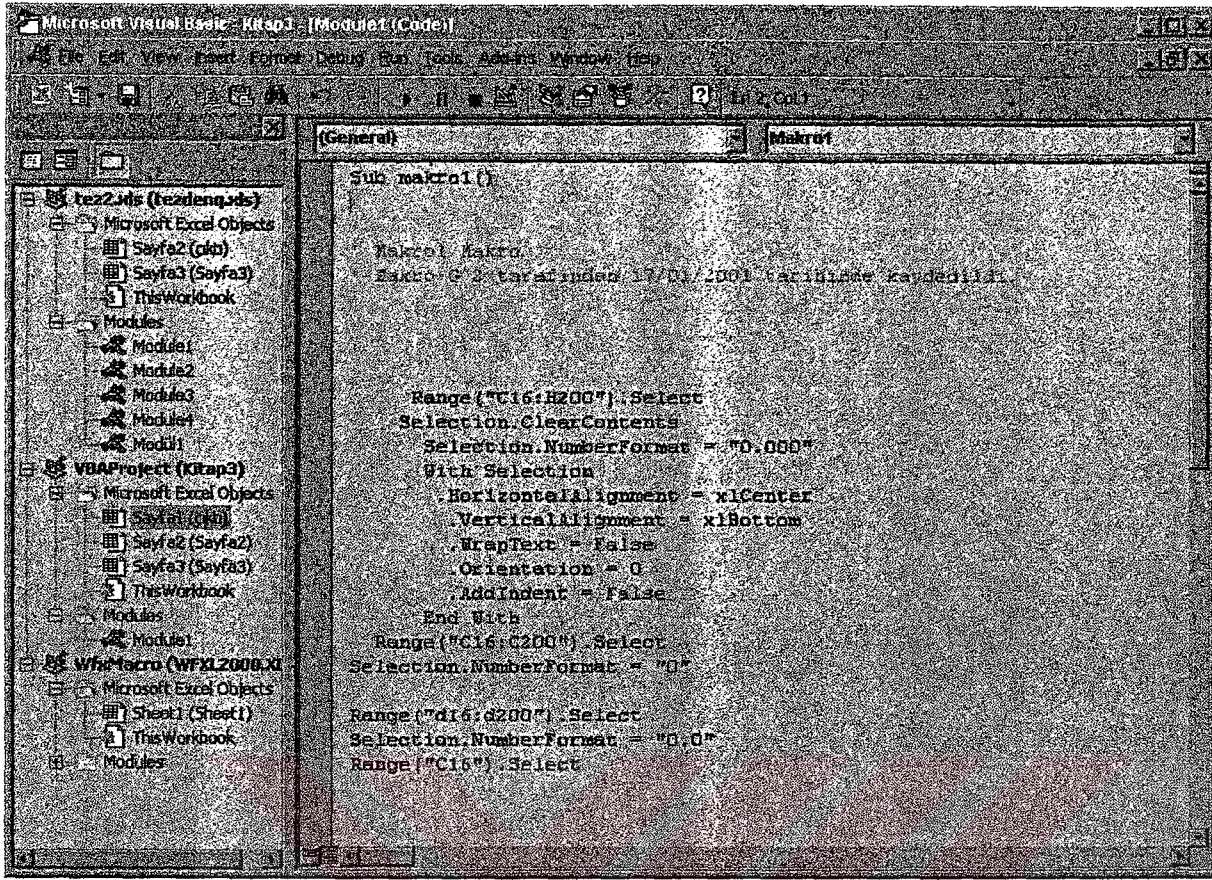
Şekil 5.6 makro kaydet penceresi

Açılan pencerede (Şekil 5.6) Tamam sekmesini tıkladıktan sonra, beliren toolbar üzerindeki kaydı durdur simgesini tıklayın. Tekrar araçlar menüsünden makro → makrolar seçeneğini tıkladıktan sonra beliren pencereden Makro1' i seçerek düzenle düğmesini tıklayın (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 makrolar penceresi

Açılan pencere (Şekil 5.8) içerisine aşağıda bulunan program datasını girip pencereyi kapatarak Excel ortamına geri dönün. Tekrar araçlar menüsünden makro → makrolar seçeneğini tıkladıktan sonra beliren pencereden Makro1' i seçerek çalıştır düğmesini tıklayın (Şekil 5.7).



Şekil 5.8 makro düzenle penceresi

Program datası :

Sub makrol1()

```

'
' Makrol1 Makro
' Makro G^2 tarafından 17/01/2001 tarihinde kaydedildi.
'
'

```

```

    Range("C16:H200").Select
    Selection.ClearContents
    Selection.NumberFormat = "0.000"
    With Selection
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .VerticalAlignment = xlBottom
        .WrapText = False
        .Orientation = 0
        .AddIndent = False
    End With
    Range("C16:C200").Select
    Selection.NumberFormat = "0"
    Range("d16:d200").Select
    Selection.NumberFormat = "0.0"
    Range("C16").Select

```

```

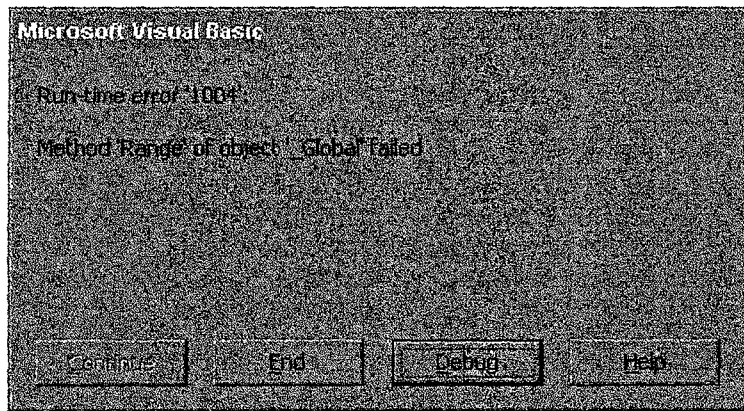
f = Cells(9, 10) '45-f/2
b = Cells(12, 3) 'donatı kesit gen.
z = Cells(8, 6) '1. donatı derinliği
g = Range("çıkıtı!C6") ' zemin br.hac. ağır.
s = Cells(9, 6) ' G.S
v = Range("çıkıtı!C3") 'düşey ara
h = Cells(4, 3) 'yatay ara
c = Cells(5, 10) 'donatı sayısı
k = Range("çıkıtı!F2") 'Ka
d = Range("çıkıtı!j8") 'sürtünme açısı
hb = Range("çıkıtı!C2") 'duvar H
q = Cells(6, 6) ' sürşarj yükü
j = z
For i = 1 To c
Cells(i + 15, 4) = j
Cells(i + 15, 3) = i
Cells(i + 15, 5) = (g * j + q) * v * h * k
Cells(i + 15, 6) = s * h * v * k / (2 * b * Tan(d))
Cells(i + 15, 7) = (hb - j) * Tan(f)
Cells(i + 15, 8) = Cells(i + 15, 7) + Cells(i + 15, 6)
j = j + v
Next i

makst = 0
For i = 1 To c
If Cells(15 + i, 5) > makst Then makst = Cells(15 + i, 5)
Next i
Cells(11, 3) = makst / b / Cells(10, 3) / 1000

End Sub

```

Muhtemel hata uyarıları :



Şekil 5.9 hata uyarısı

Şekil 5.9 daki gibi bir uyarıyla karşılaşırsanız “sayfa” ismini “çıkıtı” olarak değiştirin.

5.4.2 Uygun ağırlık analizi yöntemi programı

1. adım : veri sayfasının düzenlenmesi

Veri sayfası Şekil 5.5 de görüldüğü gibi düzenlenmelidir.

“Sayfa 1” → “çıktı” olarak yeniden adlandırılmalı (üzerine gelip sağ klik çıkan mönüden yeniden adlandır seçilerek yapılabilir.)

bölüm 5.4.1 de anlatılanlara ek olarak;

J10 hücrelerine “=RADYAN(C7)”

J11 hücrelerine “=1-SİN(J10)”

J12 hücrelerine “=J11-F2”

K12 hücrelerine “=J12/6” formülleri yazılmalıdır.

2. adım : makro oluşturulması (Visual Basic)

2. adımda Şekil 5.8 de belirtilen pencere içerisine aşağıda bulunan program datasını girin. Diğer işlemleri bölüm 5.4.1 anlatıldığı gibi uygulayın.

Program datası :

Sub makro1()

,

' Makro1 Makro

' Makro G^2 tarafından 17/01/2001 tarihinde kaydedildi.

,

,

Range("C16:H200").Select

Selection.ClearContents

Selection.NumberFormat = "0.000"

With Selection

.HorizontalAlignment = xlCenter

.VerticalAlignment = xlBottom

.WrapText = False

.Orientation = 0

.AddIndent = False

End With

Range("C16:C200").Select

Selection.NumberFormat = "0"

Range("d16:d200").Select

Selection.NumberFormat = "0.0"

Range("C16").Select

f = Cells(9, 10) '45-f/2

b = Cells(12, 3) 'donatı kesit gen.

z = Cells(8, 6) '1. donatı derinliği

g = Range("çıkıtı!C6") ' zemin br.hac. ağır.

s = Cells(9, 6) ' G.S

v = Range("çıkıtı!C3") 'düşey ara

h = Cells(4, 3) 'yatay ara

c = Cells(5, 10) 'donatı sayısı

k = Range("çıkıtı!F2") 'Ka

ko = Range("çıkıtı!j11") 'ko

d = Range("çıkıtı!j8") 'sürtünme açısı

hb = Range("çıkıtı!C2") 'duvar H

q = Cells(6, 6) ' sürşarj yükü

j = z

For i = 1 To c

Cells(i + 15, 4) = j

Cells(i + 15, 3) = i

If j >= 6 Then Cells(i + 15, 5) = (g * j + q) * v * h * k

If j < 6 Then Cells(i + 15, 5) = (g * j + q) * v * h * (ko - j * (ko - k) / 6)

If j >= 6 Then Cells(i + 15, 6) = s * h * v * k / (2 * b * Tan(d))

If j < 6 Then Cells(i + 15, 6) = s * h * v * (ko - j * (ko - k) / 6) / (2 * b * Tan(d))

If j > hb / 2 Then Cells(i + 15, 7) = (hb - j) * Tan(f)

If j <= hb / 2 Then Cells(i + 15, 7) = 0.3 * hb

Cells(i + 15, 8) = Cells(i + 15, 7) + Cells(i + 15, 6)

j = j + v

Next i

makst = 0

For i = 1 To c

If Cells(15 + i, 5) > makst Then makst = Cells(15 + i, 5)

Next i

Cells(11, 3) = makst / b / Cells(10, 3) / 1000

End Sub

6. MALİYET ANALİZİ

6.1 Maliyet Kalemleri

Yüzey Paneli Maliyeti :

Donatılı zemin duvarlarda, duvarın hemen arkasındaki zemini tutan, donatı elemanlarına bağlantı yeri ve estetik ön cephe görüntüsü sağlayan yüzey panelleri genellikle 18 cm kalınlığında 1.5 m x 1.5 m boyutlarında “artı” şeklindeki elemanlardır. Çizelge 6.1 de bir adet yüzey paneli maliyeti 19.696.225.-TL olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.1 Bir adet yüzey paneline ait yaklaşık birim fiyat analizi (BAYBF 2002)

Br F.No	Tanımı	Br.	Miktar	Br. Fiyatı	Toplam
....	Hafif Panel Betonlu im.	m ³	0.25	30.000.000	7.500.000.-TL
21.011	Düz yüzeyli B.A. Kalıp	m ²	1.2	7.132.500	8.559.000.-TL
23.014	n. çeliğin bükülüp yerine kon.	Ton	6 x 10 ⁻³	560.912.500	3.365.475.-TL
01.501/A	Panelin yerine yerleştirilmesi	Saat	0.2	1.358.750	271.750.-TL
Toplam					19.696.225.-TL

Panel altı temel betonu : doğrusallığı sağlamak, panellerin zati ağırlıklarını zemine yayabilmek ve farklı oturumları engellemek amacıyla ilk sıra panellerin altında imal edilen beton / betonarme temel.

Panel üstü beton kiriş : duvarın üst bölümündeki üniformluğu sağlayabilmek amacıyla üst sıra yüzey panellerine oturan yaklaşık 150 mm kalınlığındaki kiriş.

Dolgu Zemini Maliyeti :

Duvar dolgusu zemininin yerine serilmesi ve makine ile sıkıştırılması.

Çizelge 6.2 Bir m³ duvar dolgusu zemini birim fiyat analizi (BAYBF 2002)

Br F.No	Tanımı	Br.	Miktar	Br. Fiyatı	Toplam
....	Dolgu Malzemesi	m ³	1	3.261.000	3.261.000.-TL
01.501	İşçilik serilme, sulama	Saat	1	711.000	711.000.-TL
03.543/1	Tamburlu k.a.silindir saat ücreti	Saat	0.1	25.526.310	2.524.631.-TL
Toplam					19.696.225.-TL
%25					1.631.158.-TL
Genel Σ					8.155.790.-TL

Donatı Maliyeti :

Çelik donatının yerine koyulması. Yüzey panelleri ile bağlantısının yapılması.

Kazı Maliyeti :

İnşaat sahasının hazırlanması sırasında oluşacak kazı faaliyeti.

Nakliye Maliyeti :

Dolgu zemini, kazı sonucunda ortaya çıkan zemin, donatı, yüzey panelleri ve temel betonunun nakli.

6.2 Donatı Diziliminin Maliyet Üzerine Etkisinin İncelenmesi**donatı yatay aralığı artış etkisinin incelenmesi :**

(donatı alanlarına paspayı dahil edilmemiştir)

$H = 4 \text{ m}$, $\gamma = 17.3 \text{ kN/m}^3$, $\Phi = 26^\circ$, $b = 100 \text{ mm}$, $f_a = 140 \text{ MPa}$ özelliklerindeki donatılı duvara ait üç farklı S_H durumu için hesaplanan sonuçlara bakıldığında;

$S_V = 0.5 \text{ m}$, $S_H = 0.8 \text{ m}$ lik duvara ait toplam donatı uzunluğu : $\Sigma L = 38.251 \text{ m}$, donatı kesit alanı $A_s(\text{paspayı hariç}) = 7 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, duvarın bir metresindeki toplam donatı hacmi $\Sigma Vd = 0.00335 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak bulunur.

$S_V = 0.5 \text{ m}$, $S_H = 1 \text{ m}$ lik duvara ait toplam donatı uzunluğu : $\Sigma L = 45.376 \text{ m}$, donatı kesit alanı $A_s(\text{paspayı hariç}) = 9 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, bir metresindeki donatı hacmi $\Sigma Vd = 0.00408 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak bulunur. $S_V = 0.5 \text{ m}$, $S_H = 1.5 \text{ m}$ lik duvara ait toplam donatı uzunluğu : $\Sigma L = 63.19 \text{ m}$, donatı kesit alanı $A_s(\text{paspayı hariç}) = 1.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, bir metresindeki donatı hacmi $\Sigma Vd = 0.0059 \text{ m}^3/\text{m}$ olarak bulunur.

H = 5 m için,

$$S_H = 0.8 \text{ m} \quad \Sigma Vd = 0.00621 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$S_H = 1 \text{ m} \quad \Sigma Vd = 0.00703 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$S_H = 1.5 \text{ m} \quad \Sigma Vd = 0.0097 \text{ m}^3/\text{m}$$

H = 6 m için,

$$S_H = 0.8 \text{ m} \quad \Sigma Vd = 0.0095 \text{ m}^3/\text{m}$$

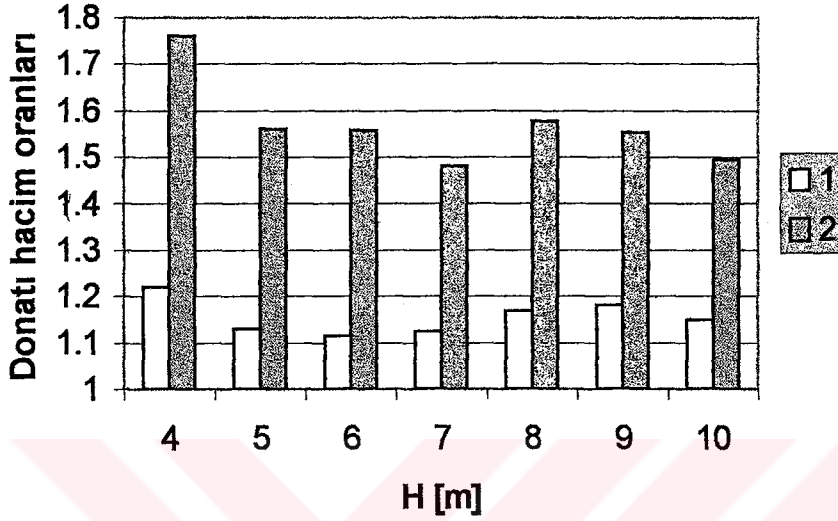
$$S_H = 1 \text{ m} \quad \Sigma Vd = 0.011 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$S_H = 1.5 \text{ m} \quad \Sigma Vd = 0.0148 \text{ m}^3/\text{m}$$

Geri bağ – kama analizi ile yapılan çözümler sonucunda Şekil 6.1 grafiği oluşturulmuştur. Şekilde görülen 1 numaralı seri $\frac{\Sigma Vd(S_H = 1m)}{\Sigma Vd(S_H = 0.8m)}$ oranlarını, 2 numaralı seri

ise $\frac{\sum Vd(Sh = 1.5m)}{\sum Vd(Sh = 0.8m)}$ oranlarını içerir. Şekilden de anlaşılacağı gibi donatı yatay aralığı artışı

donatı maliyetini dolayısıyla duvar maliyetini arttırmaktadır. S_H değerinin 0.8 den 1 m 'ye çıkarılması halinde donatı maliyetinin yaklaşık %20 oranında, 0.8 den 1.5 m 'ye çıkarılması halinde ise donatı maliyetinin yaklaşık %50 oranında arttığı görülmüştür.



Şekil 6.1 Donatı hacim oranı değişimi

donatı düşey aralığı etkisinin incelenmesi :

Bu bölümde $H = 4$ m, $\gamma = 17.3$ kN/m³, $\Phi = 26^\circ$, $b = 100$ mm, $f_a = 140$ MPa özelliklerindeki bir duvar modeli dört farklı S_v durumu için çözülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

$S_v = 0.2$ m	$h = 0.0004$ m	$\Sigma L = 59.373$ m
$S_v = 0.4$ m	$h = 0.0008$ m	$\Sigma L = 46.876$ m
$S_v = 0.5$ m	$h = 0.0009$ m	$\Sigma L = 45.376$ m
$S_v = 1$ m	$h = 0.0017$ m	$\Sigma L = 40.627$ m

Maliyet hesabında proje mühendisinin tercihleri etkili olduğundan yapılan salt matematiksel işlemler S_v değeri için genel bir optimum değer tespitine imkan vermez. Yukarıdaki dört durum için de h : donatı kesidi yüksekliğinin paspayı da dahil edilerek 3 mm seçilmesi halinde;

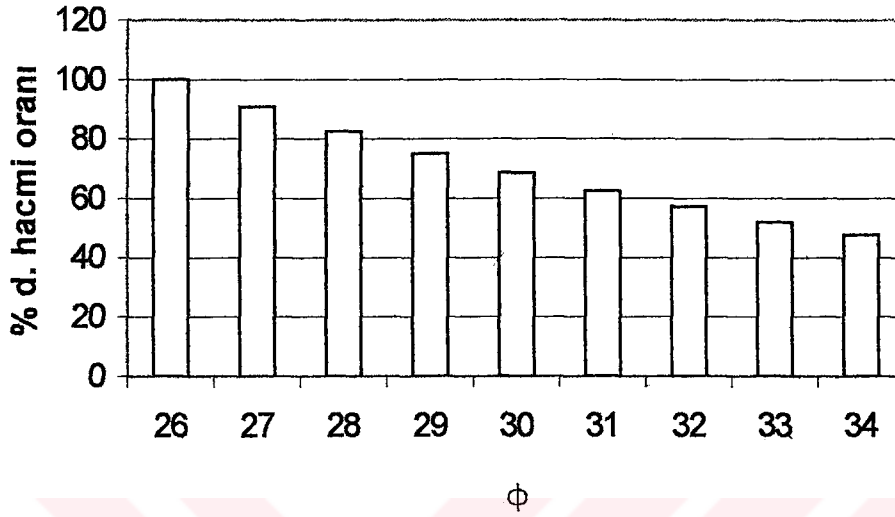
Toplam donatı hacimleri arasındaki ilişki

$\Sigma Vd(S_v=0.2) > \Sigma Vd(S_v=0.4) > \Sigma Vd(S_v=0.5) > \Sigma Vd(S_v=1)$ şeklindedir.

Ayrıca bu ilişki Panel – Donatı bağlantı elemanı sayıları için de geçerlidir. Bu şartlar altında Toplam maliyet değerleri arasındaki ilişki $M(0.2) > M(0.4) > M(0.5) > M(1)$ halindedir. Sonuç olarak proje mühendisi kendi modeline ait donatı aralıklarını tüm maliyetleri

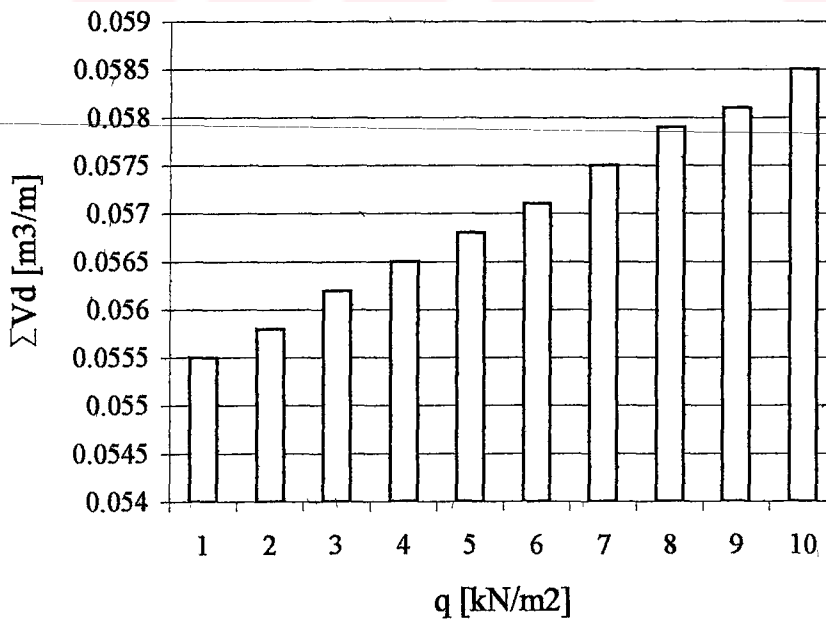
gözönünde bulundurarak optimizasyona gitmelidir. Maliyet araştırması esnasında donatı düşey aralığının derinlikle azalan şekilde de seçilebileceği gözönünde bulundurulmalıdır.

6.3 Duvar Dolgusu Özelliklerinin Maliyet Üzerine Etkisinin İncelenmesi



Şekil 6.2 $\Sigma Vd_{(\Phi)} / \Sigma Vd_{(\Phi=26)}$ oranı yüzdeleri

Çizelge 5.1-5.9 yardımıyla oluşturulan Şekil 6.2 de de görüldüğü gibi donatı maliyeti Φ açısı artışı ile ters orantılıdır. Sonuç olarak tasarımcı nakliye, sıkışabilirlik vb.. nedenlerden kaynaklanan maliyetleri de gözönünde bulundurarak duvar dolgusu zeminini tayin etmelidir.



