

**175831**

**AZ KATLI BİNALAR İÇİN ALTERNATİF BİR YAPI SİSTEMİ ve YATAY  
YÜKLERE GÖRE HESABINDA UYGULANABİLECEK BİR YÖNTEM**

**DOKTORA TEZİ  
Y. Müh. Haluk SESİĞÜR  
(501940006012)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Mayıs 2004**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2004**

**Tez Danışmanı :**

**Prof.Dr. Feridun ÇILI**

**Diğer Jüri Üyeleri**

**Prof.Dr. Zeki HASGÜR (İ.T.Ü.)**

**Prof.Dr. Zekai CELEP (İ.T.Ü.)**

**Prof. Zekeriya POLAT (Y.T.Ü.)**

**Prof. Dr. Sadettin ÖKTEN (M.S.Ü.)**

**MAYIS 2004**

## **ÖNSÖZ**

Tezin hazırlanmasında bana destek olan, her türlü anlayışı ve sabrı gösteren hocam Prof.Dr. Feridun ÇILI'ya, değerli katkılarından dolayı Doç.Dr. Oğuz Cem ÇELİK'e, tezin yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen Y.Doç.Dr. Halet Almıla BÜYÜKTAŞKIN'a ve tez ile ilgili görüşlerini ve yardımını esirgemeyen Prof.Dr. Kaya ÖZGEN'e teşekkürlerimi sunarım.

**Mayıs 2004**

**Haluk SESİĞÜR**



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| SEMBOL LİSTESİ                                                                                       | v         |
| ŞEKİL LİSTESİ                                                                                        | vi        |
| TABLO LİSTESİ                                                                                        | viii      |
| ÖZET                                                                                                 | ix        |
| SUMMARY                                                                                              | xi        |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                                                      | <b>1</b>  |
| <b>1.1. Problemin Tanımı</b>                                                                         | <b>1</b>  |
| 1.1.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımına İlişkin Kriterler                                           | 1         |
| 1.1.2. Türkiye’de Son Depremlerde Binalarda Oluşan Hasarlar ve Nedenleri                             | 2         |
| 1.1.2.1. Malzeme Kalitesi                                                                            | 3         |
| 1.1.2.2. Taşıyıcı Sistemi Düzensiz Yapılar                                                           | 3         |
| 1.1.2.3. Donatı Düzenlemesi                                                                          | 4         |
| 1.1.2.4. Kısa Kolon                                                                                  | 4         |
| 1.1.2.5. Rijitlik Yetersizliği                                                                       | 5         |
| 1.1.2.6. Yumuşak/Zayıf Kat                                                                           | 5         |
| 1.1.2.7. Bölgesel Zemin Koşulları                                                                    | 5         |
| <b>1.2. Konuyla İlgili Çalışmalar</b>                                                                | <b>6</b>  |
| <b>1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı</b>                                                              | <b>13</b> |
| <b>2. ÜÇ TABAKALI KOMPOZİT PANEL SİSTEM</b>                                                          | <b>14</b> |
| <b>2.1. Sistemin Tanımı</b>                                                                          | <b>14</b> |
| 2.1.1. Sistem Bileşenleri                                                                            | 15        |
| 2.1.2. Birleşim Detayları                                                                            | 15        |
| 2.1.3. Üç Tabakalı Kompozit Panel Sistemin Yeni Deprem Yönetmeliği Esaslarına Göre Değerlendirilmesi | 18        |
| 2.1.4. Üç Tabakalı Kompozit Panel Sistemin Geleneksel Betonarme Sistemlerle Karşılaştırılması        | 20        |
| 2.1.4.1. Üstünlükleri ve Zayıf Yönleri                                                               | 20        |
| 2.1.4.2. Üç Tabakalı Kompozit Panel Sisteminin Maliyet Karşılaştırması                               | 21        |
| <b>2.2. Üç Tabakalı Kompozit Panel Sistemin Düzlemi İçinde Etkiyen Yükler Altındaki Davranışı</b>    | <b>21</b> |
| <b>2.3. Deney Düzeneği</b>                                                                           | <b>22</b> |





|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4. Üç Tabakalı Kompozit Panel Sistemin Düzlemine Dik Yükler Altındaki Davranışı                  | 23 |
| 3. ÜÇ TABAKALI KOMPOZİT PANELLİ YAPILARIN YATAY YÜKLERE GÖRE HESABI İÇİN BİR YÖNTEM                | 27 |
| 3.1. Yatay Yük Etkisindeki Duvarların Yer Değiştirme Bağıntısı                                     | 27 |
| 3.2. T kesitlerde Kayma Şekil Değiştirmesi ( $k_s$ ) Katsayısının Hesabı                           | 29 |
| 3.2.1. Ağırlık Merkezinin Gövde İçinde Olması Durumu                                               | 30 |
| 3.2.2. Ağırlık Merkezinin Başlık İçinde Olması Durumu                                              | 31 |
| 3.3. I kesitlerde Kayma Şekil Değiştirmesi ( $k_s$ ) Katsayısının Hesabı                           | 33 |
| 3.4. Etkili Genişlik( $b_f$ ) - Kayma Şekil Değiştirmesi Katsayısı ( $k_s$ ) İlişkisi              | 33 |
| 3.4.1. T Kesitin Etkili Genişlik ( $b_f$ ) – Kayma Şekil Değiştirmesi Katsayısı ( $k_s$ ) İlişkisi | 34 |
| 3.4.2. I Kesitin Etkili Genişlik( $b_f$ ) – Kayma Şekil Değiştirmesi Katsayısı ( $k_s$ ) İlişkisi  | 34 |
| 3.5. Etkili Genişliğin ( $b_f$ ) Duvar Elemanı Rijitliğine ( $k$ ) Etkisi                          | 36 |
| 3.5.1. T Kesitlerde Etkili Genişliğin ( $b_f$ ) Duvar Elemanı Rijitliğine ( $k$ ) Etkisi           | 36 |
| 3.5.2. I Kesitlerde Etkili Genişliğin ( $b_f$ ) Duvar Elemanı Rijitliğine ( $k$ ) Etkisi           | 38 |
| 3.6. Duvarlardaki Düşey Kafes Elemanların Duvar Rijitliğine Etkisi                                 | 40 |
| 3.7. Hesap Yöntemi                                                                                 | 42 |
| 3.8. Hesap Yönteminin Örnek Duvar Elemanlarına Uygulanması                                         | 43 |
| 4. SONUÇLAR                                                                                        | 52 |
| KAYNAKLAR                                                                                          | 54 |
| EKLER                                                                                              | 58 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                                           | 69 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                            | <u>Sayfa No</u> |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 3.1.</b> :Bir boşluklu duvar elemanındaki duvar rijitlikleri..... | 44              |
| <b>Tablo 3.2.</b> :İki boşluklu duvar elemanındaki duvar rijitlikleri..... | 45              |
| <b>Tablo 3.3.</b> :İki boşluklu duvar elemanındaki duvar rijitlikleri..... | 47              |