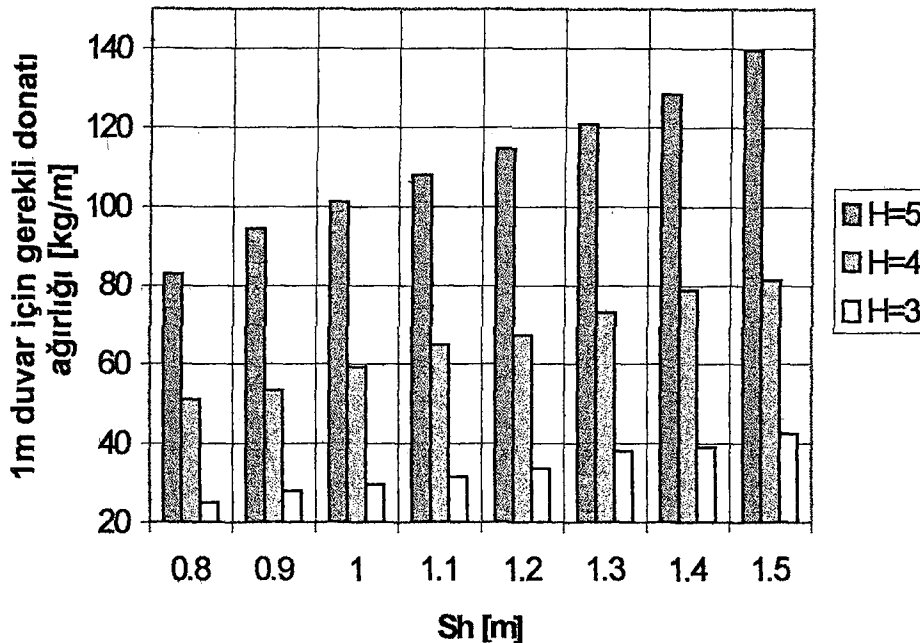
Şekil 6.3 $\Sigma Vd - q$ değişimi ($H = 10m$, $\gamma = 17.3 \text{ kN/m}^3$, $S_V = S_H = 1 \text{ m}$, $\Phi = 26^\circ$, $b = 100 \text{ mm}$, $f_a = 140 \text{ MPa}$)

7. SONUÇLAR

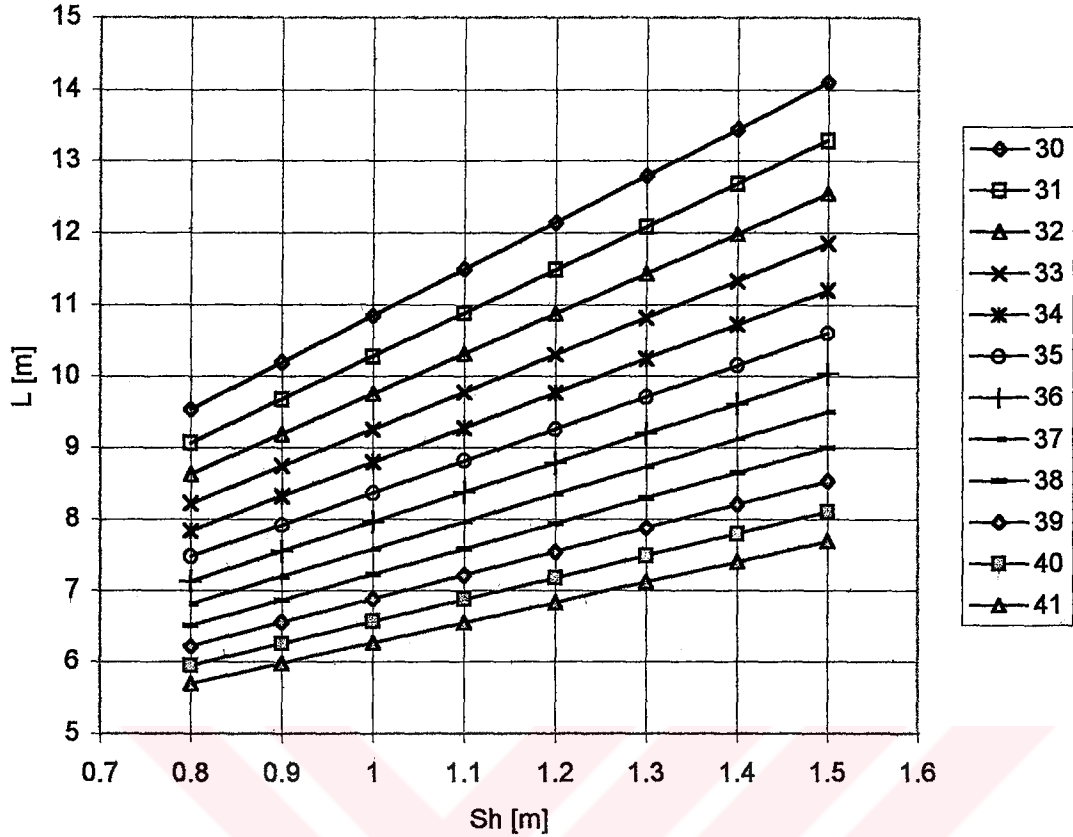
Bu çalışmanın ilk iki bölümünde, donatılı zemin ve temel prensiplerinden bahsedilmiş, sonraki bölümlerdeyse donatılı duvar uygulama alanları ve tasarım metotlarına değinilmiştir. Çalışmanın 5. bölümündeysen, genelde çubuk tipi güçlendirme için kullanılan iki farklı tasarım metodu için dahili stabilite analizleri yapılarak çeşitli abaklar oluşturulmuştur. Ekler bölümündeki Ek 1.1 – Ek 1.3 geri bağ – kama analizi metodu için, Ek 2.1 – Ek 2.4 ise uygun ağırlık analizi metodu için oluşturulmuş abaklardır. Ekler bölümündeki bu abaklar yardımıyla çeşitli hal ve durumlar için donatı kuvvetleri ve uzunlukları bulunabilmektedir. Çalışmanın 6. bölümündeysen, donatılı zemin duvara ait fiyat analizleri oluşturulmuş, duvar kesit ve zemin özelliklerinin birim duvar maliyeti üzerine etkisi incelenmiştir.

7.1 Geri Bağ – Kama Analizi Metodu Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Donatı düşey, yatay aralığı, zemin türü ve benzeri seçilebilir duvar parametrelerinin duvar genişliği, donatı uzunluğu, donatı kesit alanı ve benzeri duvar sonuç parametreleri üzerine etkisini incelemek amacıyla yapılan sayısal analizler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Donatı yatay aralığı değerinin artması halinde, L : duvar genişliği, donatı kesit alanı ve 1 m duvar için gerekli donatı ağırlığının arttığı görülmüştür. Şekil 7.1 de 1m duvar için gerekli donatı ağırlığının S_H ve duvar yüksekliğine bağlı olarak değişimi görülmektedir. Şekil 7.2 de ise L : duvar genişliğinin S_H ve Φ değerlerine bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil 7.1 S_H parametresinin donatı ağırlığına etkisi (k = ka derinlikle sabit)

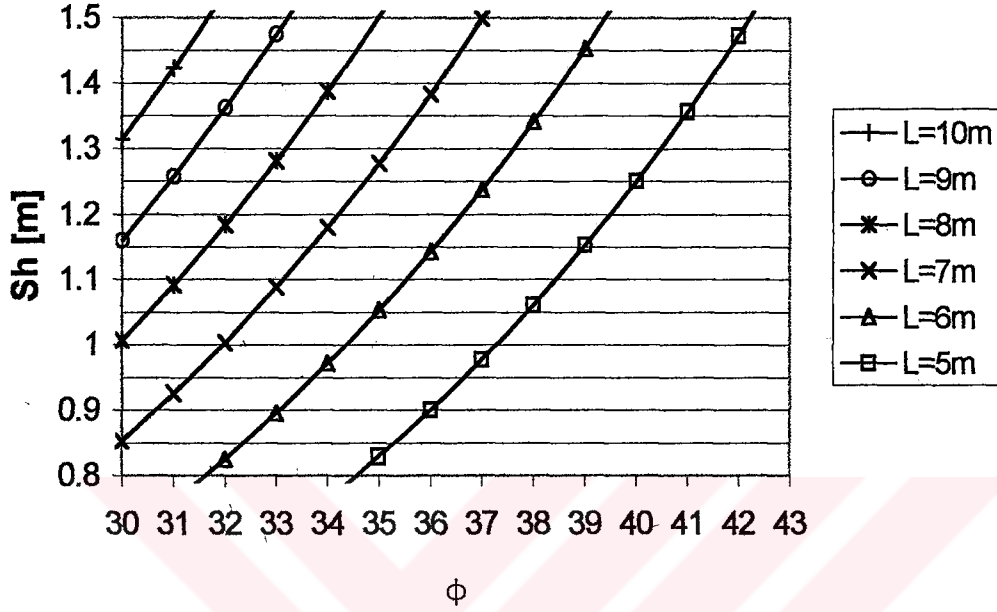


Şekil 7.2 S_H ve Φ parametrelerinin duvar genişliğine etkisi ($k = k_a$ derinlikle sabit, $H = 8m$, $S_v = 1 m$, $30 \leq \Phi \leq 41$)

Şekil 7.3 , $H = 3 m$ yüksekliğindeki bir duvara ait Φ , S_H , ve duvar genişliği parametrelerinin birbirine etkisini göstermektedir. Şekilden de anlaşılabileceği gibi duvar genişliği, S_H ile doğru, Φ parametresi ile ters orantılıdır. Ön boyut kuralları gereği alçak duvarlar ($3 \leq H \leq 6$) için duvar genişliği $5 m$ den küçük seçilemeyeceğinden şekil $L \geq 5 m$ için oluşturulmuştur. Şekil 7.3 deki duvara ait seçilebilir parametreler : 1. donatı derinliği : $z_1 = 0.5 m$, b : donatı genişliği = $0.1 m$, güvenlik sayısı 1.5 olarak seçilmiştir. S_H değerinin $0.8 m$ sınırının altında kaldığı durumlarda gerekli duvar genişliğini sağlayabilmek için b : donatı genişliği değerinin artırılması yada S_v : donatı düşey aralığı değerinin azaltılması gerekir. $1.5 m$ sınırının üstüne çıktığı durumlarda ise $S_H = 1.5 m$ seçilerek güvenli tarafta kalınabilir. Şekil 7.3 duvar genişliğinin sınırlı tutulması gerektiği durumlarda duvar parametrelerinin seçiminde kolaylık sağlayabilir. $H = 3 m$ den farklı duvarlar için oluşturan grafikler ekler bölümünde yer almaktadır.

Çizelge 7.1 de ise S_v donatı düşey aralığının duvar genişliği ve $1 m$ duvar için gerekli donatı ağırlığı üzerine etkisi görülmektedir. çizelgeden de anlaşılabileceği üzere, S_v değeri arttıkça maliyet üzerine direkt etkili olan duvar genişliği ve $1 m$ duvar için gerekli donatı ağırlığı değerlerinin arttığı görülmektedir. Donatı kesit alanlarına paspayı dahil edilmediğinden

çizelgede okunan 1 m duvar için gerekli donatı ağırlığı değeri olması gerekenden daha küçüktür. Çizelgeye ait seçilebilir parametreler : $\Phi=34^\circ$ (Gevşek – orta sıkı kum aralığında), $\gamma = 17.30 \text{ kN/m}^3$, $S_H = 1\text{m}$ olarak seçilmiştir.

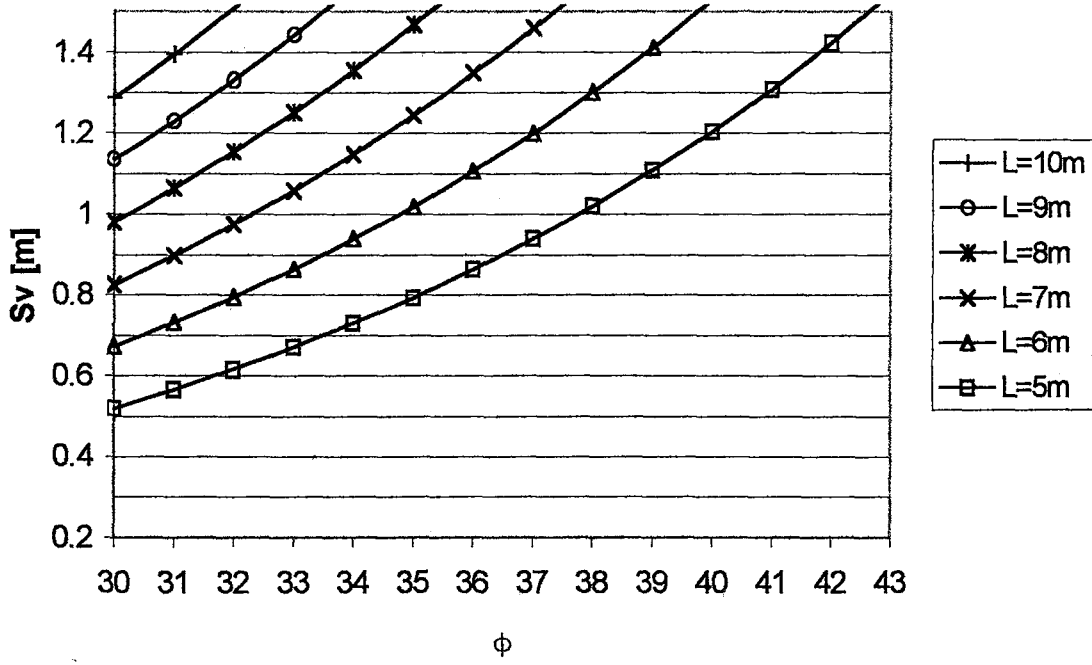


Şekil 7.3 Belirli duvar genişlikleri için S_H ve Φ değerlerinin değişimi ($k=k_a$ derinlikle sabit)

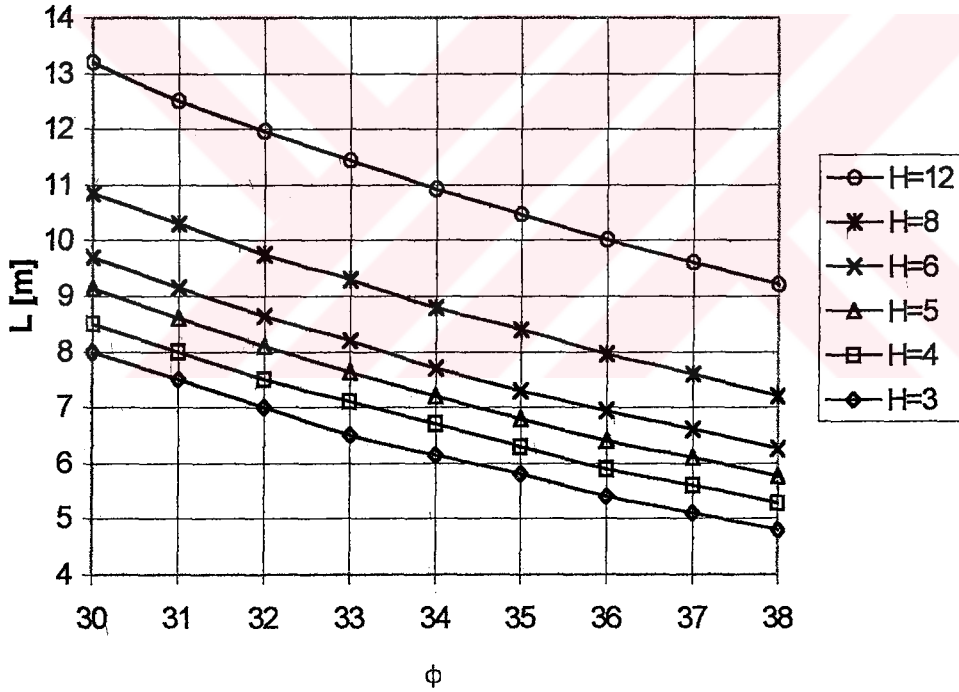
Çizelge 7.1 S_v parametresinin duvar parametreleri üzerine etkisi

	H = 3 m			H = 6 m			H = 9 m		
	S_v			S_v			S_v		
	0.3	0.5	1	0.3	0.5	1	0.3	0.5	1
L [m]	2.9	3.84	6.14	4.5	5.5	7.8	6.1	7.1	9.3
donatı ağırlığı [kg/m]	7.1	9.5	13	44	52	69.2	134	151	197

Şekil 7.4 , $H = 3 \text{ m}$ yüksekliğindeki bir duvara ait Φ , S_v , ve duvar genişliği parametrelerinin birbiri üzerine etkisini göstermektedir. Şekilden de anlaşılabacağı gibi duvar genişliği, S_v ile doğru, Φ parametresi ile ters orantılıdır. Ön boyut kuralları gereği alçak duvarlar ($3 \leq H \leq 6$) için duvar genişliği 5 m den küçük seçilemeyeceğinden şekil $L \geq 5 \text{ m}$ için oluşturulmuştur. Şekil 7.5 deki duvara ait seçilebilir parametreler : $z_1 = 0.2 \text{ m}$, b : donatı genişliği = 0.1 m, güvenlik sayısı 1.5 olarak seçilmiştir. S_v değerinin 1.5 m sınırının üstüne çıktığı durumlarda $S_v = 1.5 \text{ m}$ seçilerek güvenli tarafta kalınabilir. Şekil 7.4 duvar genişliğinin sınırlı tutulması gerektiği durumlarda duvar parametrelerinin seçiminde kolaylık sağlayabilir. $H = 3 \text{ m}$ den farklı duvarlar için oluşturan grafikler ekler bölümünde yer almaktadır.



Şekil 7.4 Belirli duvar genişlikleri için S_v ve Φ değerlerinin değişimi ($k=k_a$ derinlikle sabit)



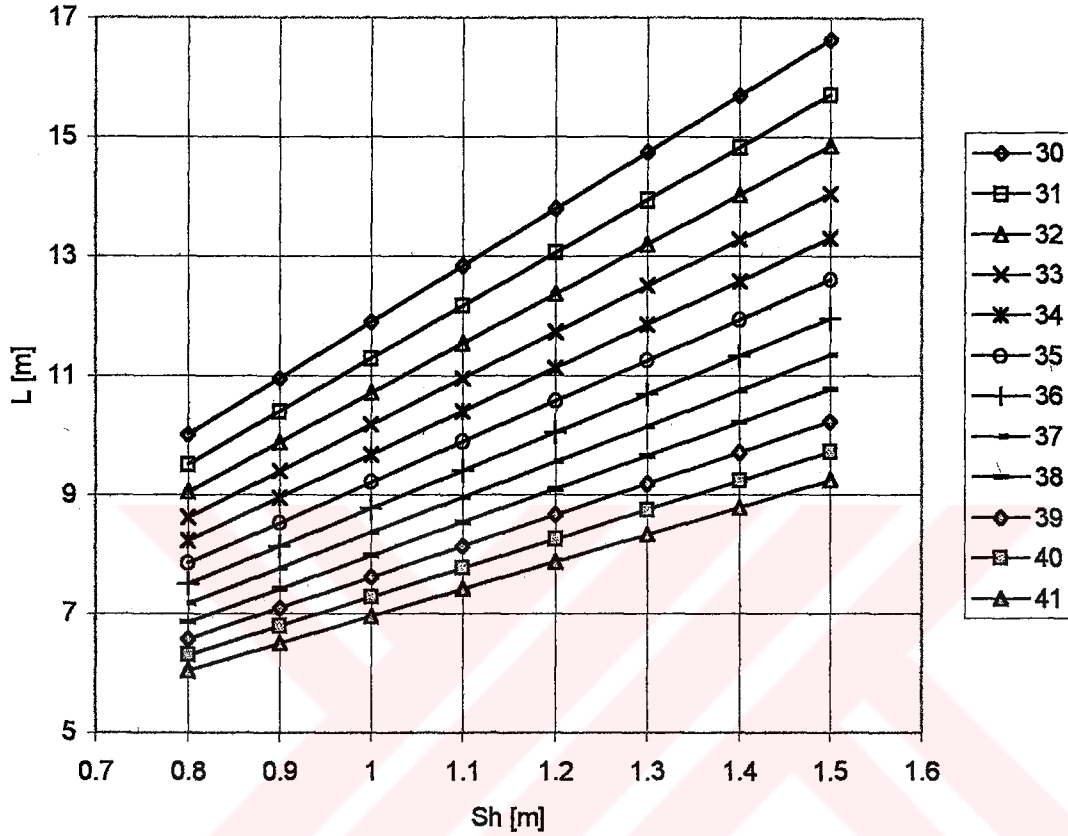
Şekil 7.5 Kayma mukavemeti açısının duvar genişliğine etkisi ($k = k_a$ derinlikle sabit)

Kayma mukavemeti açısının artması halinde, L : duvar genişliği, donatı kesit alanı ve 1 m duvar için gerekli donatı ağırlığının arttığı görülmüştür. Şekil 7.5 de L : duvar genişliğinin Φ ve H : duvar yüksekliği değerlerine bağlı olarak değişimi görülmektedir. Şekildeki duvarlara ait seçilebilir parametreler : $S_v = S_H = 1\text{m}$, $b = 0.1\text{ m}$ olarak seçilmiştir.

7.2 Uygun Ağırlık Analizi Metodu Sonuçlarının Değerlendirilmesi

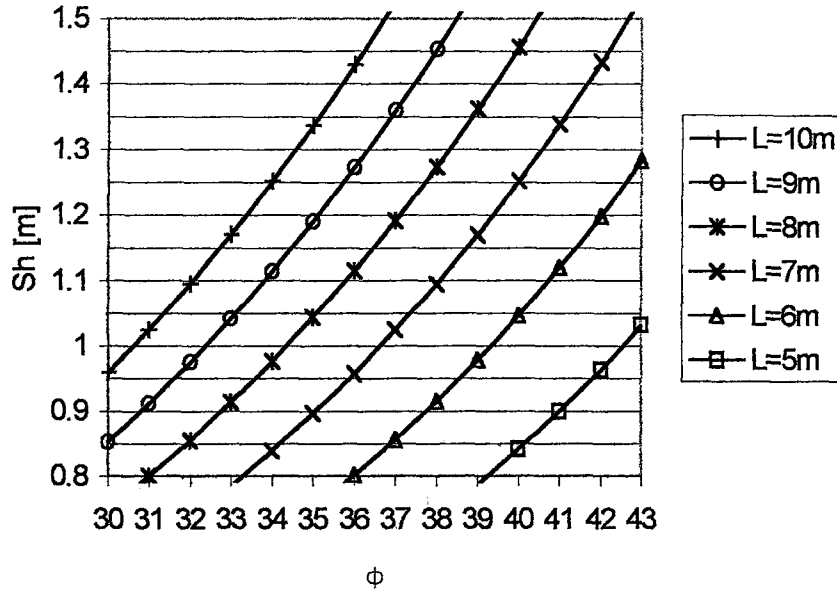
Yapılan sayısal analizler neticesinde, donatı yatay aralığı değerinin artması halinde, L : duvar genişliği, donatı kesit alanı ve 1 m duvar için gerekli donatı ağırlığının arttığı görülmüştür. L :

duvar genişliğinin S_H ve Φ değerlerine bağlı olarak değişimini inceleyen Şekil 7.5 de L parametresinin S_H ile doğru, Φ açısı ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Ayrıca Φ değerinin artması halinde S_H değeri artışının duvar genişliği artışı üzerine etkisinin azaldığı fark edilmiştir (doğruların eğimleri Φ açısı arttıkça azalmaktadır).



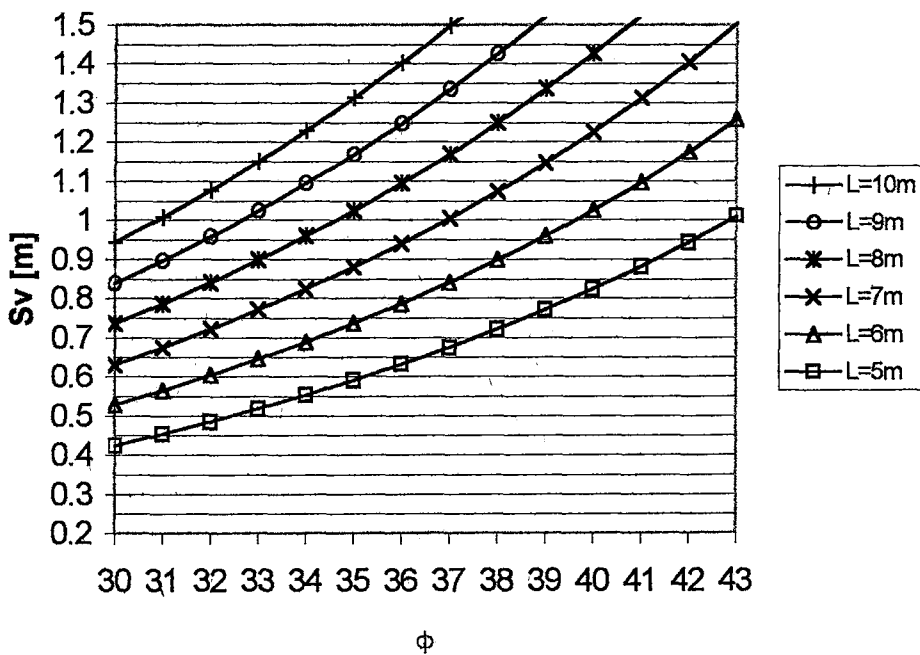
Şekil 7.6 S_H ve Φ parametrelerinin duvar genişliğine etkisi (k derinlikle değişen, $H = 8$ m, $S_v = 1$ m, $30 \leq \Phi \leq 41$)

Şekil 7.7, $H = 3$ m yüksekliğindeki bir duvara ait Φ , S_H , ve duvar genişliği parametrelerinin birbirini üzerine etkisini göstermektedir. Şekilden de anlaşılabacağı gibi duvar genişliği, S_H ile doğru, Φ parametresi ile ters orantılıdır. Ön boyut kuralları gereği alçak duvarlar ($3 \leq H \leq 6$) için duvar genişliği 5 m den küçük seçilemeyeceğinden şekil $L \geq 5$ m için oluşturulmuştur. Şekil 7.7 deki duvara ait seçilebilir parametreler : 1. donatı derinliği : $z_1 = 0.5$ m, b : donatı genişliği = 0.1 m, $S_v = 1$ m, güvenlik sayısı 1.5 olarak seçilmiştir. S_H değerinin 0.8 m sınırının altında kaldığı durumlarda gerekli duvar genişliğini sağlayabilmek için b donatı genişliği değerinin artırılması yada S_v : donatı düşey aralığı değerinin azaltılması gerekir. 1.5 m sınırının üstüne çıktığı durumlarda ise $S_H = 1.5$ m seçilerek güvenli tarafta kalınabilir. Şekil 7.7 duvar genişliğinin sınırlı tutulması gerektiği durumlarda duvar parametrelerinin seçiminde kolaylık sağlayabilir. $H = 3$ m den farklı duvarlar için oluşturan grafikler ekler bölümünde yer almaktadır.



Şekil 7.7 Belirli duvar genişlikleri için S_H ve Φ değerlerinin değişimi (k derinlikle değişen)

Şekil 7.8 , $H = 3$ m yüksekliğindeki bir duvara ait Φ , S_V , ve duvar genişliği parametrelerinin birbiri üzerine etkisini göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi duvar genişliği, S_V ile doğru, Φ parametresi ile ters orantılıdır. Ön boyut kuralları gereği alçak duvarlar ($3 \leq H \leq 6$) için duvar genişliği 5 m den küçük seçilemeyeceğinden şekil $L \geq 5$ m için oluşturulmuştur. Şekil 7.8 deki duvara ait seçilebilir parametreler : $z_1 = 0.2$ m, b : donatı genişliği = 0.1 m, güvenlik sayısı 1.5 olarak seçilmiştir. S_V değerinin 1.5 m sınırının üstüne çıktığı durumlarda $S_V = 1.5$ m seçilerek güvenli tarafta kalınabilir. Şekil 7.8 duvar genişliğinin sınırlı tutulması gerektiği durumlarda duvar parametrelerinin seçiminde kolaylık sağlayabilir.



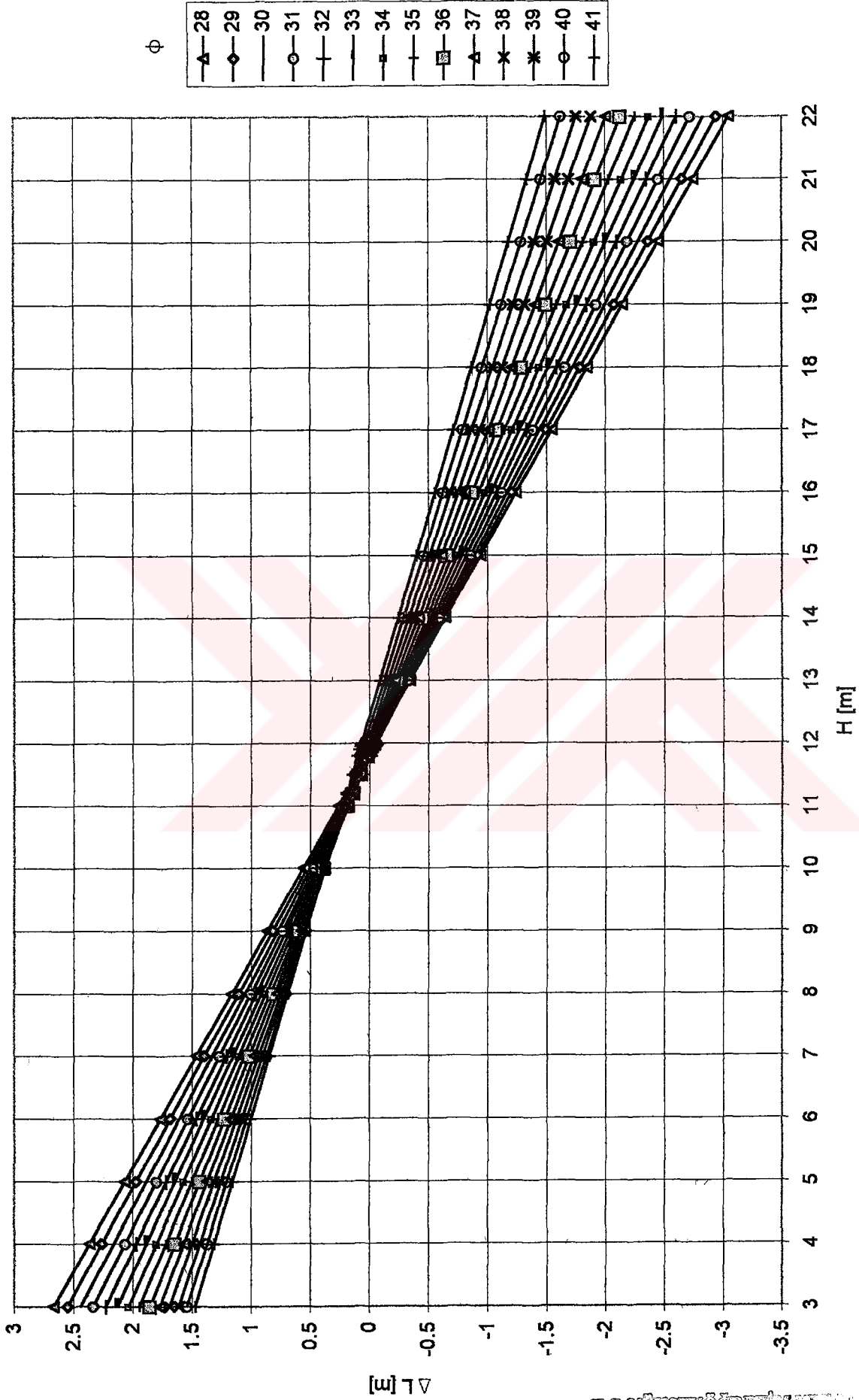
Şekil 7.8 Belirli duvar genişlikleri için S_V ve Φ değerlerinin değişimi (k derinlikle değişen)

7.3 Tasarım Metotlarının Karşılaştırılması

Mevcut literatüre göre donatılı zemin duvarların analizinde klasik toprak basıncı teorilerinin geçerliliği tartışılmaktadır. Ancak basit olmaları ve tamamlanmış çok sayıda donatılı zemin yapının sorun çıkartmamış olması sebebiyle halen tasarımda kullanılmaktadırlar. Pratikte kullanılan geri bağ – kama analizi ve benzeri basit tasarım yöntemlerindeki kabuller model ve prototip donatılı zemin duvarlarda yapılan ölçme ve gözlemlere tamamen uymamaktadır. Çekme kuvvetinin donatı boyunca değişimi, kabullerden farklı olarak genellikle duvar yüzünde küçük hatta sıfır olmakta, duvar arkasında belli bir mesafede maksimum değere ulaşmaktadır. Maksimum çekme kuvvetlerinin olduğu noktaların geometrik yeri, Rankine kırılma düzlemi ile ancak alt donatı seviyelerinde çakışmaktadır. Bu muhtemel kırılma yüzeyi donatılı zemin kütlesini aktif ve pasif (direnen) bölge olarak adlandırılabilir iki kısma ayırmaktadır ve bu iki bölgede donatı yüzeyinde oluşan kayma gerilmelerinin yönü farklıdır (Wasti, Y. ve Özçelik, H., 1987). Ölçme ve modellere dayanan uygun ağırlık analizinde de belirlendiği gibi aktif bölgenin büyük bir kısmı sükunetteki toprak basıncına tekabül eden gerilim durumundadır. Sözü edilen bu bilgilerin ışığında uygun ağırlık analizi metodunun gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği söylenilebilir. İki metot sonuçları değerlendirilerek aşağıdaki yargılara varılmıştır.

Yüksekliği 6 m den küçük duvarlar için, uygun ağırlık analizi yöntemiyle elde edilen donatı kuvvetleri ve donatı alanları, geri bağ – kama analizi yöntemiyle elde edilenlerden daha büyüktür. Bu büyüklüğün nedeni bu aralıkta uygun ağırlık analizinin yanal toprak basıncı katsayısı için önerdiği değerin diğer metoda ait değerden daha büyük olmasıdır. $H \geq 6m$ ve $0 < z < 6 m$ aralığında bu fark devam ederken, $z \geq 6 m$ için, uygun ağırlık analizi yöntemiyle hesaplanan maksimum donatı kuvvetleri ve donatı alanları geri bağ – kama analizi yöntemiyle elde edilenlere eşit çıkmaktadır.

Uygun ağırlık analizi yöntemiyle elde edilen duvar genişliklerinin, belirli bir $H (\cong 11.5)$ yüksekliğine kadar geri bağ – kama analizi yöntemiyle elde edilenlerden daha büyük olduğu, ve bu noktadan sonra bu ilişkinin tam tersine döndüğü yani geri bağ – kama analizi yöntemiyle elde edilen duvar genişliklerinin, Uygun ağırlık analizi yöntemiyle elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmüştür. S_H , Φ , L arasındaki ilişkiyi inceleyen Şekil 7.3 ile Şekil 7.7 ve S_V , Φ , L arasındaki ilişkiyi inceleyen Şekil 7.4 ile Şekil 7.8 duvar genişliği için söylediğimiz yargıları doğrulamaktadır. Şekil 7.9 da bu iki metoda ait duvar genişlik farklarının, duvar yüksekliği ve kayma mukavemeti açısına bağlı olarak değişimi görülmektedir ($\Delta L = L_{(uygun\ ağırlık)} - L_{(geri\ bağ-kama)}$).



Şekil 7.9 Duvar genişlik farklarının H ve ϕ değerlerine bağlı olarak incelenmesi ($28 \leq \phi \leq 41$)

Şekil 7.9 incelendiğinde duvar genişlikleri arasındaki farkın düşük yükseklikteki duvarlar için 1.5 – 3 m arasında değiştiği duvar yüksekliği arttıkça genişlik sonuçları farkının giderek azaldığı bir noktadan sonra sifira eşitlendiği ve daha sonra aradaki farkın tekrar arttığı görülmektedir.

Anlaşılabacağı gibi donatılı zemin dayanma duvarları teknik ve ekonomik üstünlükleri nedeniyle son yıllarda geniş uygulama alanı bulmuştur. Donatılı zemin duvar tasarımı için dayandığı kabul ve modeller açısından farklılık gösteren çeşitli tasarım metotları geliştirilmiştir. Bu çalışmada en yaygın tasarım metotlarından iki tanesi araştırılmış, sonuç parametreleri karşılaştırılmış ve seçilebilir duvar parametrelerinin sonuç parametreleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bilindiği gibi tasarım metodu kadar önemli olan diğer bir nokta ise tasarım parametrelerinin seçimidir. Tasarım parametrelerinin doğru seçilebilmesi için saha çevresi durumu, duvar dolgusu ve duvar geri dolgusu özellikleri, korozyon, sıkıştırma işi için kullanılacak suyun durumu ve benzeri şartların yanısıra seçilebilir parametrelerin duvar geometrisi ve maliyeti üzerine etkisi de öngörülmelidir. Son olarak tasarım parametrelerin uygunluğu, imalat esnası ve sonrasında yapılacak deneylerle (numune alınıp test edilmesi) kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Bowles, J.E., (1996), Foundation Analysis and Design, Fifth Edition, McGraw-Hill international Editions.
- Clayton, C.R.I., Milititsky, J. ve Woods, R.I., (1993), Earth Pressure & Earth Retaining Structures, Blackie Academic & Professional.
- Durukan, Z.S., “ Reinforced Soil Retaining Walls ”, Y.Lisans Tezi, İst.
- Ehrlich, M. ve Mitchell, J.K., (1994), “ Working Stress Design Method For Reinforced Soil Walls ”, Jr. Of Geotechnical Eng., ASCE., 4:625-645.
- Fishman, K.L., Desai, C.S. ve Sogge, R.L., (1993) “ Field Behaviour of Instrumented Geogrid Soil Reinforced Walls ”, ASCE., 8:1293-1307.
- Juran, I. ve Chaol, C., (1989), “ Strain Compatibility Design Method for Reinforced Earth Walls ”, Jr. Of Geotechnical Eng., ASCE., 4:435-456.
- Lambe, P.C. ve Hansen, L.A., (1990), Design and Performance of Earth Retaining Structures, ASCE.
- McGown, A., Yeo, K. Ve Andrawes, K.Z., (1991), “ Performance of Reinforced Soil Structures ”, Proceedings of the International Reinforced Soil Conference, 10-12 Sept. 1990, Glasgow.
- Saran, S., (1996), Analysis and Design of Substructures, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Wasti, Y. ve Özçelik, H., (1987), “ Donatılı Zemin Duvarlar ve Bir Uygulama ”, Dayanma yapıları semineri, 5-9 Mayıs 1987, Samsun.

EKLER

Ek 1 : Geri Bağ – Kama Analizi Abak ve Grafikleri

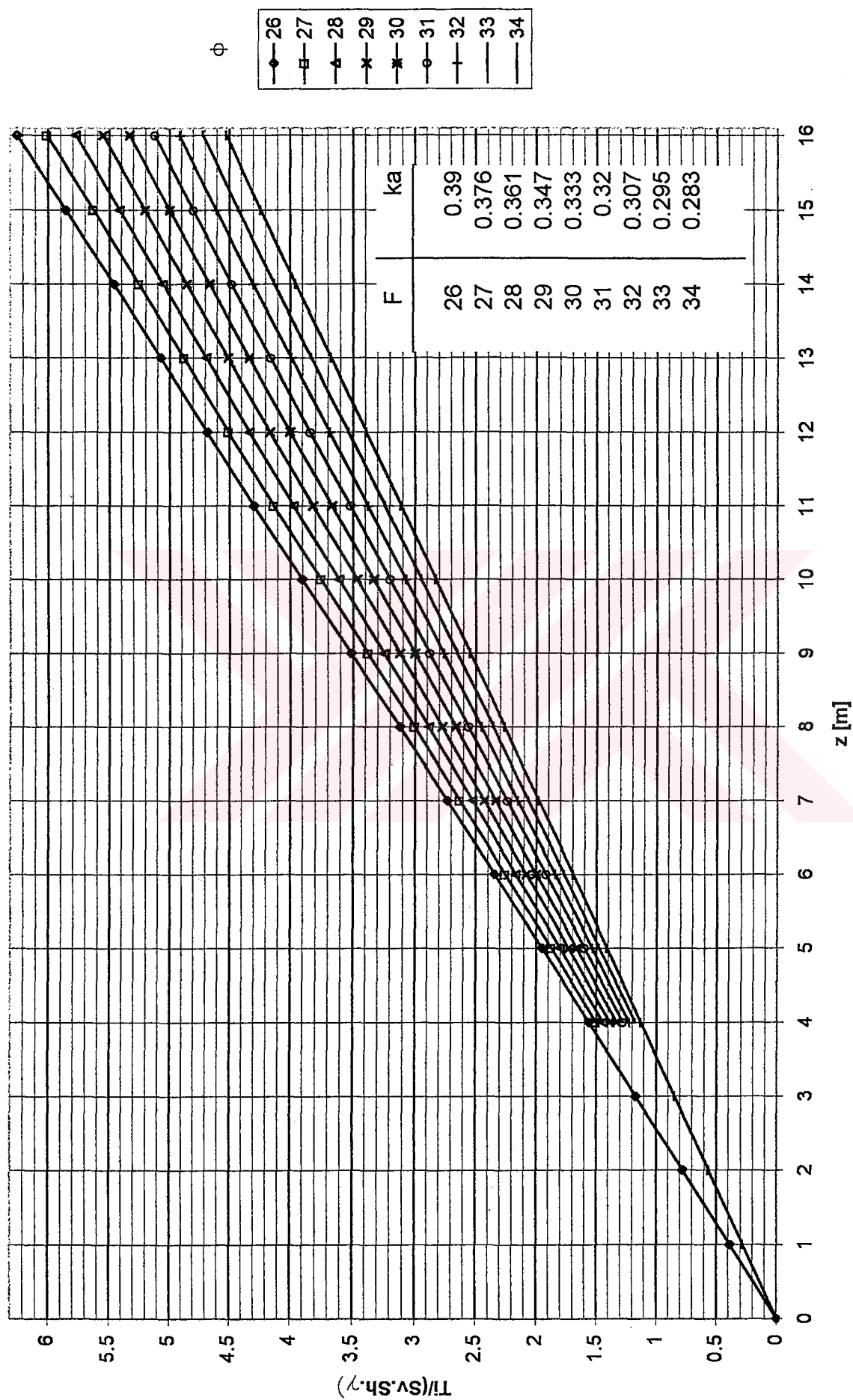
Ek 2 : Uygun Ağırlık Analizi Abak ve Grafikleri



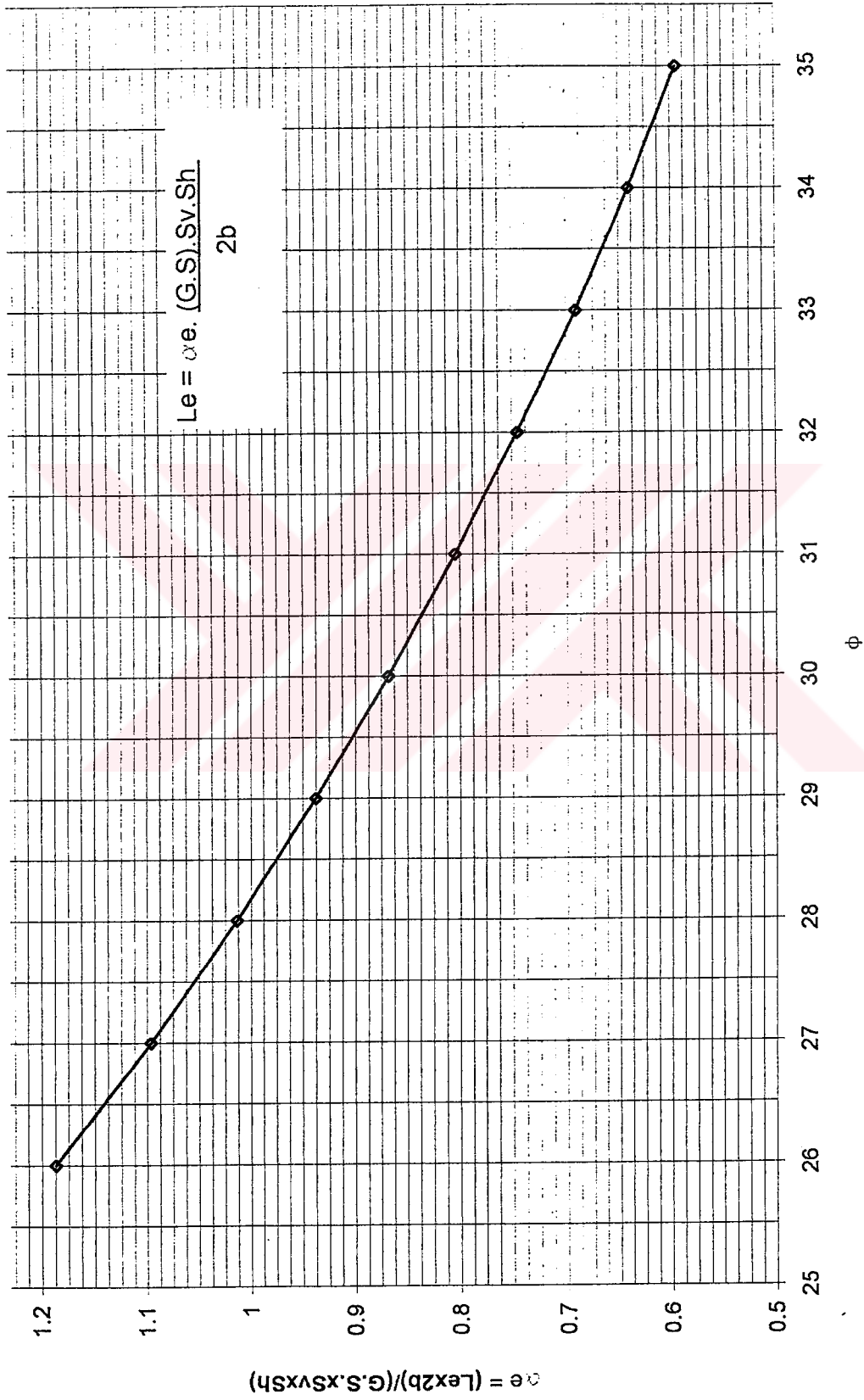
EK 1

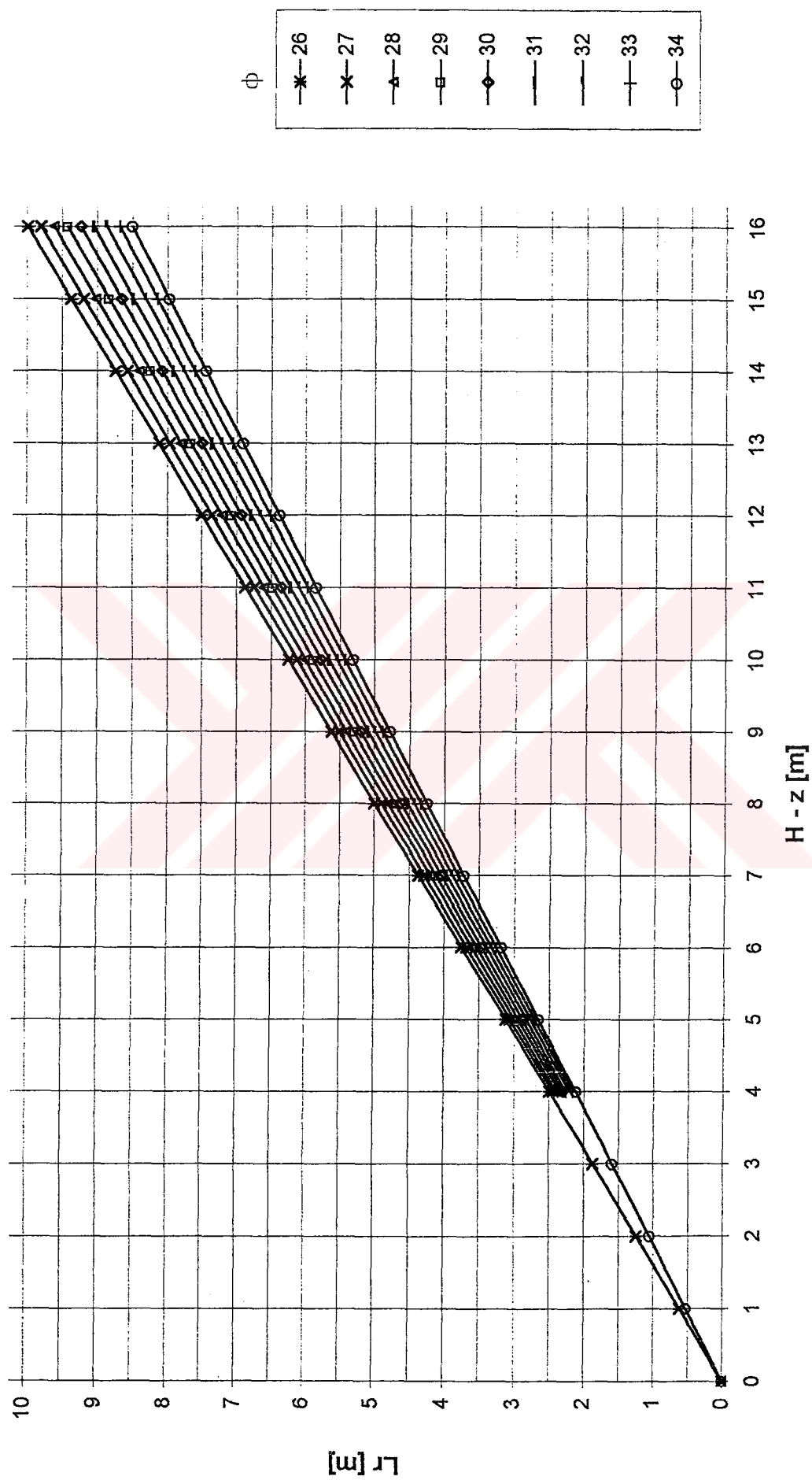
GERİ BAĞ – KAMA ANALİZİ ABAK ve GRAFİKLERİ