## ŞEKİL LİSTESİ

|             | <u>Sayfa No</u>                                                                                        |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 2.1.  | :Döşeme/Duvar paneli ..... 15                                                                          |
| Şekil 2.2.  | :Fabrikada üretilen kafes eleman ve duvar paneli yatay birleşimi ..... 16                              |
| Şekil 2.3.  | :Duvar panellerinin birbirine dik düşey birleşimi (iç)..... 16                                         |
| Şekil 2.4.  | :Duvar panellerinin birbirine dik düşey birleşimi (dış)..... 16                                        |
| Şekil 2.5.  | :Duvar-döşeme panellerinin birleşimi ..... 17                                                          |
| Şekil 2.6.  | :Duvar-çatı panellerinin birleşimi ..... 17                                                            |
| Şekil 2.7.  | :Duvar içinde boşluk halinde boşluk kenar donatıları..... 18                                           |
| Şekil 2.8.  | :Duvar paneli ile temel birleşimi ..... 18                                                             |
| Şekil 2.9.  | :Panel düzlemi doğrultusunda yükleme ..... 22                                                          |
| Şekil 2.10. | :Panel düzlemindeki yükleme durumunda yük-yerdeğiştirme eğrisi. 22                                     |
| Şekil 2.11. | :Kompozit davranış. .... 23                                                                            |
| Şekil 2.12. | :Kompozit olmayan davranış..... 24                                                                     |
| Şekil 2.13. | :Yarı kompozit davranış. .... 24                                                                       |
| Şekil 2.14. | :Kayma bağlantısı elemanları türleri. .... 24                                                          |
| Şekil 2.15. | :Kayma bağlantısı tür ve sayısının rijitlikle ilişkisi..... 25                                         |
| Şekil 3.1.  | :Duvar Elemanı..... 27                                                                                 |
| Şekil 3.2.  | :Konsol ve iki ucu ankastre elemanlardaki rijitlik değişimi..... 28                                    |
| Şekil 3.3.  | :Basit kaymada şekil değiştirme durumu. .... 29                                                        |
| Şekil 3.4.  | :T kesit..... 29                                                                                       |
| Şekil 3.5.  | :Ağırlık merkezinin gövdede bulunması durumu..... 31                                                   |
| Şekil 3.6.  | :Ağırlık merkezinin başlıkta bulunması durumu..... 32                                                  |
| Şekil 3.7.  | : T şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik kayma şekil<br>değiştirmesi katsayısı ilişkisi..... 33 |
| Şekil 3.8.  | : I şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik kayma şekil<br>değiştirmesi katsayısı ilişkisi..... 34 |
| Şekil 3.9.  | : T şeklindeki duvar elemanının duvar boyu kayma şekil<br>değiştirmesi katsayısı ilişkisi ..... 35     |
| Şekil 3.10. | : I şeklindeki duvar elemanının duvar boyu kayma şekil<br>değiştirmesi katsayısı ilişkisi ..... 35     |
| Şekil 3.11. | : T şeklindeki duvar elemanı ..... 36                                                                  |
| Şekil 3.12. | : T şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik duvar rijitliği ilişkisi 37                            |
| Şekil 3.13. | : T şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik duvar rijitliği ilişkisi 38                            |
| Şekil 3.14. | : I şeklindeki duvar elemanı ..... 39                                                                  |
| Şekil 3.15. | : I şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik duvar rijitliği ilişkisi .39                           |
| Şekil 3.16. | : I şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik duvar rijitliği ilişkisi . 40                          |
| Şekil 3.17. | : Duvar yatay kesiti..... 41                                                                           |
| Şekil 3.18. | : Düşey kafes elemanların T şeklindeki duvarın rijitliğine etkisi ..... 41                             |
| Şekil 3.19. | :Boşluklu duvar ..... 42                                                                               |
| Şekil 3.20. | :Duvar elemanları ..... 42                                                                             |
| Şekil 3.21. | :Bir boşluklu örnek duvar elemanı ..... 43                                                             |