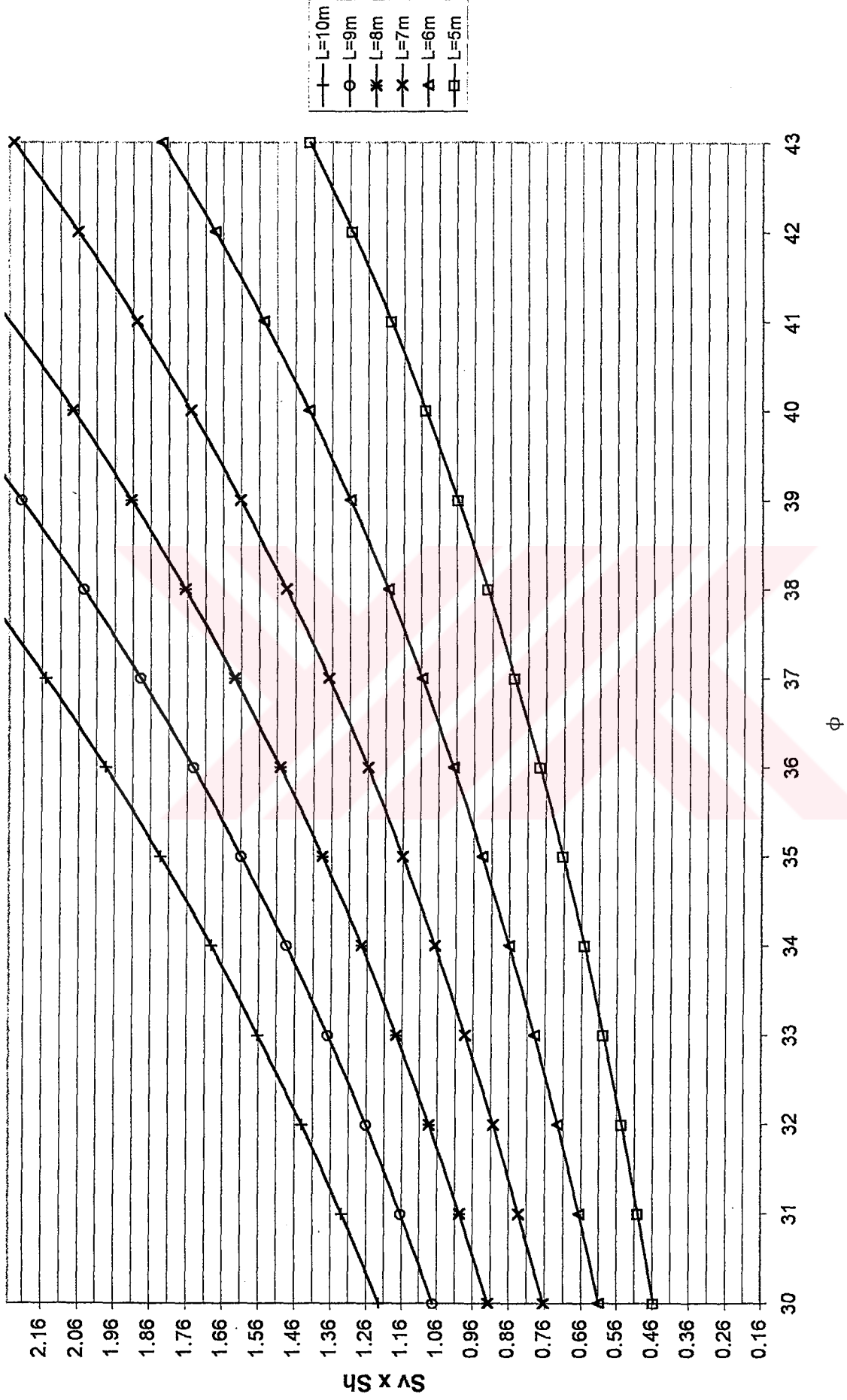




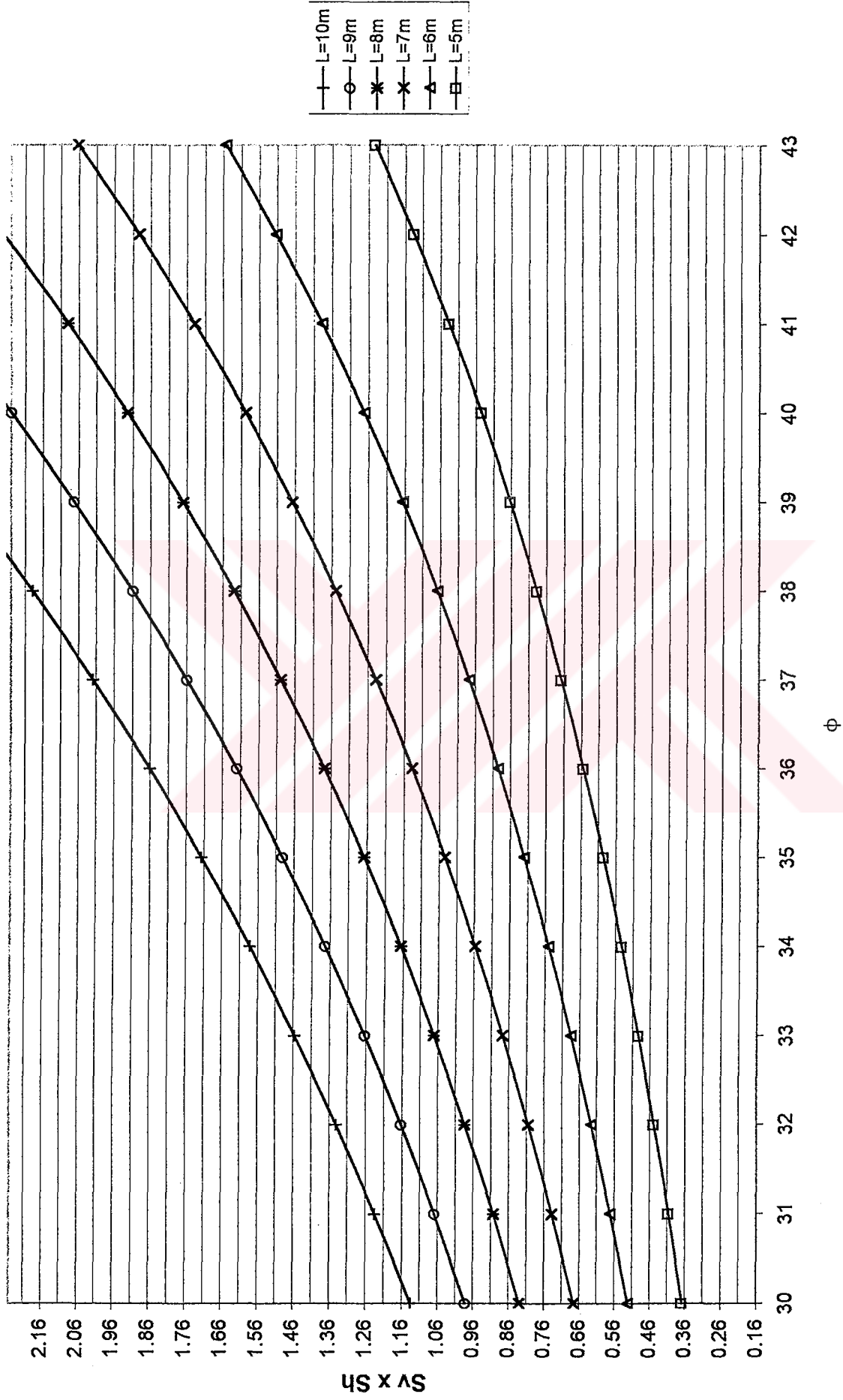
Ek 1.1 ka . z - z grafiği ($T = ka . z . Sv . Sh . \gamma + ka . q . Sv . Sh$)

Ek 1.2 αe yardımıyla Le 'nin tespiti

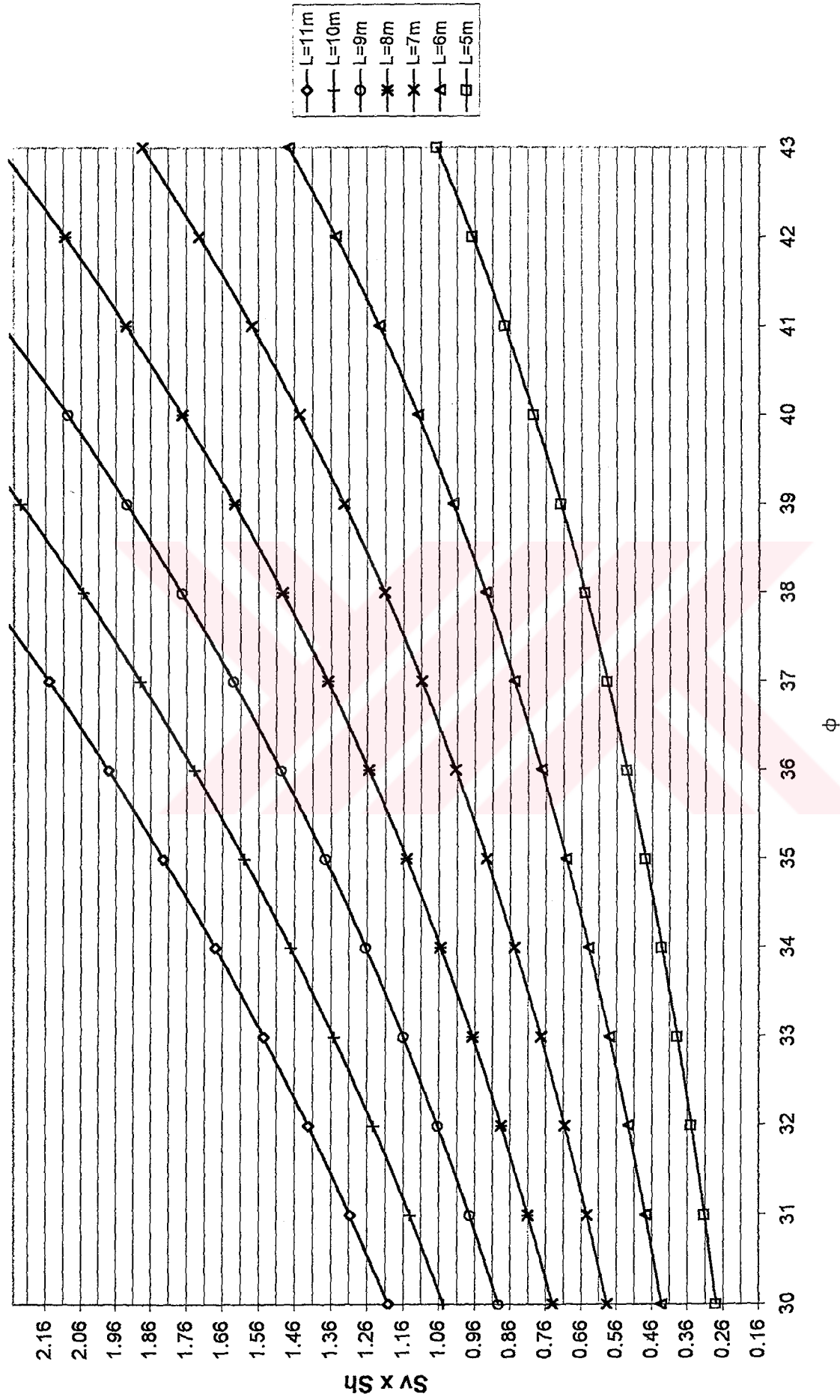
Ek 1.3 $L_r - (H-z)$ grafiği



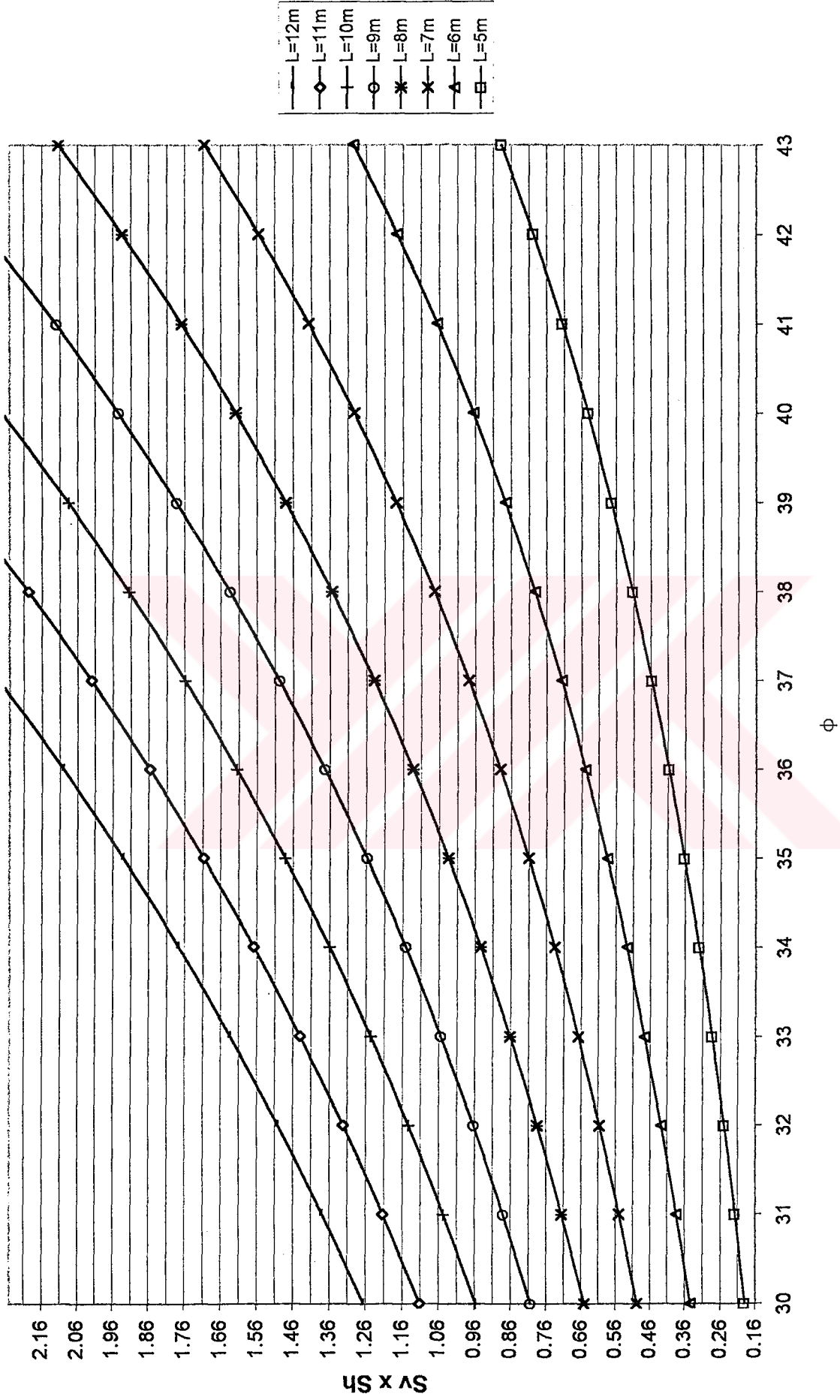
Ek 1.4 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=4m$, $b = 0.1 m$)



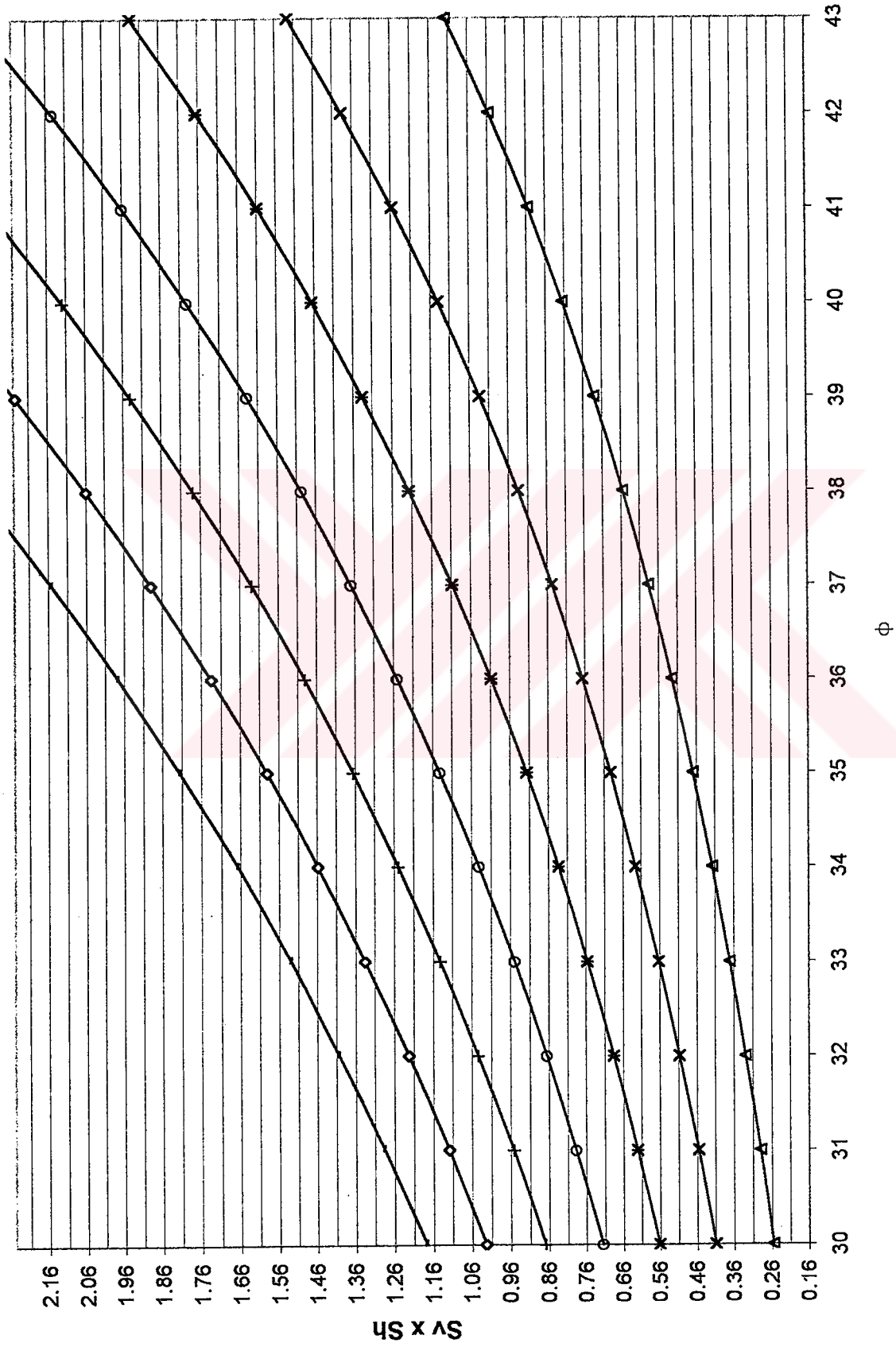
Ek 1.5 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=5m$ $b=0.1m$)



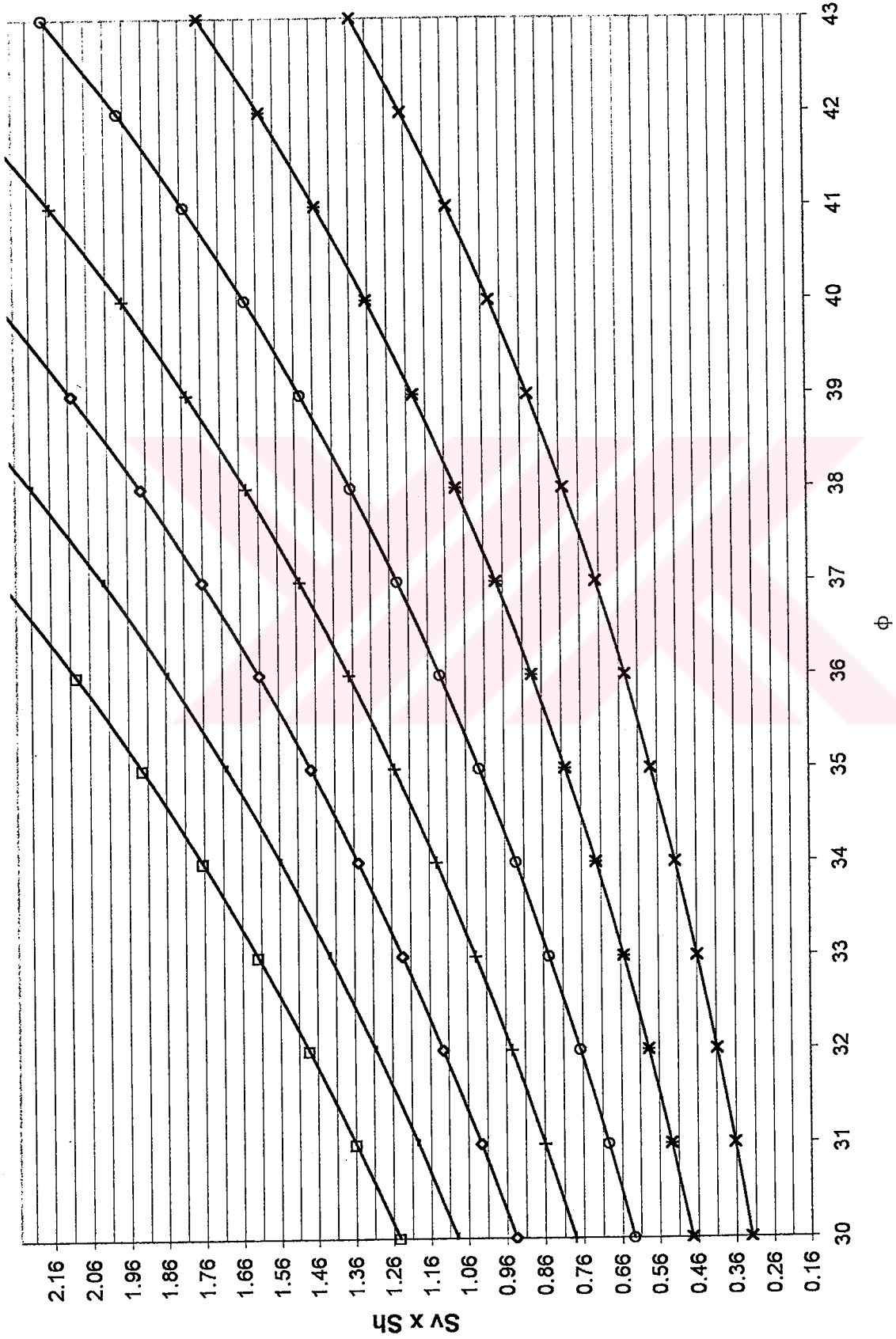
Ek 1.6 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=6m$ $b=0.1 m$)



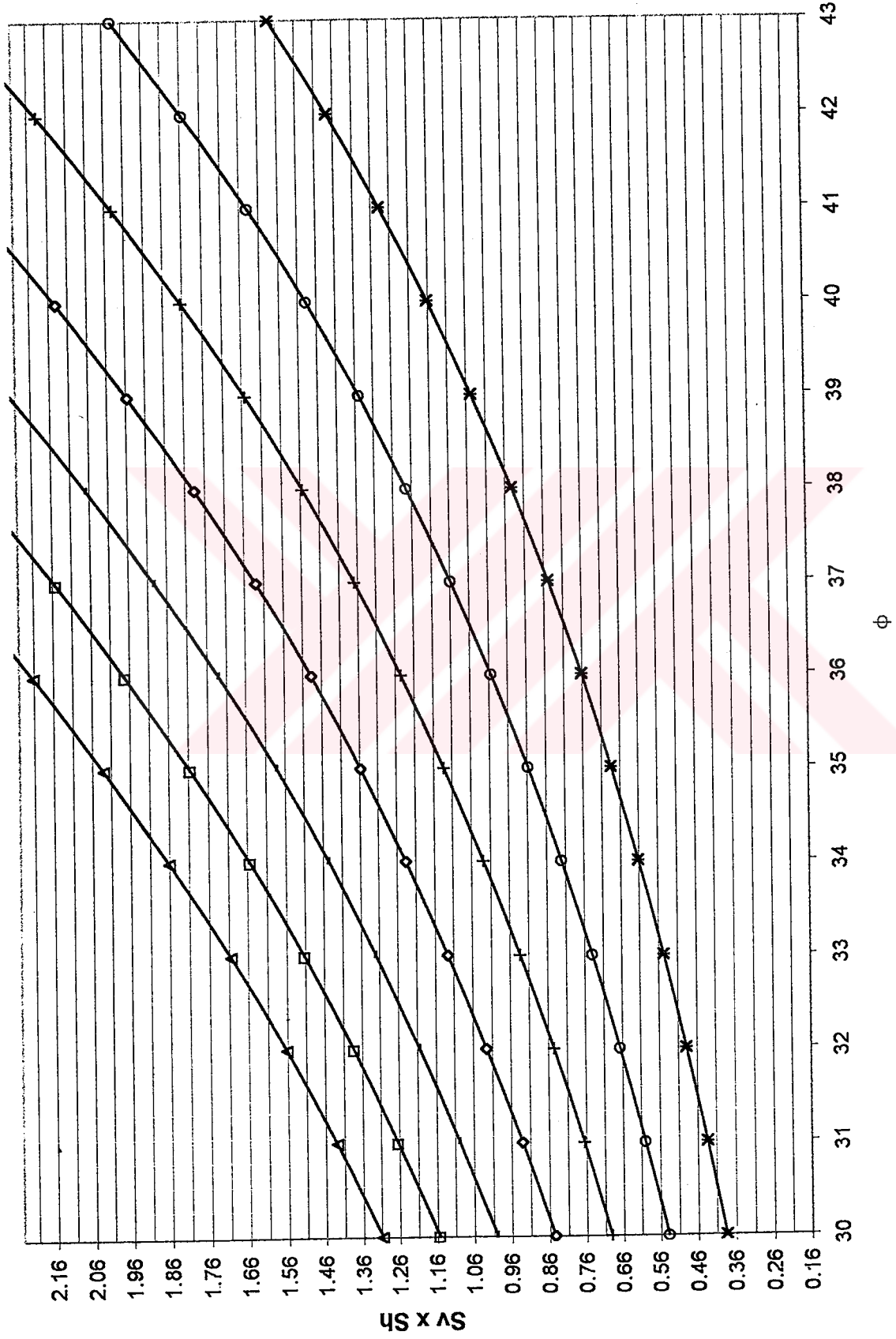
Ek 1.7 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=7m$, $b=0.1m$)



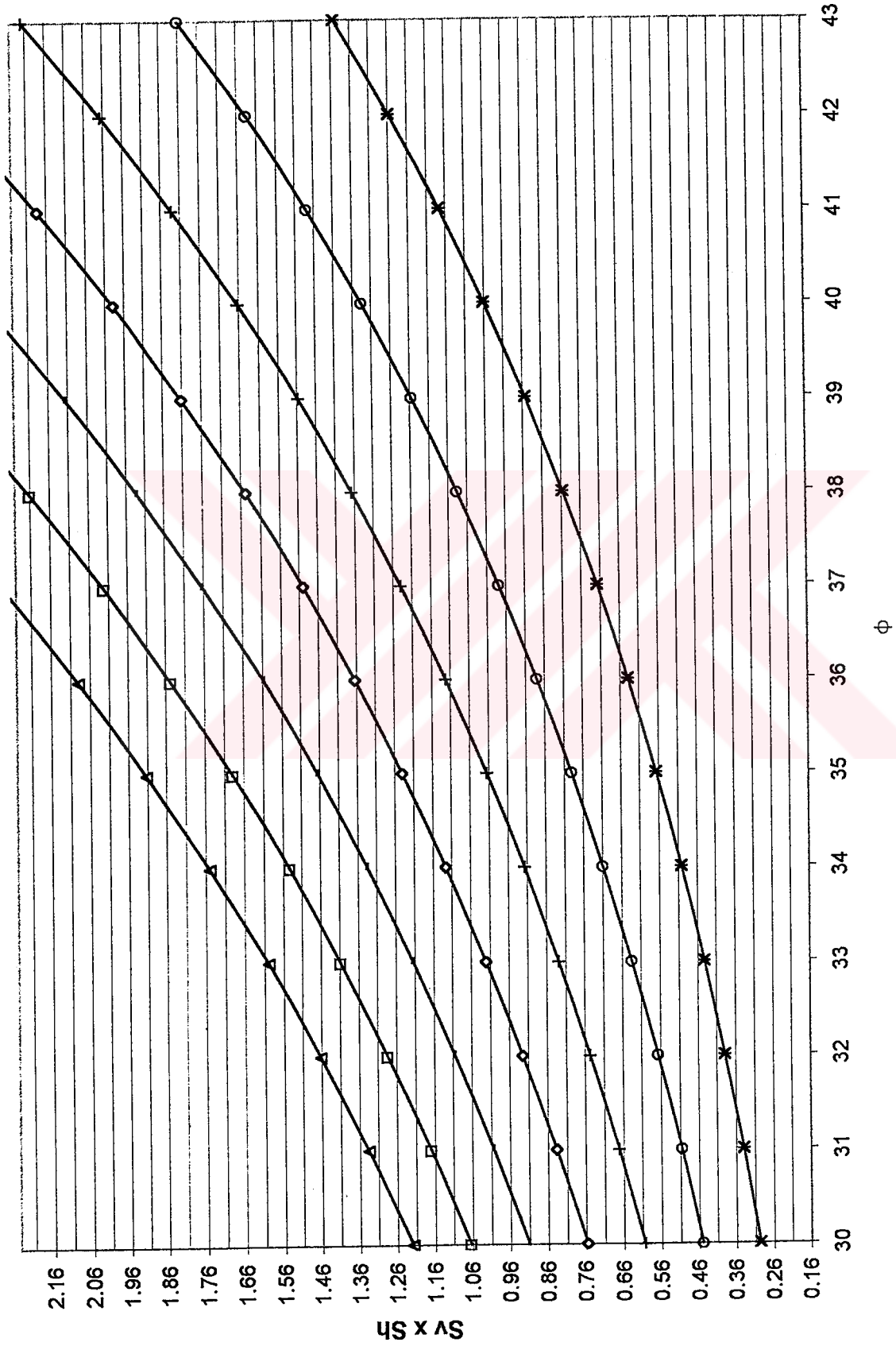
Ek 1.8 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=8m$, $b=0.1m$)



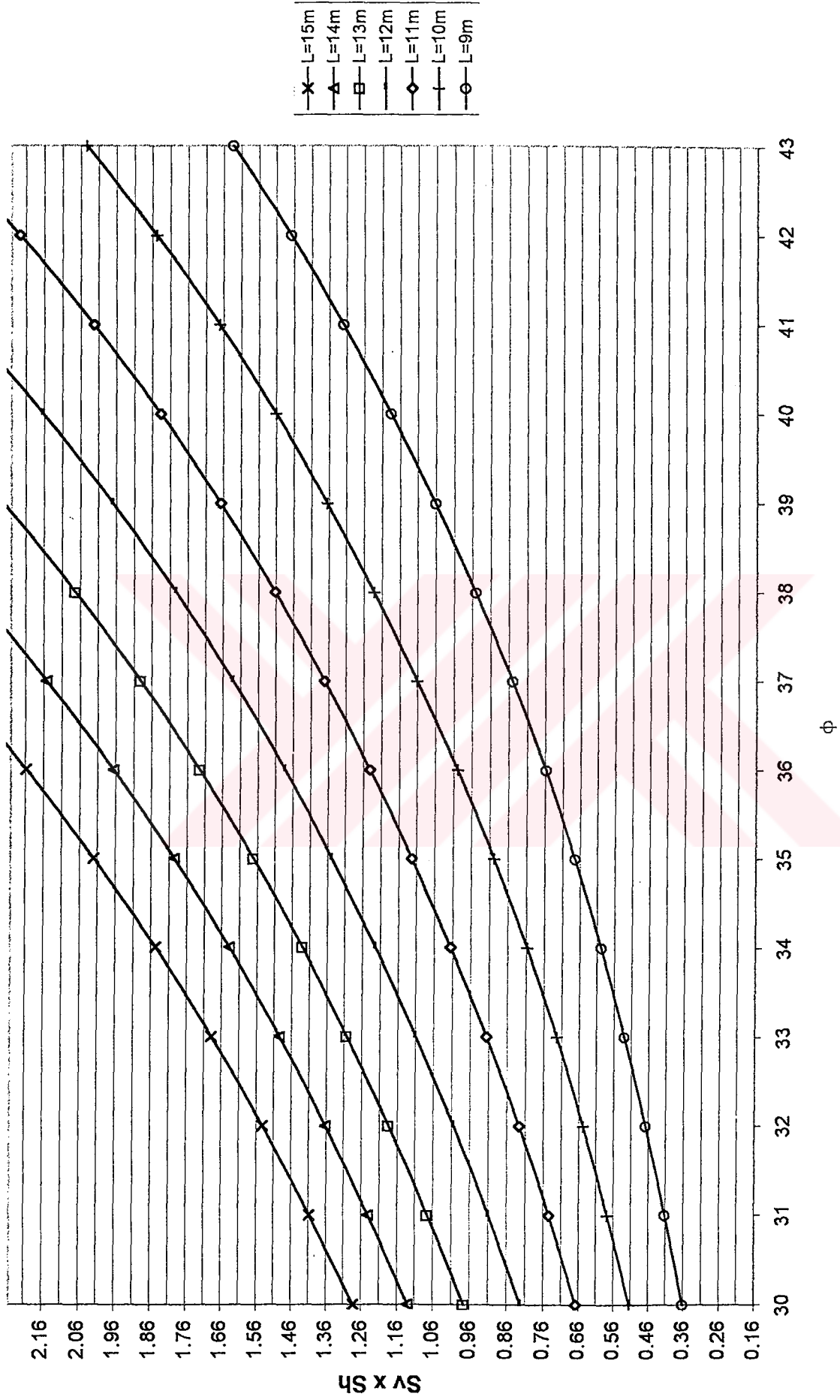
Ek 1.9 Belirli duvar genişlikleri için S_v x S_h ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=9m$, $b=0.1m$)



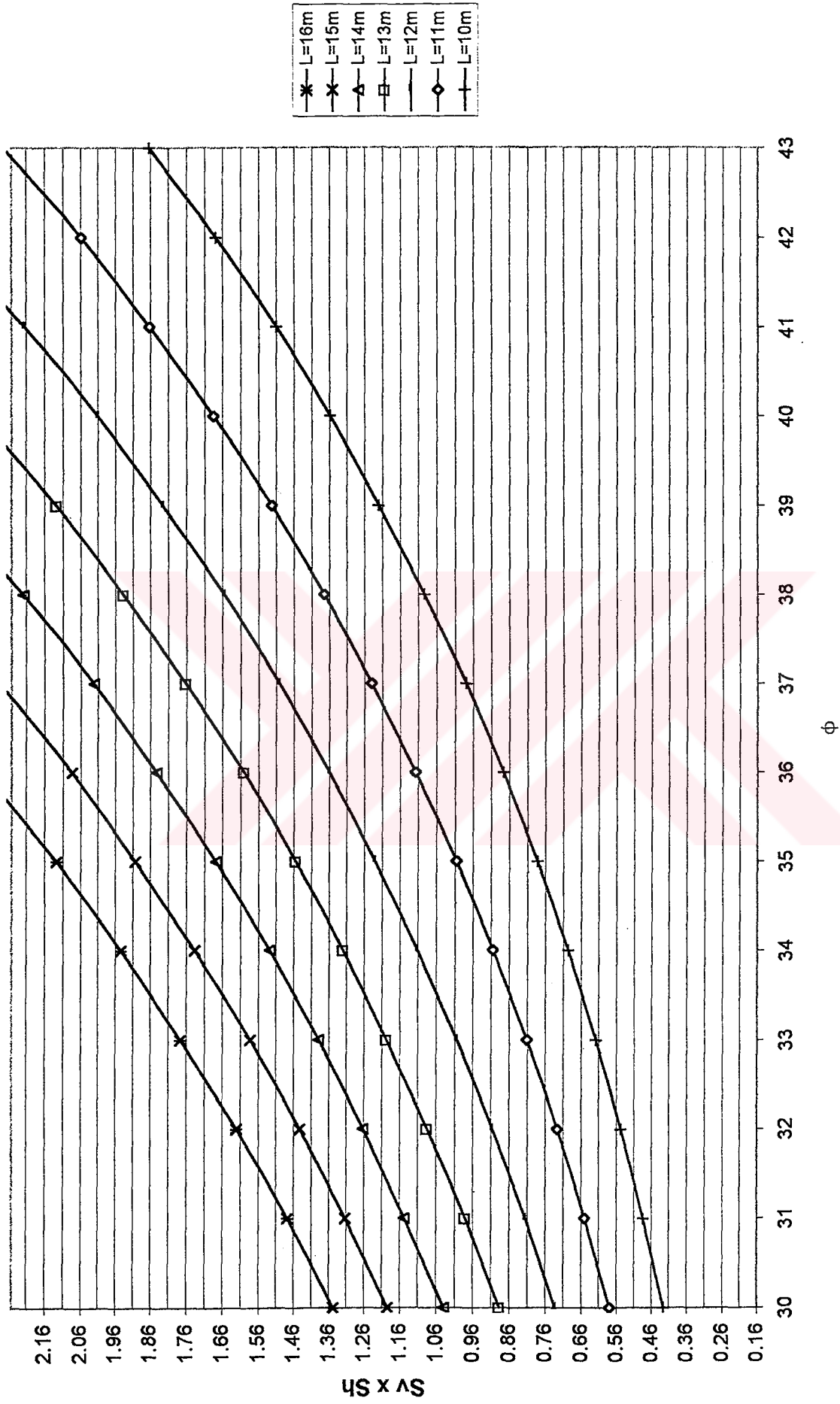
Ek 1.10 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=10m$, $b=0.1m$)



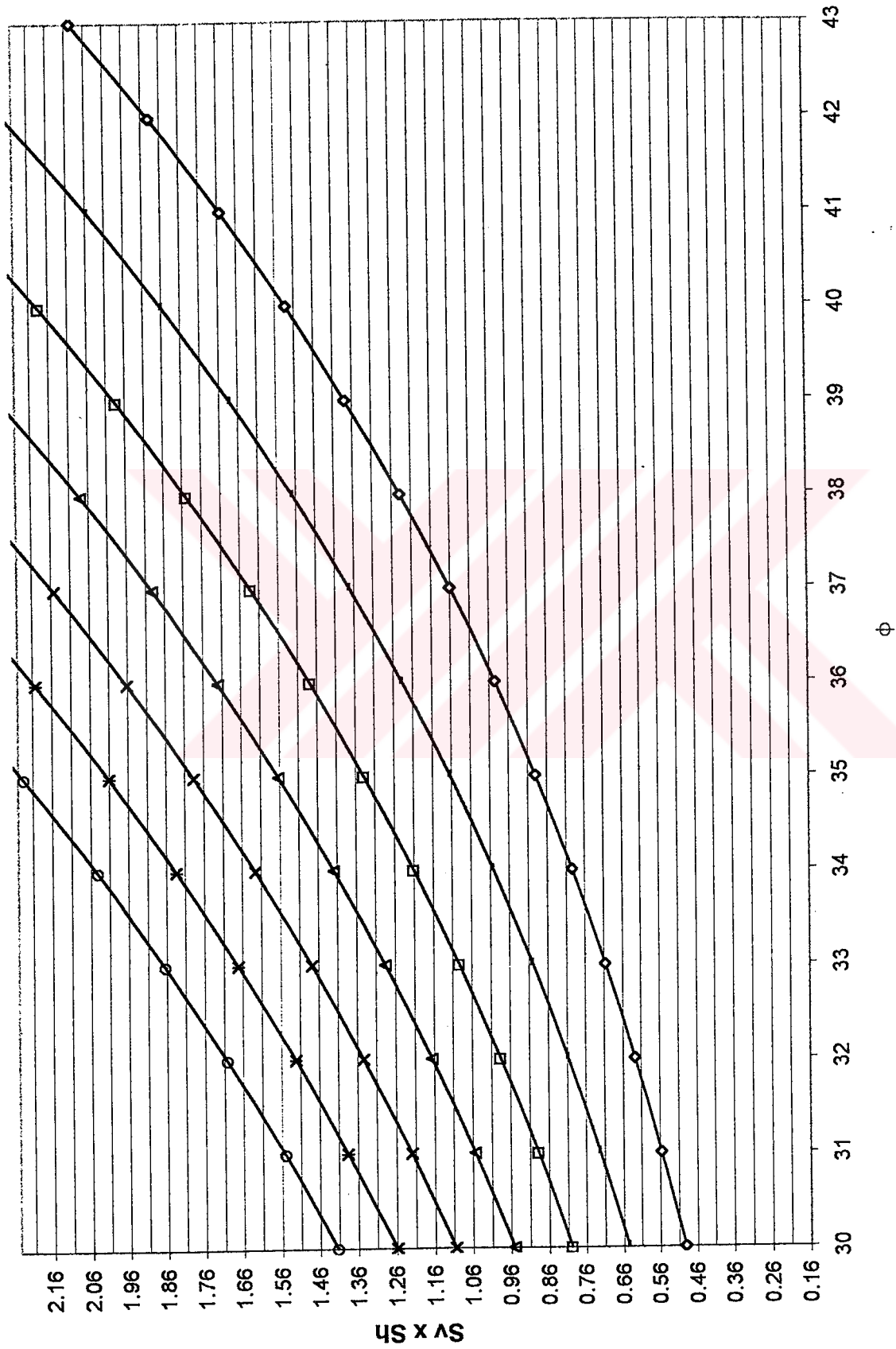
Ek 1.11 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=11m$, $b=0.1m$)



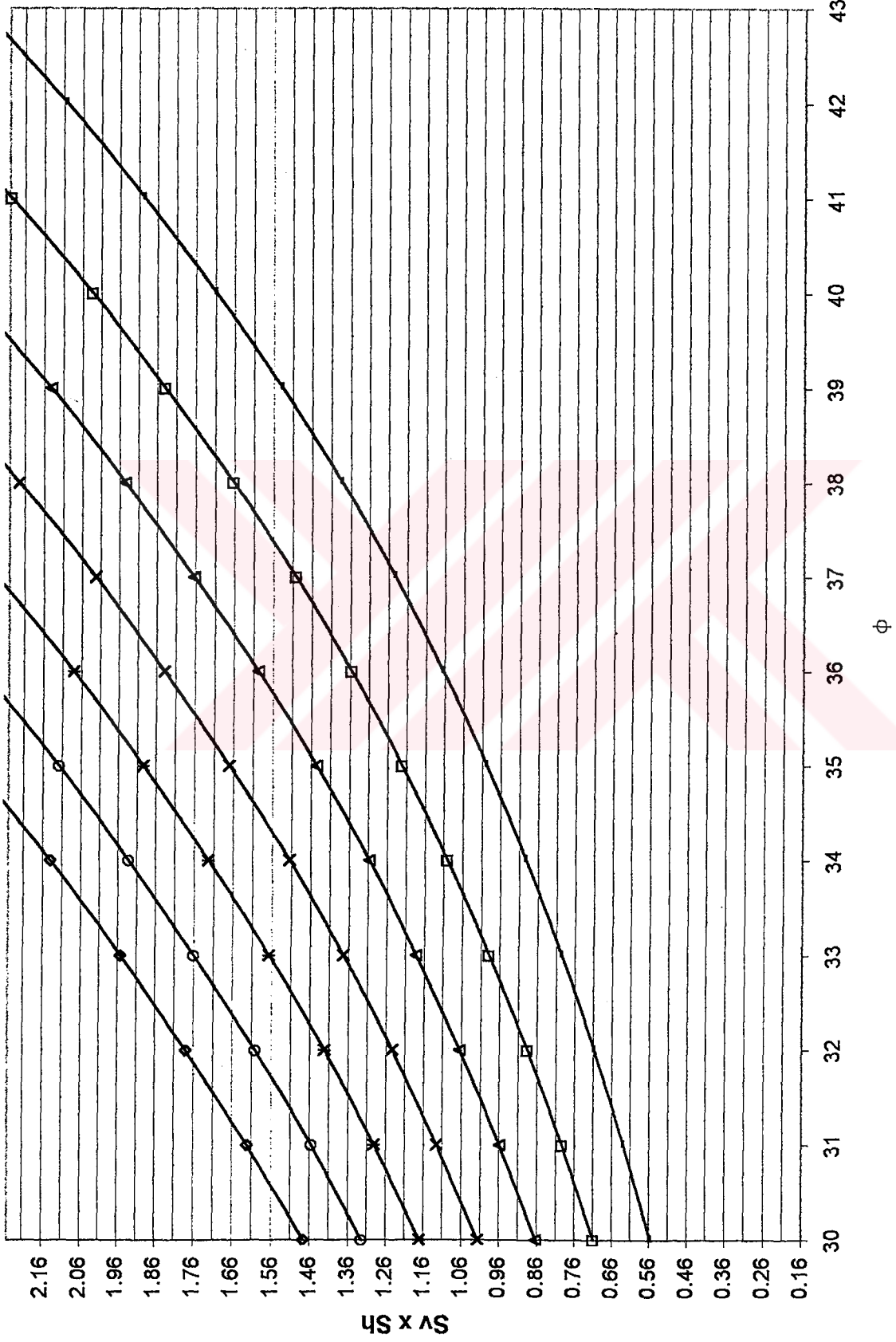
Ek 1.12 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=12m$, $b=0.1m$)