|             |                                                                                                                      |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.22. | :Boşluk yerinin ve etkili genişliğin duvar rijitliğine etkisi.....                                                   | 43 |
| Şekil 3.23. | :Örnek 1 Sonlu Eleman Modeli.....                                                                                    | 44 |
| Şekil 3.24. | :İki boşluklu örnek duvar elemanı.....                                                                               | 45 |
| Şekil 3.25. | :Örnek 2 Sonlu Eleman Modeli.....                                                                                    | 46 |
| Şekil 3.26. | :Örnek 3 duvar elemanı .....                                                                                         | 46 |
| Şekil 3.27. | :Örnek 3 Sonlu Eleman Modeli.....                                                                                    | 47 |
| Şekil 3.28. | :El-Centro K-G Bileşeni.....                                                                                         | 48 |
| Şekil 3.29. | :Örnek 4 Sonlu Eleman Modeli.....                                                                                    | 49 |
| Şekil 3.30. | :Duvar üst noktası yerdeğiştirme değişimi .....                                                                      | 49 |
| Şekil 3.31. | :P6 duvar elemanındaki kesme kuvveti değişimi .....                                                                  | 50 |
| Şekil 3.32. | :Duvar üst noktası yerdeğiştirme değişimi .....                                                                      | 50 |
| Şekil 3.33. | :P6 duvar elemanındaki kesme kuvveti değişimi .....                                                                  | 51 |
| Şekil A.1.  | :Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi .....                                 | 58 |
| Şekil A.2.  | :Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi .....                                 | 59 |
| Şekil A.3.  | :Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi .....                                 | 60 |
| Şekil B.1.  | :Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi .....                                 | 61 |
| Şekil B.2.  | :Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi .....                                 | 62 |
| Şekil B.3.  | :Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi .....                                 | 63 |
| Şekil C.1.  | :Boşluk büyüklüğünün etkili genişliğin gövde genişliğine oranına bağlı olarak duvar öteleme rijitliğine etkisi ..... | 64 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                                   |                                                                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| $A$                               | : Toplam kesit alanı                                                              |
| $A_c$                             | : Kafes elemanı kesit alanı                                                       |
| $b$                               | : Panel genişliği                                                                 |
| $b_f$                             | : Etkili genişlik                                                                 |
| $C_1, \dots, C_6$                 | : Kesit özelliklerine bağlı katsayılar                                            |
| $d$                               | : Panel elemanın dış tabaka kalınlığı                                             |
| $E, E_c$                          | : Elastisite modülü                                                               |
| $G$                               | : Kayma modülü                                                                    |
| $h$                               | : Duvar yüksekliği                                                                |
| $I, I_c$                          | : Kesit atalet momenti                                                            |
| $h_1, \dots, h_5$                 | : Duvar kısımlarının yükseklikleri                                                |
| $h_w$                             | : I ve T kesitin gövde genişliği                                                  |
| $k$                               | : Duvar rijitliği                                                                 |
| $k_1, k_2, k_3, k_1', k_2', k_3'$ | : Kayma şekil değiştirmesi katsayısının hesabında kullanılan katsayılar           |
| $k_s$                             | : Kayma şekil değiştirmesi katsayısı                                              |
| $L$                               | : Duvar boyu                                                                      |
| $L_0$                             | : Boşluk boyu                                                                     |
| $L_1, \dots, L_5$                 | : Duvar elemanlarının boyları                                                     |
| $m$                               | : Paneldeki kafes elemanı sayısı                                                  |
| $p$                               | : Kafes kirişteki diyagonal elemanın eğimi                                        |
| $Q_x$                             | : Alan momenti                                                                    |
| $r$                               | : Kafes elemanın konstrüksiyon yüksekliği                                         |
| $R_c$                             | : Konsol duvar rijitliği                                                          |
| $R_f$                             | : İki ucu ankastre mesnetli duvarın rijitliği                                     |
| $s$                               | : I ve T kesit yüksekliği                                                         |
| $t$                               | : Duvar kalınlığı                                                                 |
| $t_f$                             | : I ve T kesit başlık kalınlığı                                                   |
| $t_w$                             | : I ve T kesit gövde kalınlığı                                                    |
| $y_1, y_2, y_3$                   | : Kayma şekil değiştirmesi katsayısının hesabındaki integrasyonun sınır değerleri |
| $V$                               | : Duvara etkiyen kesme kuvveti                                                    |
| $\Delta$                          | : Duvar elemanı yerdeğiştirmesi                                                   |
| $\Delta_c$                        | : Konsol duvar elemanının yerdeğiştirmesi                                         |
| $\Delta_f$                        | : İki ucu ankastre mesnetli duvar elemanının yerdeğiştirmesi                      |
| $\gamma_s$                        | : Kayma açısı                                                                     |
| $\tau$                            | : Kayma gerilmesi                                                                 |

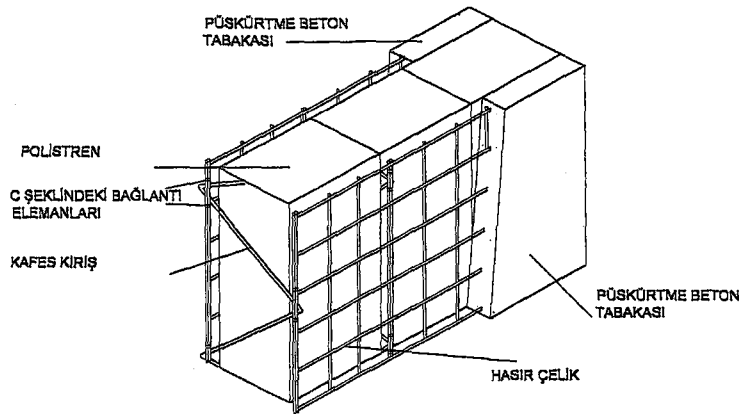
## AZ KATLI BİNALAR İÇİN ALTERNATİF BİR YAPI SİSTEMİ ve YATAY YÜKLERE GÖRE HESABINDA UYGULANABİLECEK BİR YÖNTEM

### ÖZET

Bu çalışmada; Türkiye'deki mevcut geleneksel yapım sistemlerine seçenек olarak teknoloji aktarımı yoluyla ülkemizde uygulama alanı bulan endüstrileşmiş yapım sistemlerinden biri incelenmiş ve bu tür yapıların yatay yüklere göre hesabında kullanılabilecek bir yöntem önerilmiştir.