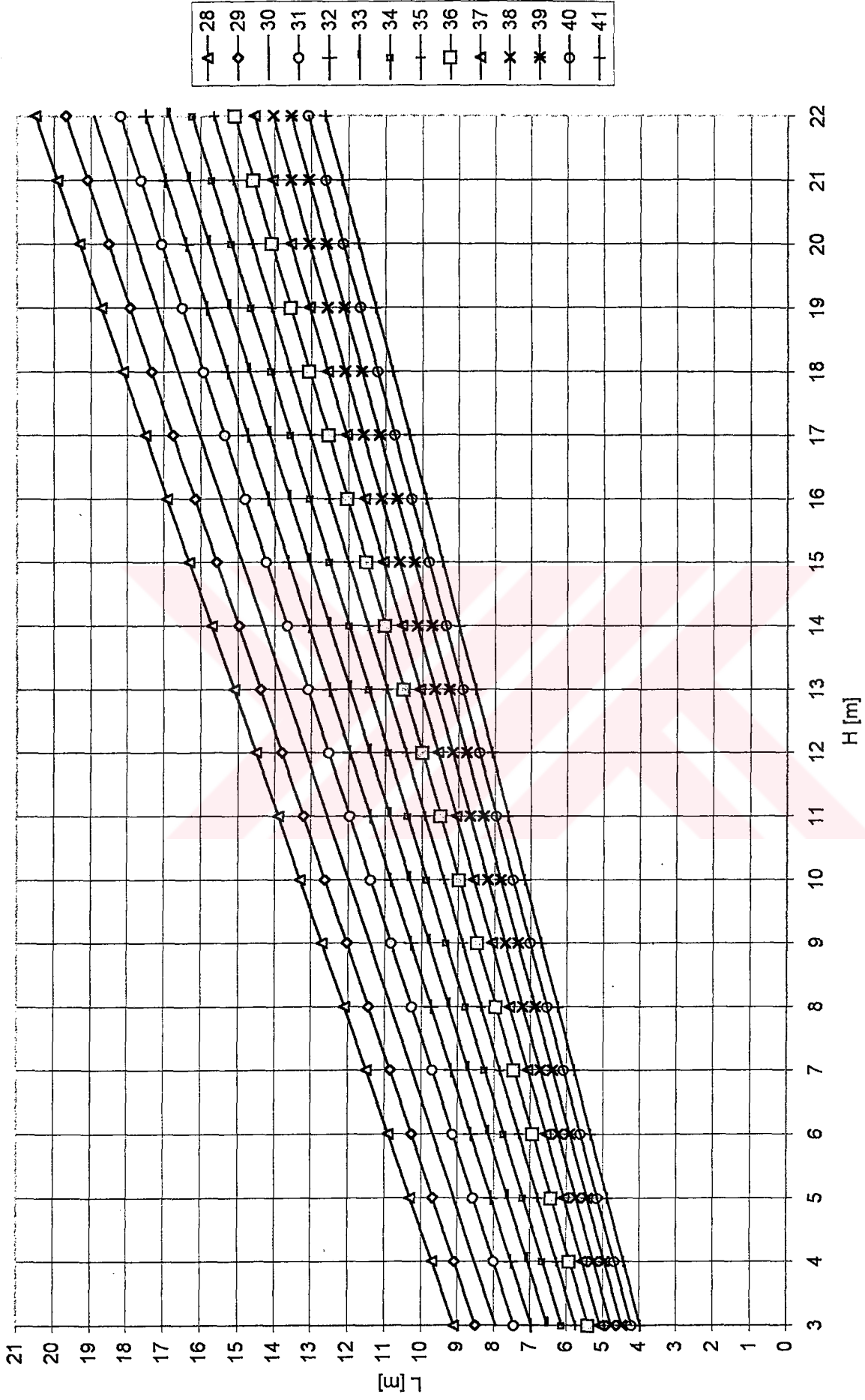
Ek 1.13 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=13m$, $b=0.1m$)



Ek 1.14 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=14m$, $b=0.1m$)



Ek 1.15 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=15m$, $b=0.1m$)

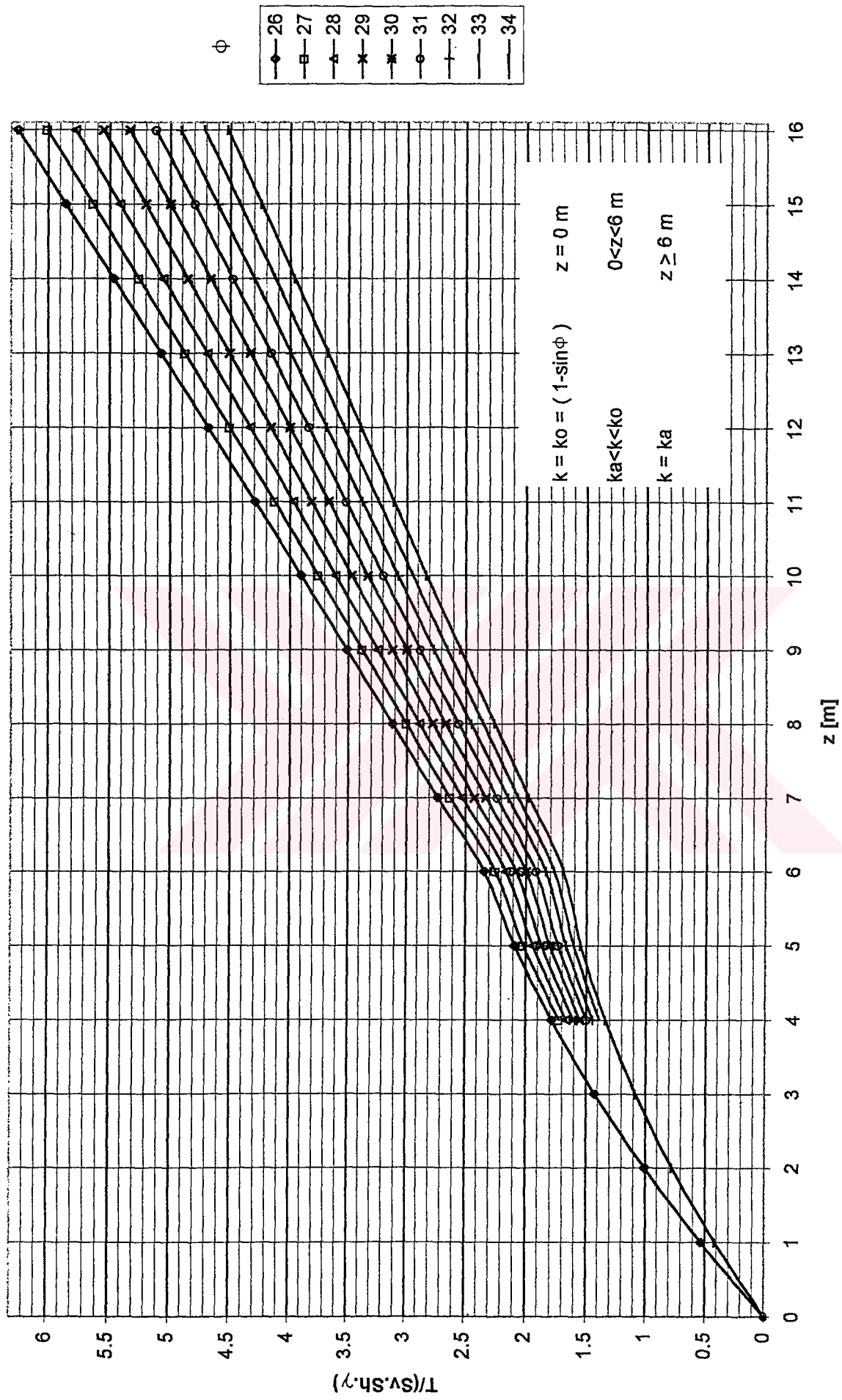


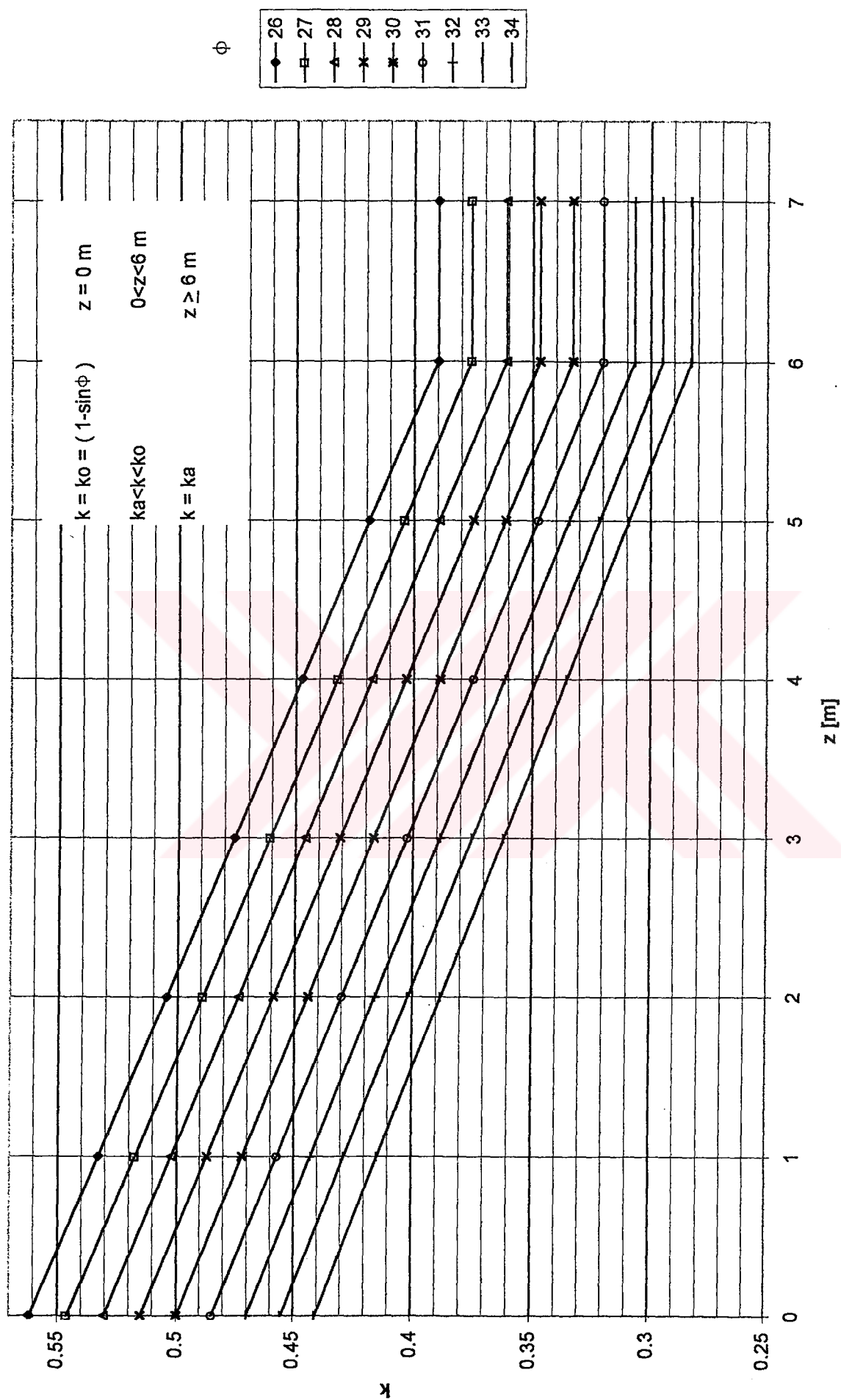
Ek 1.16 L değerlerinin H ve ϕ değerlerine bağlı olarak değişimi ($28 \leq \phi \leq 41$, $b=0.1\text{m}$, $S_v=S_h=1\text{m}$)

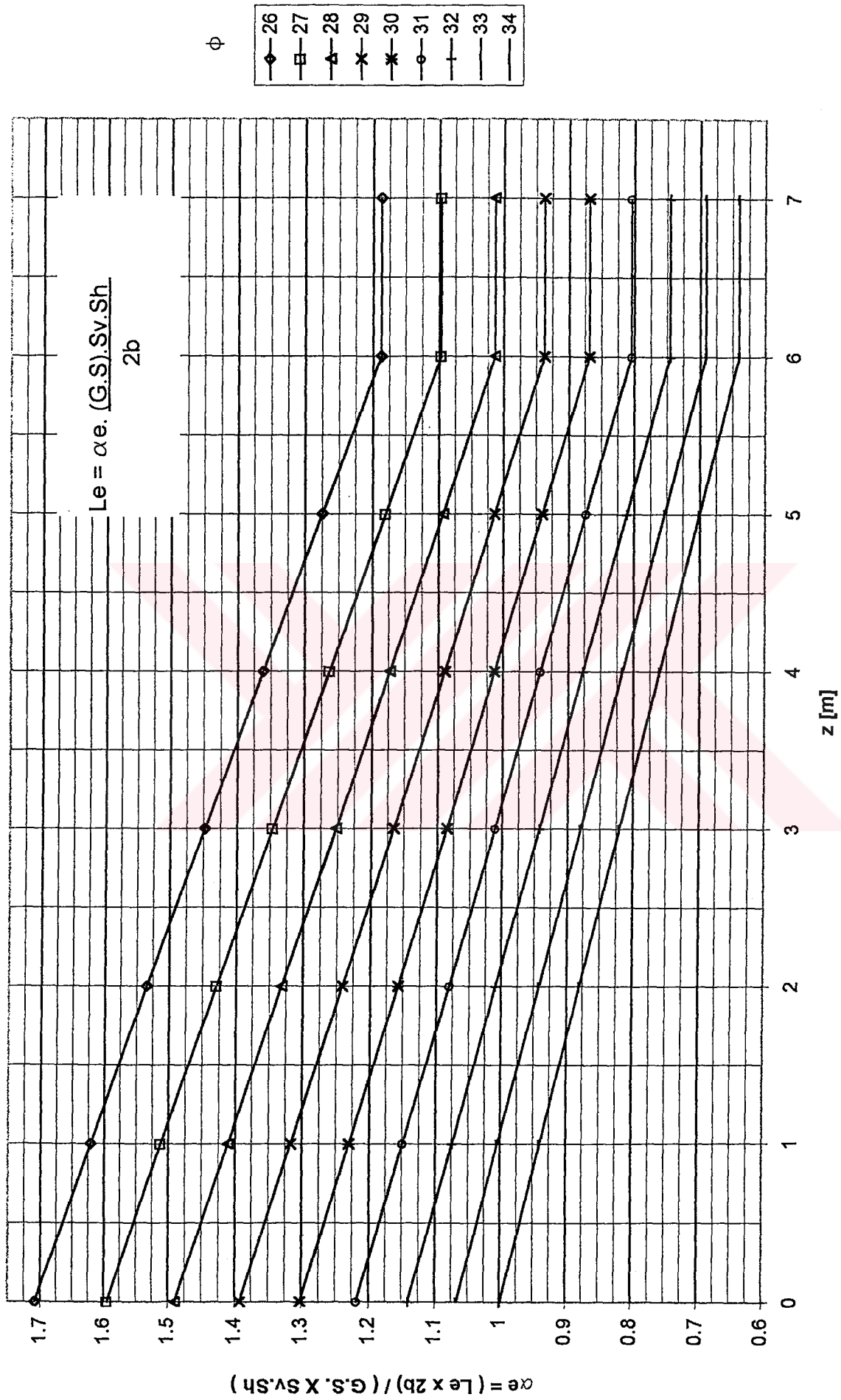
EK 2

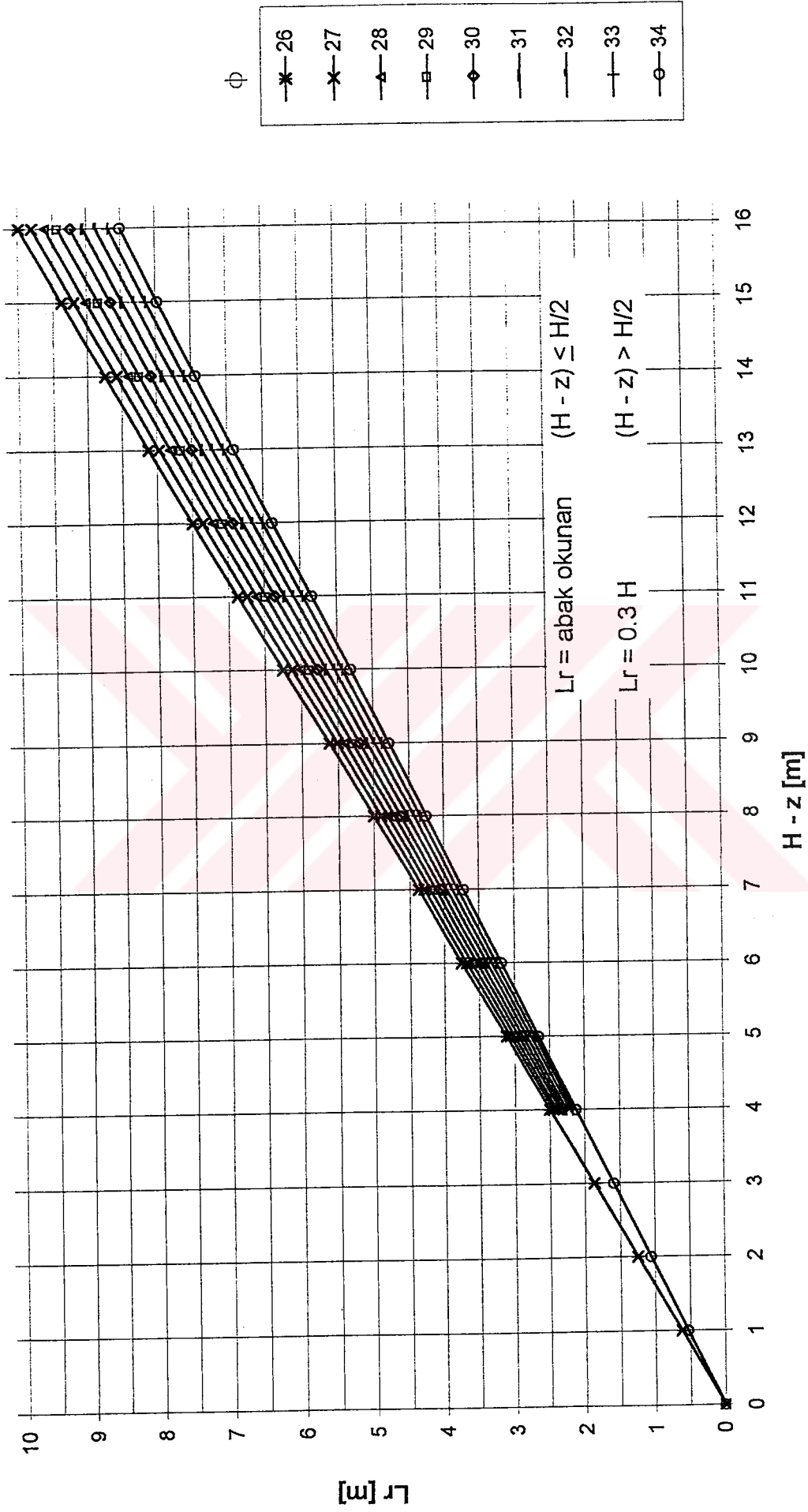
UYGUN AĞIRLIK ANALİZİ ABAK ve GRAFİKLERİ

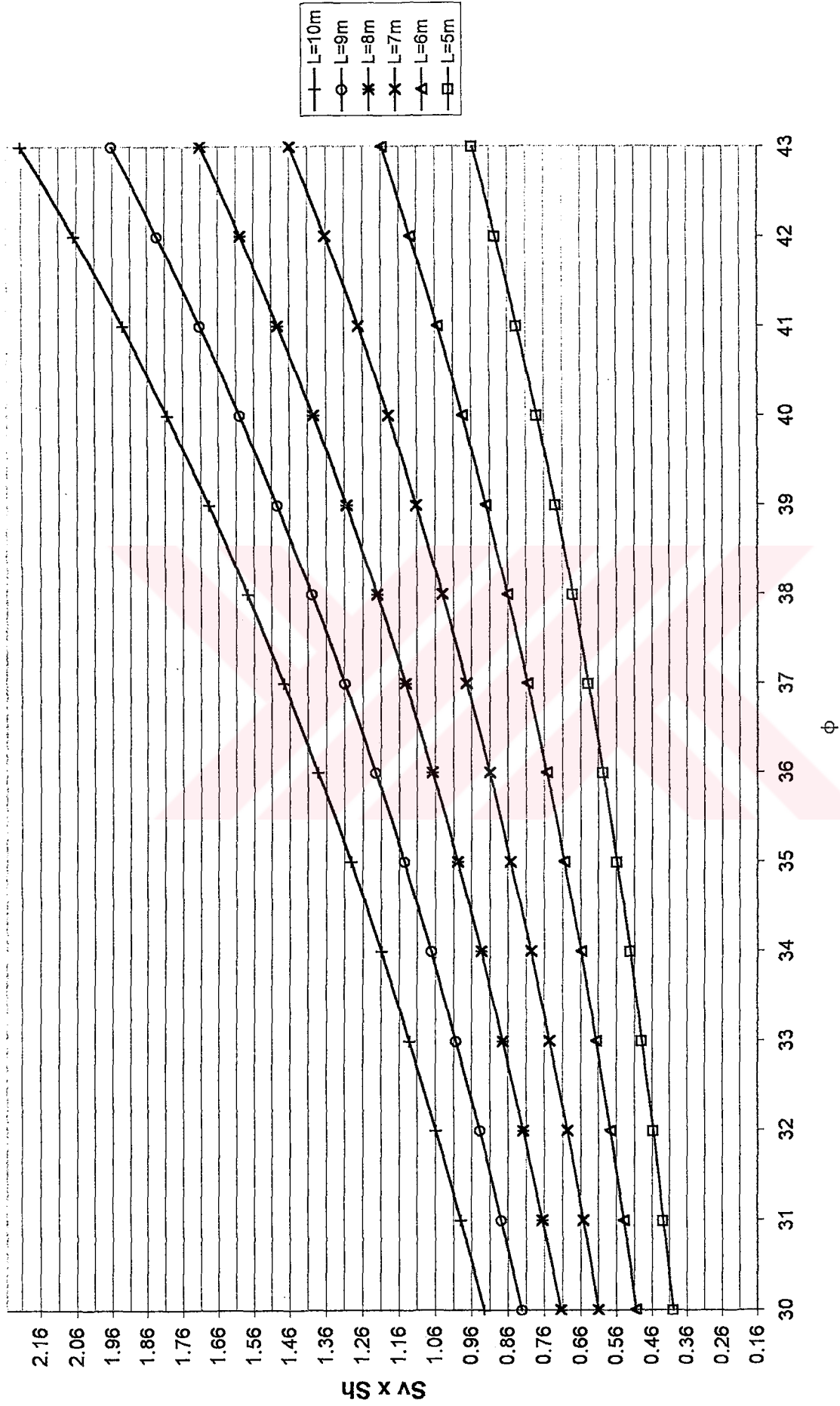


Ek 2.1 k . z - z grafiği ($T = k . z . Sv . Sh . \gamma + T_0$)