Son yıllarda ülkemizde büyük can ve mal kaybına yol açan yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bu depremlerden gözlemlenen başlıca sorunlar; yapıların taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesindeki hatalar, taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan malzemenin kalitesiz oluşu ve zemin karakteristiklerine uymayan temel seçimidir. Mühendislik hizmeti görmemiş, inşaat süresince kontrol edilmeyen betonarme binaların, özellikle büyük şehirlerde bir çığ gibi büyümesi, alınabilecek önlemleri sınırlandırmaktadır. Bu noktada; yeni yapım sistemlerinin araştırılması ve uygulanması, geleneksel yapım sistemlerine seçenек olması bakımından önemlidir. Teknolojik olarak gelişmiş ülkelerden aktarılan yapım sistemleri ülkemizde yeni yeni uygulama alanı bulmaktadır. Bu tür sistemlerin geleneksel sistemlere göre, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların atölyede hazırlanması, hafifliği, kullanılan malzemenin kaliteli oluşu vb avantajları vardır.

Bu çalışmada endüstriyel yapım sistemlerinden üç tabakalı kompozit sandviç panelli sistem (three-layered composite sandwich panel system) incelenmiştir. Bu sistemin elemanları, hasır çelik ve püskürtme beton uygulanmış dış ve iç tabaka ile polistren orta tabakadan oluşmaktadır. Dış ve iç tabaka birbirlerine yer yer kafes kirişlerle bağlanmaktadır, Şekil 1.



Şekil 1. Duvar paneli

Burada kafes kiriş; düzlemine dik yükler etkisi altındaki panel elemanların kesme ve eğilme taşıma güçlerini artırmaktadır. Üç tabakalı kompozit panelli sistemin yatay yüklere göre hesabı için Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında

Yönetmelik'te herhangi bir madde bulunmamasına karşın, sistemdeki taşıyıcı elemanların davranışları, yönetmelikteki yığma yapılarla ilgili koşulların uygulanabileceğini göstermektedir. Panellerin taşıyıcı kısımları beton ve/veya betonarmedir. Yatay yük etkisi altında, her iki mesnedi ankastre olan bir duvar elemanının yataydaki yerdeğiştirme miktarı, doğrusal elastik malzeme kabulü ile hesaplanabilir:

$$\Delta = \frac{Vh^3}{12EI} + k_s \frac{Vh}{GA} \quad (1)$$

Burada  $V$  duvarın yatay kesitindeki kesme kuvveti,  $h$  duvar yüksekliği,  $A$  duvarın toplam kesit alanı,  $G$  kayma modülü,  $E$  elastisite modülü ve  $k_s$  kayma şekil değiştirmesi katsayısıdır.  $h/L$  oranının 1.0'den büyük değerlerinde kayma şekil değiştirmesinin duvar rijitliğine etkisi azalmakta, eğilme şekil değiştirmesinin duvar rijitliğine etkisi artmaktadır. Genellikle duvar elemanlarının uzunlukları yüksekliklerinden daha büyük olduğundan kayma şekil değiştirmesinin eleman rijitliklerine etkisi daha fazla olmaktadır. Birbirini dik olarak kesen duvar elemanları nedeniyle taşıyıcı sistem hesaplarında duvar kesitleri tablalı olarak alınabilir. Literatürde tablalı kesitler için yerdeğiştirme hesaplarında kayma şekil değiştirmesi katsayısının  $k_s=1.0$  alınabileceği belirtilmektedir, [22]. Bu çalışmada doğrusal-elastik homojen malzeme kabulü ile T ve I şekilli tablalı kesitler için  $k_s$  (2) bağıntısıyla hesaplanmış, tabla etkili genişliğinin değişiminin duvar rijitliğine etkisi incelenmiştir.

$$k_s = \frac{A}{I_x^2} \iint \frac{Q_x^2}{t^2} dA \quad (2)$$

Burada  $A$  toplam kesit alanı,  $I_x$  kesitin atalet momenti,  $Q_x$  ağırlık merkezinden geçen eksene göre alan momenti,  $t$  herbir elemanın kalınlığıdır.

Çalışma kapsamında üç tabakalı kompozit panel sistemin yatay yüklere göre hesabı için bir bilgisayar programı kodlanmış, örnek duvar elemanları çeşitli boşluk konfigürasyonları için hesaplanmıştır. Analitik sonuçlar, duvar etkili genişliğinin artışıyla kayma şekil değiştirmesi katsayısının ( $k_s$ ) ve duvar rijitliğinin büyüdüğünü göstermektedir. Ayrıca analitik yöntemden elde edilen sonuçlar sonlu eleman yöntemi ile elde edilenlerle karşılaştırılmıştır.

## AN ALTERNATIVE STRUCTURAL SYSTEM FOR LOW RISE BUILDINGS AND A METHOD PROPOSED FOR LATERAL LOAD ANALYSIS

### SUMMARY

During last decade, Turkey has experienced severe earthquakes. Most of them affected heavily the big cities causing economical crisis and loss of life. The site investigations indicate that the building quality in earthquake prone areas is very low. Many building's structural systems have irregularities in plan and elevation. The material quality especially for the concrete is very poor and the site conditions have not been taken into account as required for the basement design. It is known that if the building has a low weight and a sufficient lateral rigidity, the structural system performs adequately against the earthquake excitations. For any type of the selected material, it is important to configure a regular structural system. In the recent years, a number of new construction methods are applied in Turkey. They are transferred from contemporary countries. Naturally, before applying them, it is important to investigate their applicability: proposed design methods have to be approved by earthquake experiences. Connection details of the structural systems have to be capable to resist earthquake effects. Some of them are constructed in the earthquake prone areas and it is seen that they performed successfully against earthquake excitations. In this study, a new structural system, which consists of composite insulated sandwich panels, is introduced. The construction details, material components and structural design guides for the lateral loads are provided. Composite insulated sandwich panels are formed of three layers. Outer layers are constructed of concrete reinforcing wire mesh and they are surrounding the insulation layer, Figure 1.

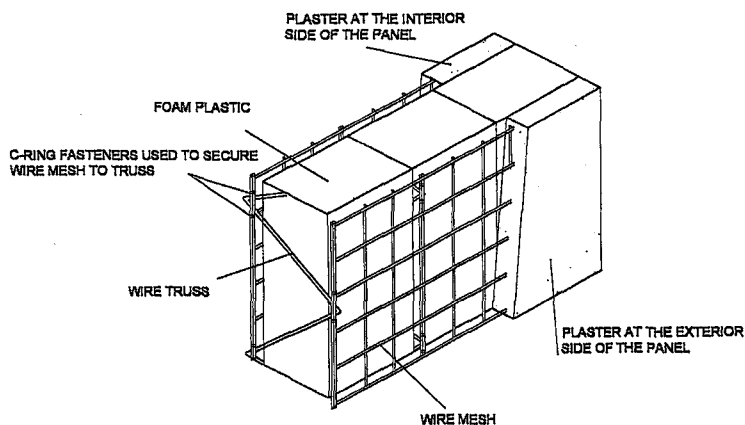


Figure 1. Typical components of a composite insulated sandwich panel.

The insulation layer is made of expanded polystyrene. Concrete wythes are connected through the insulation layer by warren trusses and they perform as shear connectors against transverse loads. The system resists against inline shear forces, which are produced by lateral forces, with the layers of concrete wythe. Some advantages of the system can be enumerated as follows: lightness of the structural

system, the homogeneity and the good quality of material, short period of the construction time and good lateral rigidity. In Turkey according to earthquake resistant design code Specification For Structures to be Built in Disaster Areas does not contain any guides for this type of structures. But the code permits to use different countries codes for the calculation of the structural system. The system properties of the three-layered composite sandwich panel structures indicate that the rules for the masonry structures can be used to design this type of structural systems. With the linear-elastic homogen material, the lateral displacement of a fixed based wall is defined as

$$\Delta = \frac{Vh^3}{12EI} + k_s \frac{Vh}{GA} \quad (1)$$

Here  $V$  is the shear force at the lateral section of the wall,  $h$  is the height of the wall,  $A$  is the total area of the wall section,  $I$  is the second moment of section area,  $E$  is the modulus of elasticity,  $G$  is the modulus of rigidity and  $k_s$  is the shear deflection coefficient of the section. For relatively high  $h/L$  ratios, the effect of shear deformation is relatively small and the calculation of the wall rigidities based on the flexural stiffness is reasonably accurate. Generally the length of a wall element is greater than its height. Therefore, the shear deformations in such wall elements can amount to significant part of the total deflection. Flanged sections formed by the connection of intersecting walls or by adding returns at the ends of walls, increase substantially the bending moment as well as axial load capacity. For basic calculations, proposed value of the shear deflection coefficient is 1.0 for the flanged sections, [22]. In this study,  $k_s$  is obtained from the equation (2) for various type of flanged sections by the change of the effective width of the wall sections.

$$k_s = \frac{A}{I_x^2} \iint \frac{Q_x^2}{t^2} dA \quad (2)$$

Here  $A$  is the total area of the section,  $I_x$  is the second moment of section area,  $Q_x$  is the area moment of each segment according to the gravity center of the section and  $t$  is the thickness of each segment.

A computer program is coded for the lateral load analysis of three layered composite panel structures and some results are obtained for various types of opening configurations. Analytical solutions indicate that the higher  $b_f/t_w$  ratios give the greater value of the  $k_s$ . Here  $b_f$  is being effective width of flange. With higher  $k_s$ , the wall stiffnesses also increase,  $t_w$  is being web thickness of the wall section. A few simple wall elements are analysed for  $k_s=1.0$  and equation (2). Rigidity values obtained are compared with finite element modeling solutions. From the analytical calculations, it is seen that rigidities obtained for  $k_s$  according to the above equation is reasonably accurate.

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Problemin Tanımı

Günümüzde kullanılan gelişmiş inşaat teknolojileri ile geleneksel sistemlere alternatif olarak depreme dayanıklı yapılar üretilmektedir. Özellikle endüstrileşmiş yapım sistemlerindeki olumlu gelişme ve prefabrikasyon teknolojisinin giderek yaygınlaşması, inşaat maliyeti ve hızı açısından geleneksel sistemlere göre bazı durumlarda ekonomik nedenlerle tercih edilebilmektedir. Bu tür yapım sistemlerinin uygulanabilmesi için üstünlük ve sakıncalarının konuyla ilgili teknik personel tarafından yeterince bilinmesi gereği açıktır. Bu amaçla bu çalışmada öncelikle Türkiye’de son on yıl içinde 13 Mart 1992 Erzincan depremi ile başlayan ve sırasıyla 1 Ekim 1995 Dinar, 25 Haziran 1998 Adana (Ceyhan), 17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinde binalarda ortaya çıkan yapısal ve yapısal olmayan hasarların genel bir değerlendirmesi yapılmış, mevcut yapı sektöründe geleneksel sistemlere seçenek olarak kullanılabilecek bir endüstrileşmiş yapım sisteminin taşıyıcı sistem özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiş ve deprem yükleri (yatay yükler) altında hesapta kullanılabilecek bir yöntem önerilmiştir.

#### 1.1.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımına İlişkin Kriterler

Düzenli yapısal sistem, yapıların depreme dayanıklılığında en temel etkenlerden biridir. Bir yapı ideal anlamda birçok biçimde taşıyıcı sisteme sahip olabilir. Mühendislikte amaç; oluşturulan taşıyıcı sistemlerden en uygununu/optimumu arayıp bulmaktır. Optimum/en uygun çözümün güvenli ve aynı zamanda ekonomik çözüm olduğu açıktır. Bu bağlamda, depreme dayanıklı yapı tasarım ilkeleri taşıyıcı sistemin özellikleri bakımından aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- (1) Binada taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan (bölme duvarları gibi) elemanlar mümkün olduğunca hafif olmalı, gereksiz ağırlıklardan kaçınılmalıdır.
- (2) Bina, depremlerde önemli miktarlara çıkabilen burulma etkilerini karşılayabilme açısından basit, planda ve düşeyde simetrik olmalıdır. Basitliğin her zaman güvenliği

getirdiği, tersine sistemdeki karmaşıklıkđın yapıyı olumsuz yönde etkilediği ve yapının depreme dayanıklılığını azalttığı bilinmektedir.