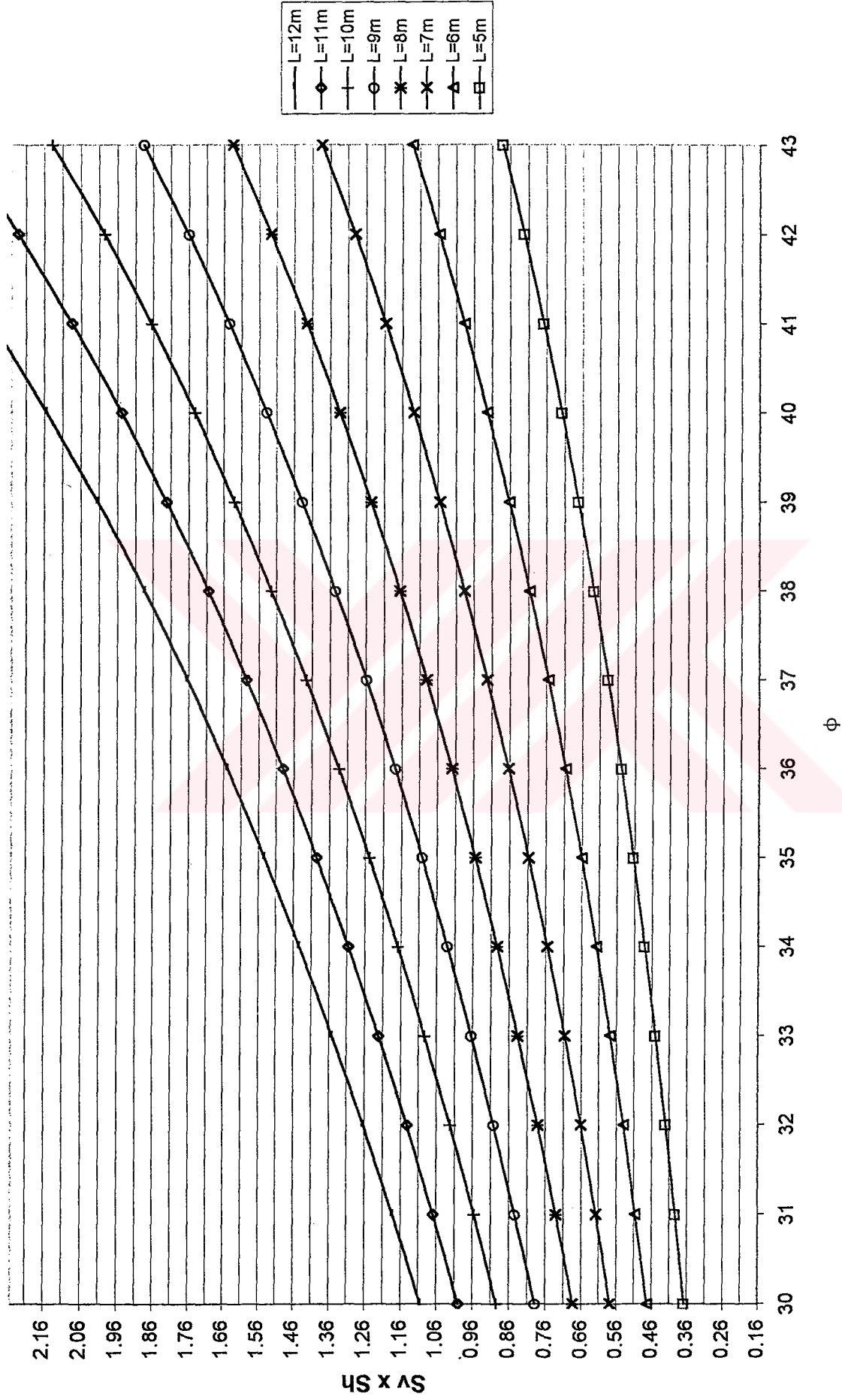
Ek 2.2. $k - z$ grafiği ($T_q = k \cdot q \cdot Sv \cdot Sh$)

Ek 2.3 αe yardımıyla Le 'nin tespiti

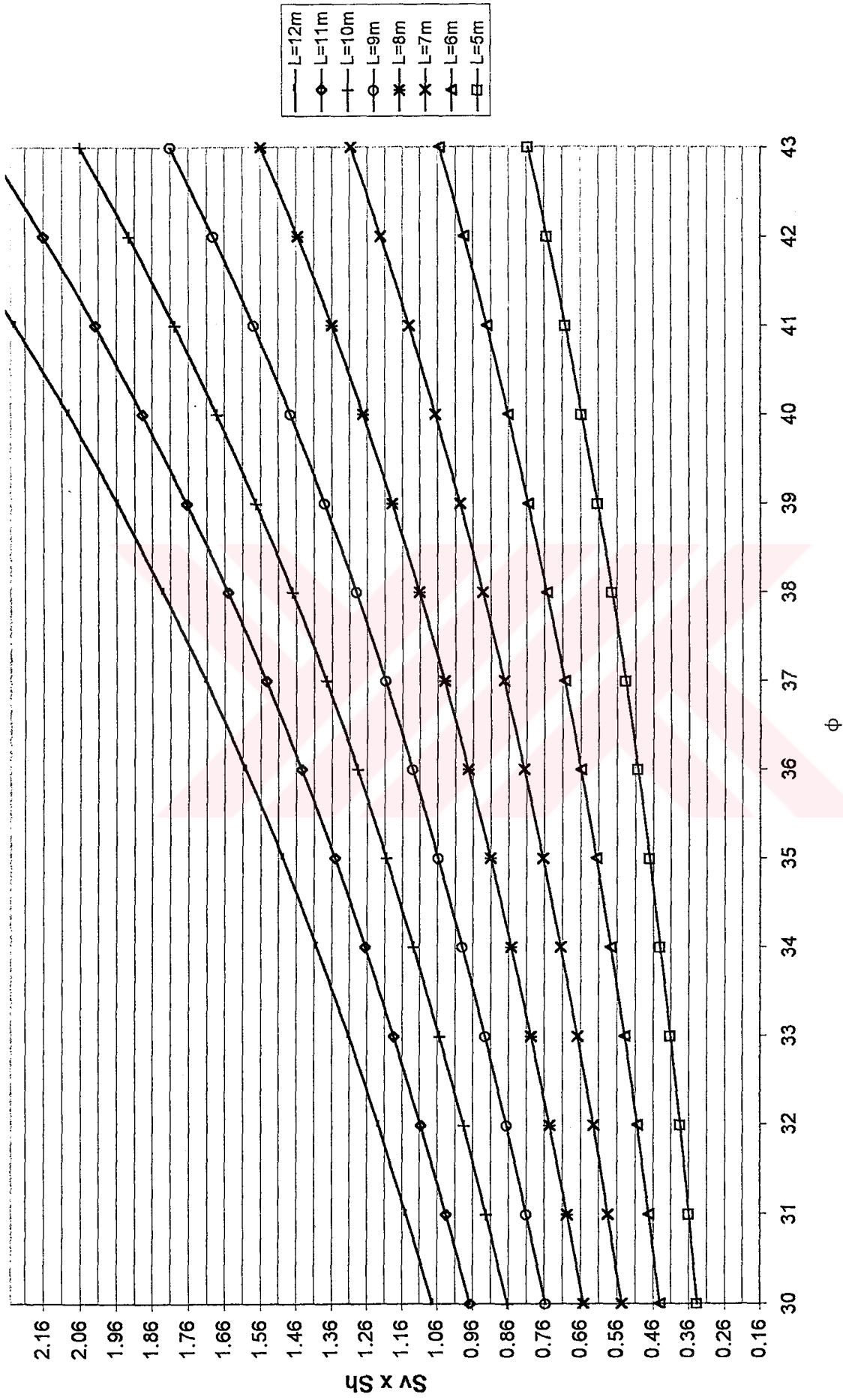
Ek 2.4 L_r -($H-z$) grafiği



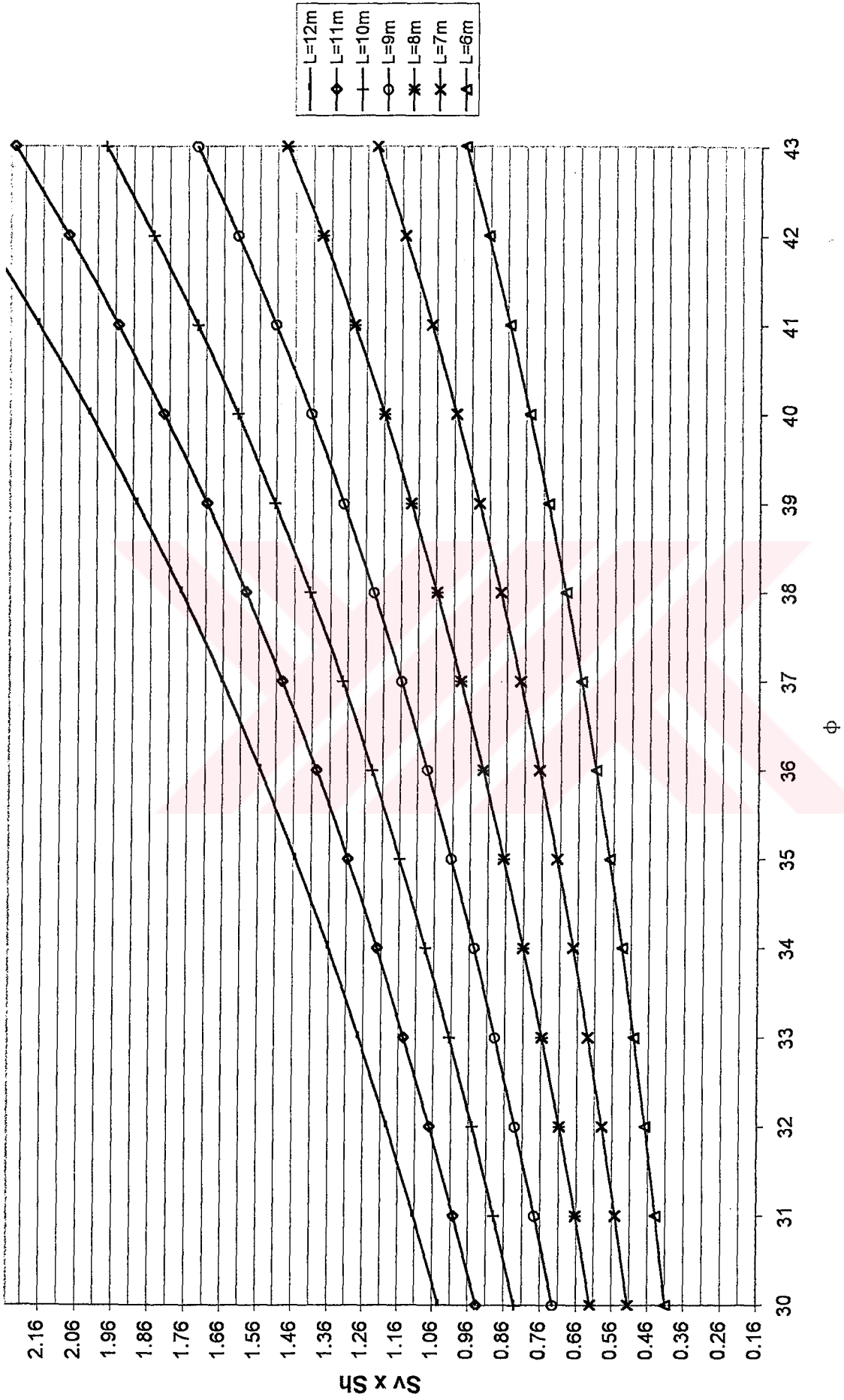
Ek 2.5 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=4m$, $b=0.1m$)



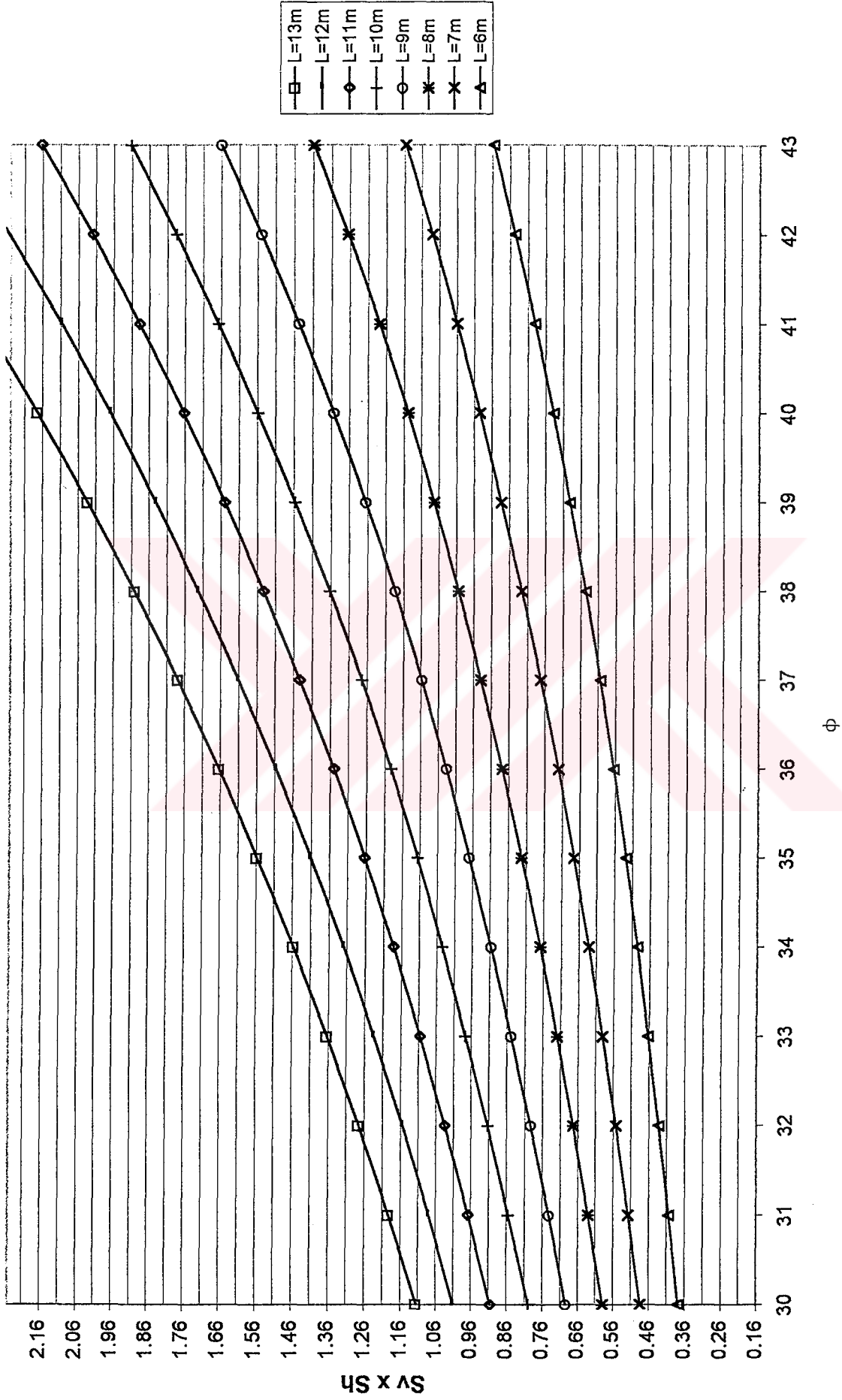
Ek 2.6 Belirli duvar genişlikleri için S_v x S_h ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=5m$, $b=0.1m$)



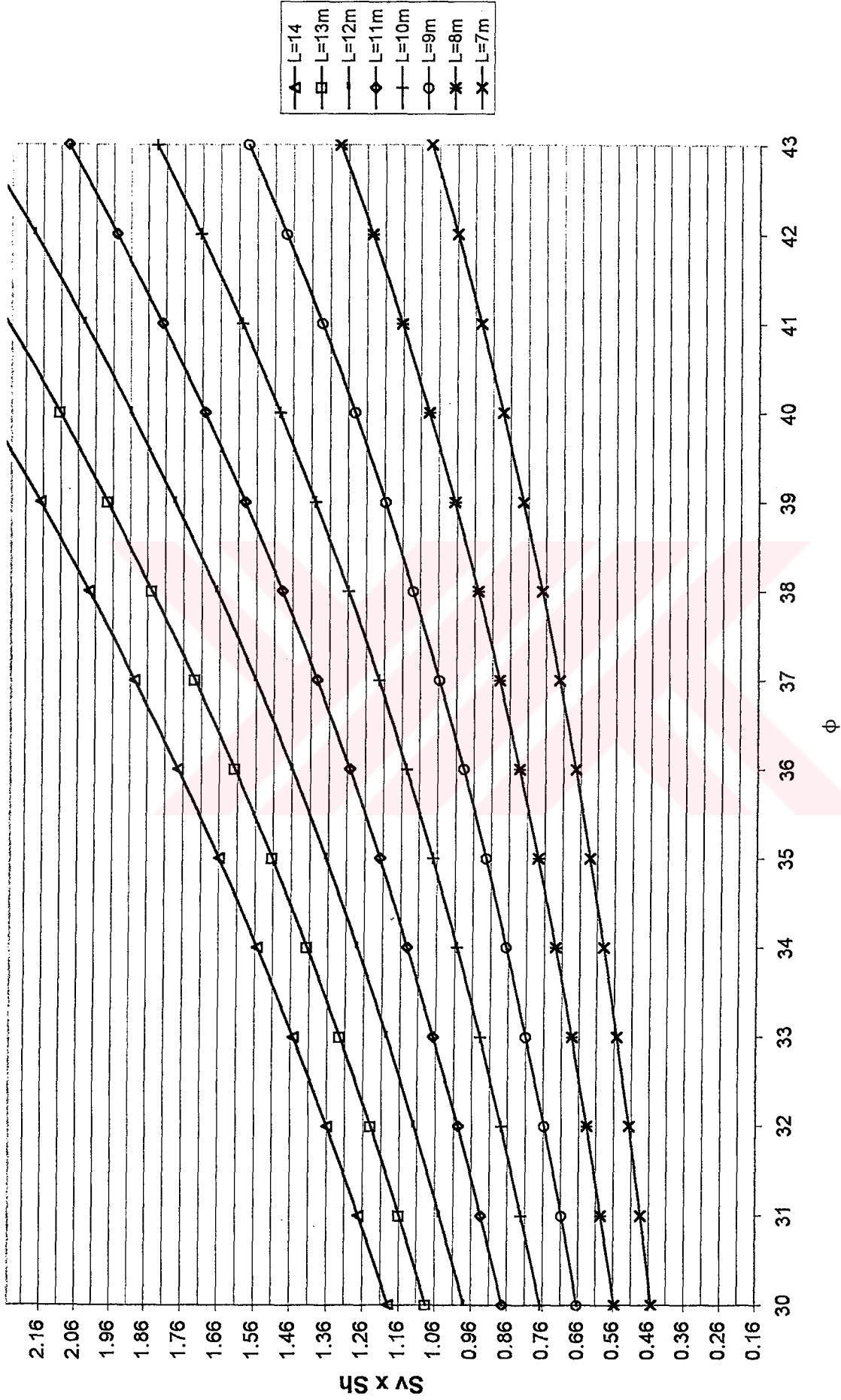
Ek 2.7 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=6m$, $b=0.1m$)



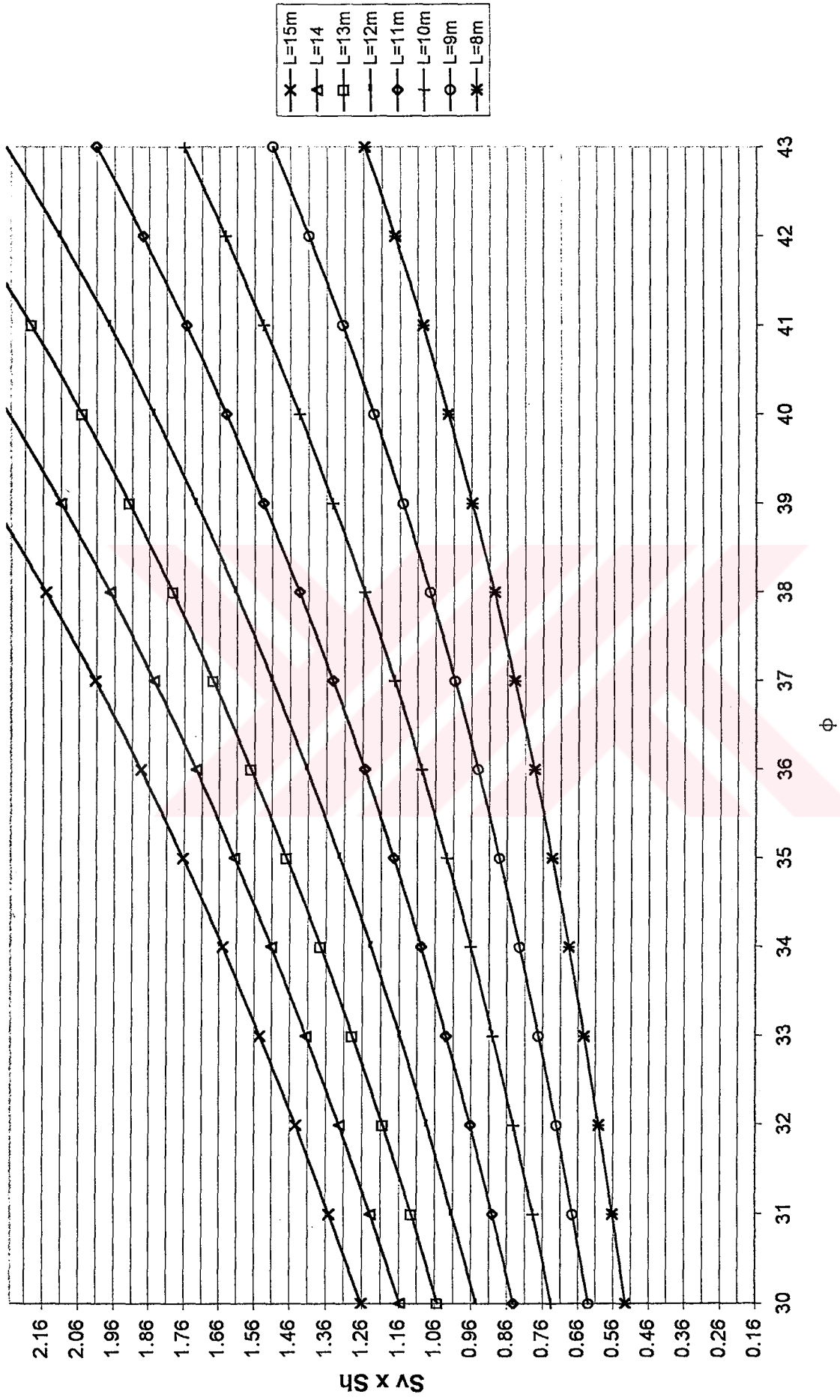
Ek 2.8 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=7m$, $b=0.1m$)