(3) Bina taşıyıcı sisteminde düzgün ve sürekli bir kütle, yeterli/gerekli rijitlik, dayanım ve süneklik bulunmalıdır. Ayrıca, yumuşak/zayıf katların ve kısa kolonların oluşumu önlenmelidir.

(4) Bina taşıyıcı sistemi olağan ölçülerde/boyutlarda giriş açıklıklarına sahip olmalı, bu bağlamda açıklığı fazla konsollardan/çıkmalardan kaçınılmalıdır.

(5) Taşıyıcı olmayan bölme duvarları; ya taşıyıcı sistem elemanlarıyla etkileşime girmeyecek biçimde ayrılmalı ya da tüm sistemle birlikte çalışacak biçimde entegrasyonu sağlanmalıdır. İkinci durumda uygun detaylandırma ile yapının taşıyıcı olmayan elemanlarının da yanal rijitliğe katkı sağlayacağı ve binanın deprem güvenliğini arttıracığı açıktır.

(6) Yapı taşıyıcı sistemi, elastik olmayan şekil değiştirmelerin, sistem sünekliğini artıracak bölgelerde, belli bir sırayla oluşmasına olanak sağlamalıdır.

(7) Yapının taşıyıcı sistem elemanlarının bağlantıları ve mesnetleri arasında dengeli bir rijitlik ve dayanım düzeyi sağlanmalıdır.

(8) Tüm yapının rijitlik ve dayanımı, zemin ve temel sisteminin rijitlik ve dayanım düzeyiyle uyumlu olmalıdır. Temel zeminine ilişkin parametreler gereği gibi gözönüne alınmalıdır.

### **1.1.2. Türkiye’de Son Depremlerde Binalarda Oluşan Hasarlar ve Nedenleri**

Gerçekte, her deprem kendine özgü hasar tiplerine neden olmaktadır. Ancak 1939 Erzincan Depreminden sonra Türkiye’de son yıllarda içinde değişik bölgelerde olan ve yukarıda sayılan depremlerden çıkarılabilecek dersler hemen hemen birbirlerinin benzerleridir. Her yıkıcı deprem sonrası yapılan arazi çalışmalarında ve mühendislik yapılarında yapılan incelemelerde, benzer hataların yoğun bir biçimde tekrarlandığı tespit edilmiştir.

Türkiye’de meydana gelen depremler sonrasında depremlerin olduğu bölgelerde yapılan incelemelerde karşılaşılan yapısal ve yapısal olmayan sorunlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

### 1.1.2.1. Malzeme Kalitesi

#### *Beton*

Türkiye'de 1990'lı yılların başından itibaren hazır betonun yapılaşmada gündeme girmesi, hiç olmazsa düşük dayanımlı betondan kaynaklanan deprem hasarlarının giderilmesi için bir çıkış yolu olmuştur. Bununla beraber mevcut bina stoğunun önemli bir kısmında beton geleneksel yöntemlerle hazırlanmıştır. Geleneksel yöntemlerle üretilen betonda, çoğu zaman kötü şantiye koşullarında betonun bileşimine giren malzemelerin uygunsuzluğu, ya da iyi yerleştirmeme yüzünden, projede öngörülen beton dayanımına ulaşılması her zaman mümkün olamamaktadır. Deprem bölgesinde yapılan incelemelerde halen betonun dayanımındaki düşüklükten kaynaklanan hasarlara sıkça rastlanmaktadır.

Taşıyıcı sistem elemanlarında beton kalitesindeki bu düşüklüğün hesaplarda amaçlanan taşıma gücüne ulaşamaması yanında, yapı rijitliğinin azalmasına, depremde betonun çabucak bozulmasına, özellikle düşük kayma ve aderans dayanımı nedeniyle betonarme elemanlarda gevrek kırılmalara neden olmaktadır.

#### *Donatı (Betonarme Çeliği)*

Türkiye'de meydana gelen son depremlerde yapılan incelemelerde, yapımda kullanılan betonarme çelikleri için çekme, bükme gibi kalite kontrol deneylerinin yeterince/hemen hiç yapılmadığı gözlenmiştir. Hurda demirden çekilen betonarme çubuklarının yetersiz mekanik özellikleri, taşıyıcı sistem elemanlarının davranışını olumsuz yönde etkilemiştir.

### 1.1.2.2. Taşıyıcı Sistemi Düzensiz Yapılar

Depreme dayanıklı bina tasarımının ana ilkelerinden birinin ve en önemlisinin taşıyıcı sistemi düzenli, hafif binalar yapmak olduğu açıktır. Hangi yapı tekniği ve malzeme ile yapılırsa yapılsın, taşıyıcı sistemi düzenli olmayan yapıların bu son depremlerde davranışı olumsuz olmuştur. Taşıyıcı sistemlerle ilgili bütün yayınlarda bulunabilecek "temel ilkeler" in çoğuna uyulmadığı gözlenmektedir. Planda ve düşey kesitte yeterince/gereğince simetrik olmayan, kat döşemelerinde aşırı boşluklar bulunan, düşey taşıyıcı elemanları süreksiz, kat rijitlikleri yapının yüksekliği boyunca ani değişiklikler gösteren, konsol/çıkma miktarları önemli değerlere ulaşan

ve aşırı burulma etkileri doğurabilecek şekilde taşıyıcı sistem düzensizliği gösteren yapılar arasında hasarın derecesi yaygındır.

Depremlerin etkilediği yörelerde yapılan incelemeler sırasında mühendislik dışı pekçok sakıncalı uygulamaya rastlanmıştır. Yığma/kargir ya da daha az kata göre projelendirilen binalara sonradan proje dışı kat/katlar eklenmiştir.