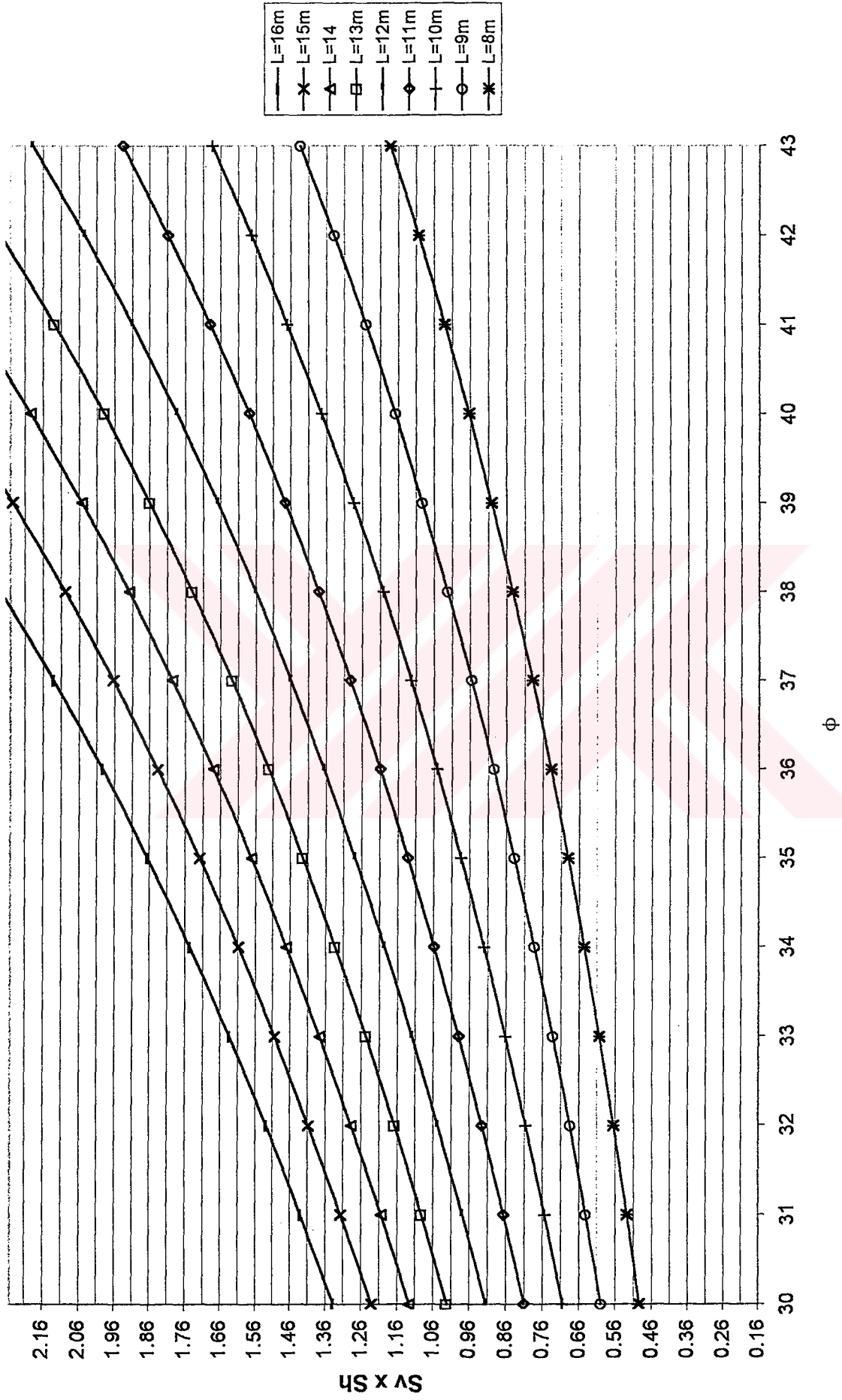
Ek 2.9 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=8m$, $b=0.1m$)



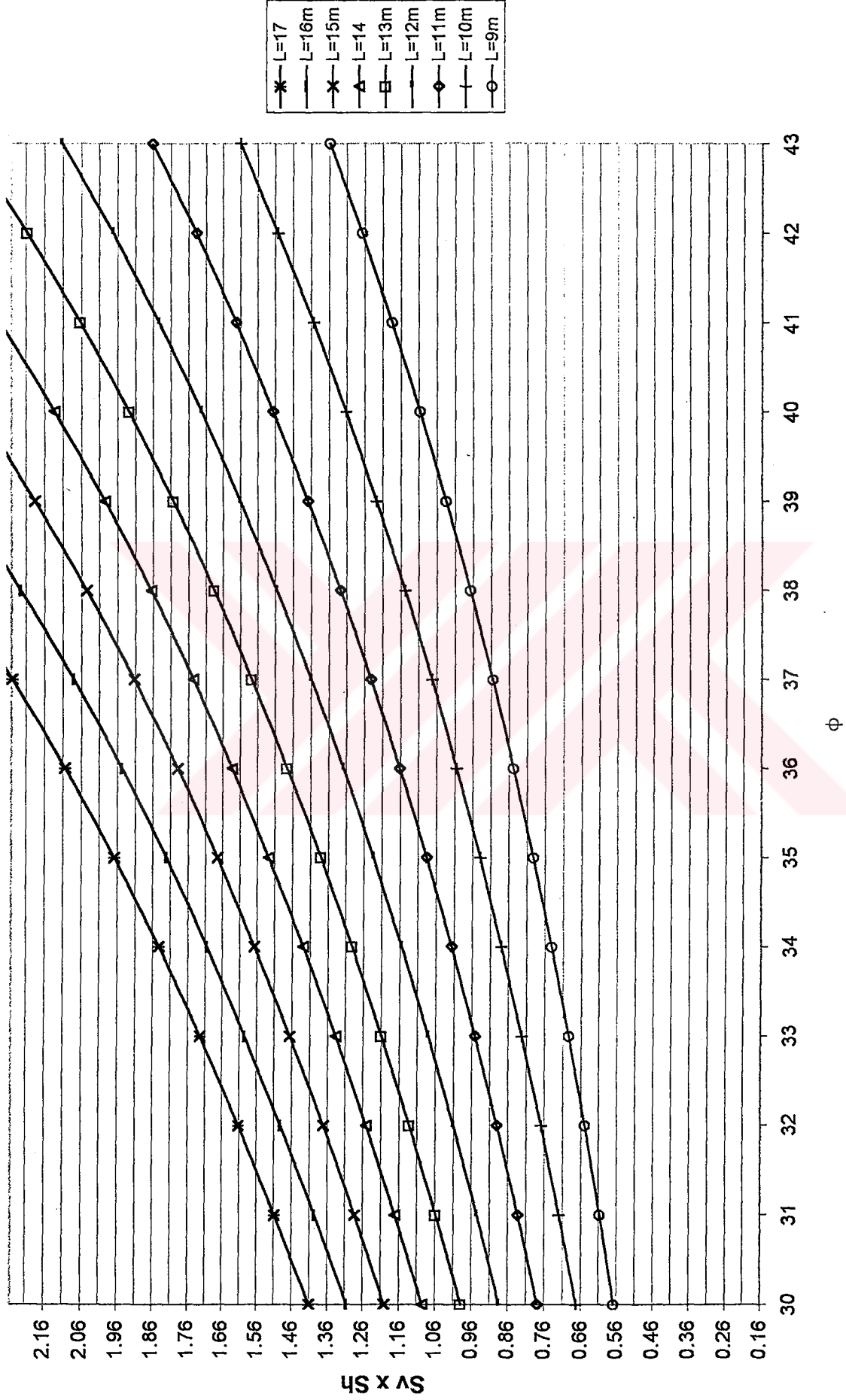
Ek 2.10 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=9m$, $b=0.1m$)



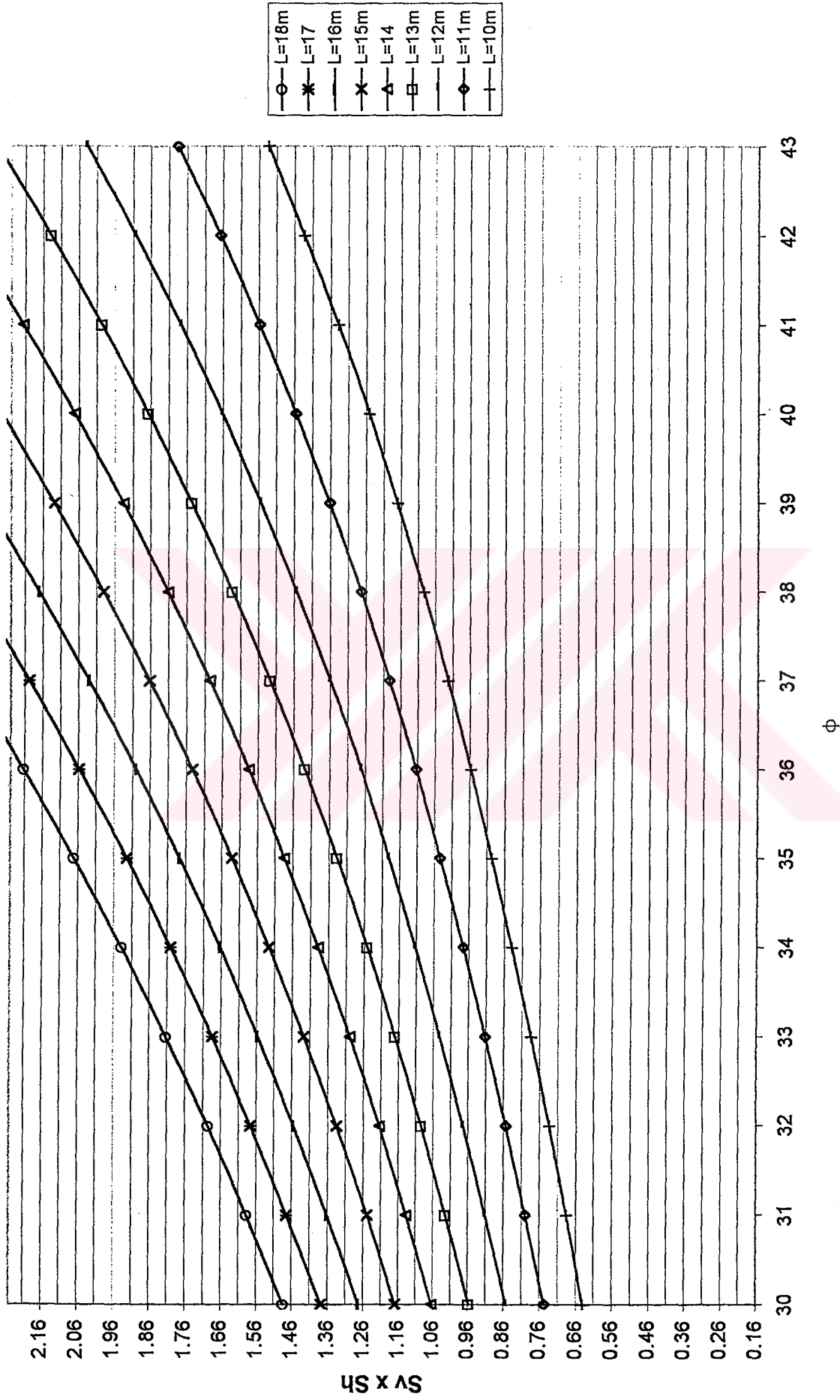
Ek 2.11 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=10m$, $b=0.1m$)



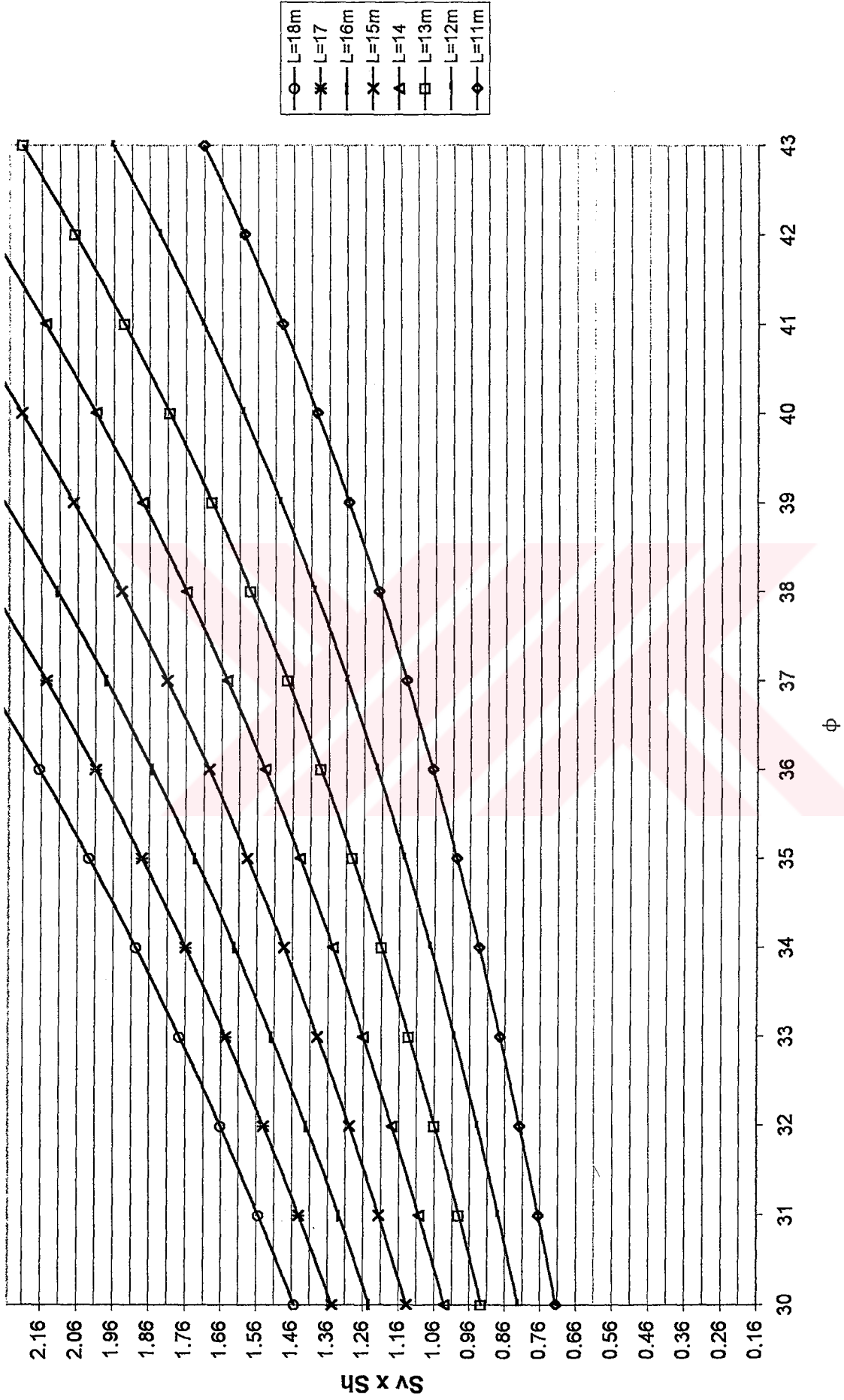
Ek 2.12 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=11m$, $b=0.1m$)



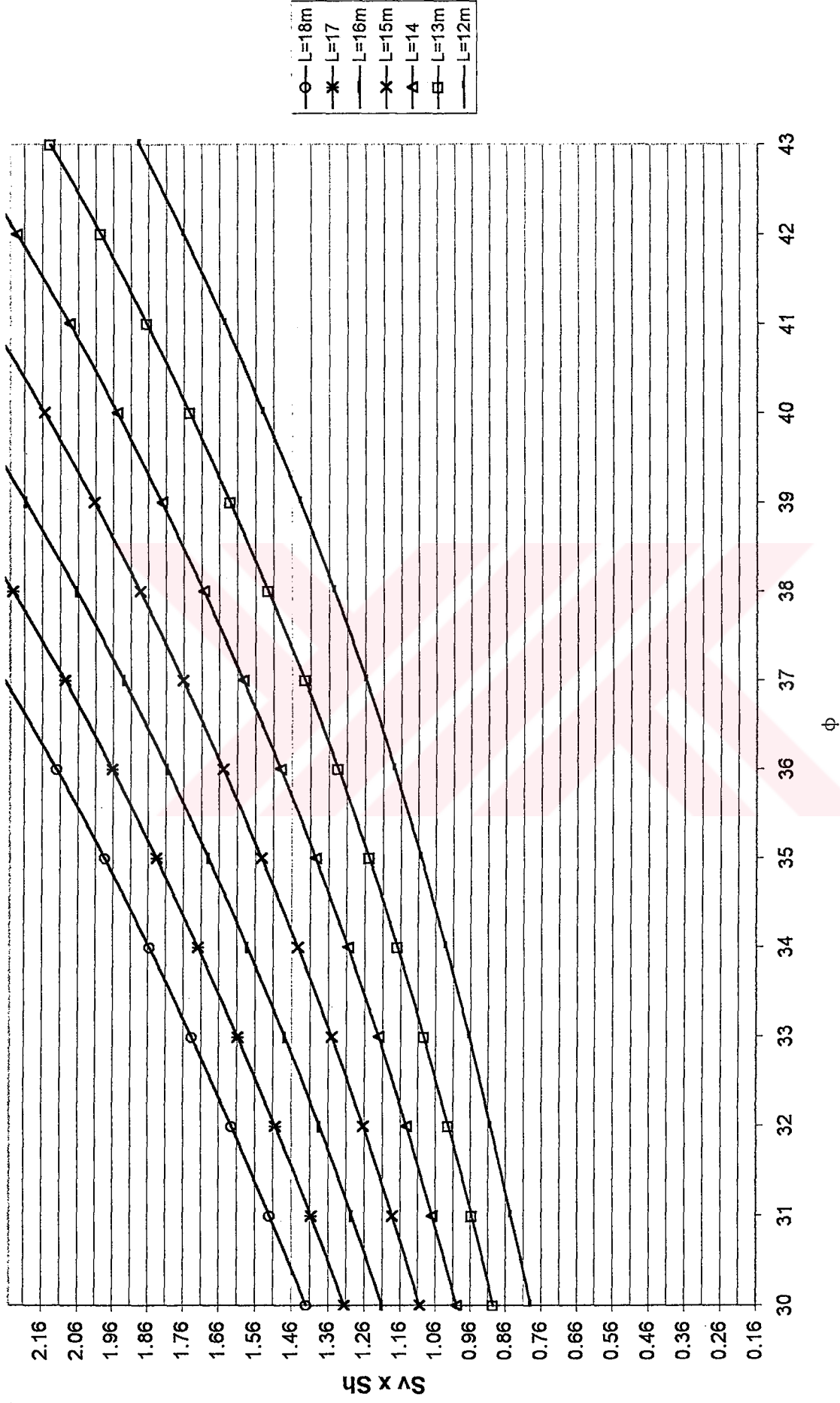
Ek 2.13 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=12$ m, $b=0.1$ m)



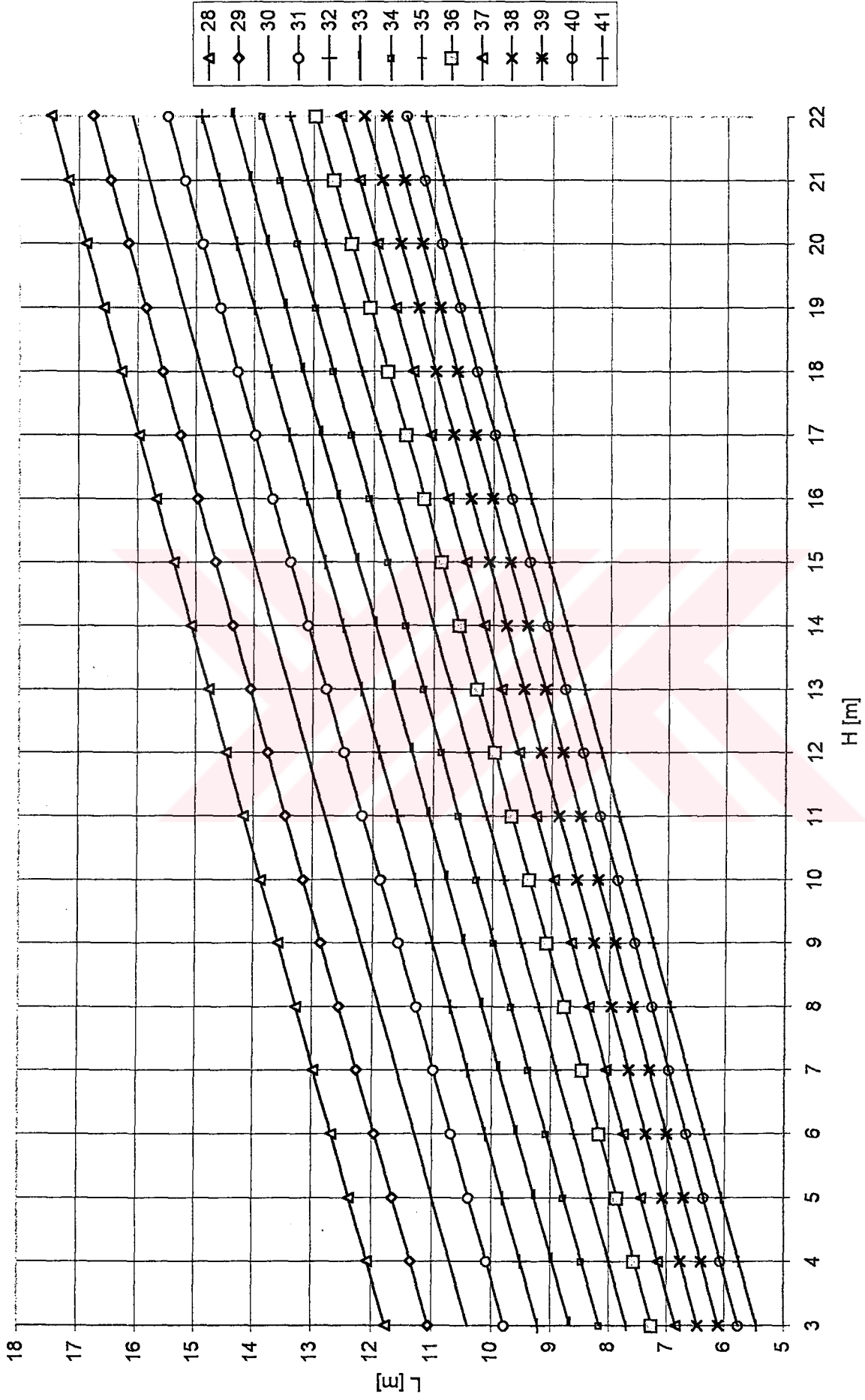
Ek 2.14 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=13m$, $b=0.1m$)



Ek 2.15 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=14m$, $b=0.1m$)



Ek 2.16 Belirli duvar genişlikleri için $S_v \times S_h$ ve ϕ değerlerinin değişimi ($H=15m$, $b=0.1m$)



Ek 2.17 Duvar genişliğinin H ve ϕ 'ye bağlı olarak değişimi ($28 \leq \phi \leq 41$, $b=0.1m$, $S_v=S_h=1m$)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 10.04.1976

Doğum yeri İstanbul

Lise 1987 – 1994 Özel Akasya Lisesi

Lisans 1995 – 1999 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat

Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1999 – halen Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı,

Geoteknik Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2000 – 2001

EL – SE Müh. İnşaat Tic. Ltd. Şti.