#### **1.1.2.3. Donatı Düzenlemesi**

Betonarme çerçeve türü binalarda deprem kaynaklı hasar, kiriş-kolon birleşim bölgelerinde, kolon uçlarında, kiriş uçlarında ya da düğüm noktası içinde kalıcı şekil değiştirmelerin yığılması sonucu oluşur. Kiriş ve kolon uçlarında oluşabilecek eğilme çatlaklarının onarılabilmesine karşın, düğüm noktası bölgesinin çözülmesi/dağılması durumu için etkin/tutarlı bir onarım yöntemi bulunmamaktadır. Diğer taraftan, kolon ve kiriş uçlarında oluşan eğik kesme/kayma çatlaklarının da onarımı olanaklı olmakla birlikte, bu yapı güvenliğini tehlikeye sokabilecek bir durumdur. Kiriş-kolon birleşim bölgesi hasarları ve kolonlarda basınç kırılması, çoğu zaman yapının onarılmasını/güçlendirilmesini olanaksız kılan, onarım ya da güçlendirme yapılabilse de etkinliği tartışılan türden hasarlardır.

Betonarme binalarda kolon ve kiriş uçlarının sarılma bölgesindeki enine donatı sıklaştırılmasının genellikle yapılmadığı, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kolon etriyelerinin devam ettirilmediği görülmüştür. Çok büyük kesitli kolonlarda S220 kalitesinde Ø6 gibi ince denebilecek etriyelerin yaygın olarak kullanıldığı, çift ya da çok kollu etriyenin projede bulunmasına karşın genelde kullanılmadığı belirlenmiştir.

#### **1.1.2.4. Kısa Kolon**

Aynı katta öteki taşıyıcı sistem elemanlarına göre serbest boyları değişik nedenlerle kısıtlanmış, başka bir deyişle rijitlikleri arttırılmış olan kolonlar çektikleri aşırı kesme kuvvetleri nedeniyle ağır hasarın ya da göçmenin başlıca nedenlerinden biri olmuştur. Bu durumda yapılması gereken, yapıda bu tür oluşumların uygun mimari düzenlemelerle engellenmesidir. Bu bölgelerde etriye sıklaştırılmasının her zaman yetmediği, betonun kalitesinin de iyi olması gerektiği unutulmamalıdır.

#### **1.1.2.5. Rijitlik Yetersizliği**

Kuvvetli yer hareketlerinde ikinci mertebe etkilerinin (P-Δ) en aza indirilmesi ve taşıyıcı olmayan bölme duvarlarındaki hasarın artmaması için yapı taşıyıcı sisteminin yanal rijitliğinin yeterli düzeyde olması gerekir. Deprem bölgelerinde ağır hasar alan ya da göçen binalar üzerinde yapılan incelemelerde, yapıların çoğunda yeterli yatay rijitlik sağlayacak düzenlemelere rastlanmamıştır. Özellikle 4~7 katlı betonarme iskelet/karkas türü binalarda diğer olumsuzlukların yanında, genelde, taşıyıcı sistemin yanal rijitliğine önemli katkıda bulunabilecek betonarme perde türü elemanlar bulunmamaktadır.

Yapı taşıyıcı sisteminde, düşey taşıyıcı sistem elemanları yeterli enkesit ölçülerinde olsa bile, beton kalitesindeki düşüklük, sistemin yatay yerdeğıştirmelerinin sınırlandırılmasını güçleştirmektedir.

#### **1.1.2.6. Yumuşak/Zayıf Kat**

Birden fazla işlevli binalarda, zemin katlarda ticari amaçlarla bölme duvarlarının yapılmaması, bunun ötesinde bu katların normal katlara oranla daha yüksek alınması, deprem sırasında bu katlarda aşırı ve düzensiz ötelemelere neden olmaktadır. Buna bağılı olarak, ikinci mertebe etkilerinin önemli boyutlara vardığı, yumuşak/zayıf katların olduğu binaların hasar ve göçme oranı yüksek olmuştur.

#### **1.1.2.7. Bölgesel Zemin Koşulları**

Yapıların üzerinde inşa edildikleri zeminin durumuna göre depremdeki davranışları değışebilmektedir. Diğer bir deyişle üstyapının deprem yükleri altındaki davranışı temel zemininden bağımsız değıldir. Bu bağlamda, yapının inşa edileceğı zeminin mühendislik özelliklerinin bilinmesi zorunluluğı ortaya çıkmaktadır. Zeminle ilgili gerekli parametreler bilindikten sonra yapının davranışı, deprem yükleri altındaki performansı daha gerçekçi olarak değılendirilebilmektedir. Örneğın, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde, maksimum yer ivmesine ( $a_{max} \cong 0.41g$ ) ulaşılan yer, depremin merkezi olmamasına karşın, yerel zemin koşullarındaki olumsuzluklar nedeniyle Adapazarı'dır. Yöredeki zayıf zemin koşulları üzerinde inşa edilen binaların ağır hasar almasına ve göçmesine ya da zeminin sıvılaşması ile üzerindeki binaların hiçbir yapısal hasar almadan kısmen ya da tamamen devrilmesine neden olmuştur.

Gelişen teknolojiyle birlikte yeni yapıım sistemlerinin deprem bölgelerinde uygulanması ve bu tür sistemlerle ilgili araştırmalar yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda bu çalışmada üç tabakalı kompozit sistemler incelenmiştir.

## 1.2. Konuyla İlgili Çalışmalar

Bu çalışmada incelenecek olan endüstriyel yapıım sistemleri son yıllarda Türkiye’de de kendine uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Yarı ön üretimli paneller ile oluşturulan yapılar olarak isimlendirilebilecek bu tür sistemlerin tasarımı ve yapıım esasları konusunda yapılan çalışmalar, yığma yapılara ilişkin olanlarla birlikte aşağıda özetlenmiştir.

Utku, B. [3], deprem bölgelerindeki tek katlı tuğla binaların bir cephesini meydana getiren taşıyıcı dış duvarlarda bulunan dikdörtgen kapı ve pencere boşluklarının kenar oranlarının, konum ve alan değişkenlerinin çeşitli değerlerinin duvarın dayanım ve rijitliği üzerine etkisini incelemiştir. Sonuçlar diyagramlarla gösterilerek, duvarın dayanım ve rijitliği yönünden boşluk için en uygun kenar oranları, en uygun boşluk konum durumları belirtilmiş ve boşluk alanındaki artışın duvarın dayanım ve rijitliğinde yaptığı değişme nicel olarak belirlenmiştir.

Bayülke, N. [4], tuğla yığma/kargir yapıların deprem davranışlarını incelemiştir. Farklı dinamik karakteristiklere sahip birkaç katlı yığma/kargir yapıların periyotları, depremlerden önce ve sonra ölçülmüştür. Ayrıca son depremlerde oluşan hasarlar ve yönetmelikteki kurallar tartışılmıştır. Taşıyıcı duvarların ve duvar uzunluğunun döşeme alanına oranının önemi belirtilmiştir.

Çılı, F. [5], yığma yapıların yatay yükler altındaki davranışının hesaplanmasında kullanılabilecek bir yöntemin adımlarını vermiştir. Bu çalışmada, deprem yükleri etkisinde kalmış bir yığma yapıda malzeme özelliklerinin yapıdan alınacak örnekler üzerinde yapılacak laboratuvar deneylerinden elde edilebileceği, deprem özelliklerinin ise gerek arazi gözlemlerinden ve gerekse deprem anında alınan kayıtlardan öğrenilebileceği belirtilmiştir. Bu verileri kullanarak, gözönüne alınan yığma yapının çeşitli kesimlerinde oluşan gerilme ve şekil değiştirmeler çalışmada önerilen yöntemle hesaplanmıştır. Hesap sonuçları ile yapının gerçek hasar durumu arasındaki uyuşum, yığma yapıların deprem yükleri altındaki davranışı ile ilgili bilgiler ortaya çıkarabilmektedir. Ayrıca bu çalışmada verilen yöntem, bazı

değişikliklerle yığma yapıların yatay yüklere göre boyutlandırılmasında ve kullanılmakta olan yığma yapıların yatay yük taşıma sığalarının hesaplanmasında ya da başka bir deyişle, bölgede beklenen bir depremde ne şekilde davranacaklarının belirlenmesinde de kullanılabilir.

Thiruvengadam, V. [7], dolgu duvarlı çerçevelerde doğal periyodun ve buna karşı gelen mod şeklinin hesabında kullanılabilecek üç ayrı model vermiştir. Önerilen bağıntılar varolan deneysel sonuçlarla ve sonlu elemanlarla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Konuya ilişkin çoğu çalışmada yapılanın tersine dolgu duvarları çekme ya da basınca çalışan X şeklindeki iki adet diyagonal elemanlar yerine, daha çok sayıda diyagonal elemanlarla ağ şeklinde idealize edilmiştir. Böylece boşluklu duvarlar da belirli bir yaklaşımla modellenenmektedir.

Shing, P.B., Schuller, M., Hoskere, V.S. [9], donatılı yığma duvarların düzlemleri içindeki eğilme ve kayma dayanımlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerden elde edilen sonuçlar özetlenmiş, bunların literatürde varolan tasarım bağıntıları ile uygunluğu araştırılmıştır. Kare duvar panellerinin eğilme dayanımının bilinen basit bağıntılarla iyi bir yaklaşıklıkla hesaplanabileceği gösterilmiştir. Diğer taraftan, kenar oranları 1 olan kare duvarlar için yönetmeliklerde kayma dayanımını veren bağıntıların oldukça güvenli tarafta kaldığı, buna karşın bu bağıntıların kenar oranları birden büyük dikdörtgen panellerde ise daha az güvenli tarafta kaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu tür duvarlarda yatay ve düşeyde yerleştirilen donatıların hem eğilme hem de kesme kuvveti dayanımına katkıları daha gerçekçi olarak incelenmiştir.

Shing, P.B., Schuller, M., Hoskere, V.S., Carter, E. [10], artan-azalan/yön değiştiren yatay yükler etkisi altındaki donatılı yığma duvarların eğilme ve kayma davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışma 1.83mx1.83m kenar ölçülerindeki yığma duvar panellerinin düzlemi içindeki düşey ve yatay yükler altında denenmesi üzerine kurulmuştur. Bu tür duvarların eğilme dayanımlarının doğruya oldukça yakın biçimde hesaplanabilmesine karşın, kayma dayanımları ve kayma göçme modlarının tahmini biraz daha karmaşıktır. Deneysel olarak incelenen kare duvar panelleri için kayma dayanımına, önce diyagonal basınç çubuğu mekanizması ve daha sonra ara yüzeydeki kayma ve de yatay donatının akması ile ulaşılmaktadır. Donatılı yığma duvarların kayma dayanımını güvenli tarafta veren basit bir formül önerilmiştir. Genelde kayma göçme modunda kullanılmaz duruma gelen duvar panellerinin

göçmesi eğilmede göçenlerden daha kırılgan bir davranış göstermiştir. Ayrıca deneysel veriler esas alınarak artan-azalan yükler altında duvarın kayma dayanımındaki azalmayı simgeleyen ampirik bir bağıntı da sunulmuştur.

Sucuoğlu, H., Mcniven, H.D. [11], donatılı yığma elemanların deprem yükleri altında kesme kuvveti taşıma güçlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, özellikle yığma duvarın pencere ya da kapı boşlukları arasında kalan elemanların davranışı araştırılmış, deprem etkisinde bu elemanlarda oluşabilecek kayma göçme modları verilmiştir. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci olarak benzetilmiş deprem etkilerini simgeleyen artan-azalan yatay yükler altında boşluklar arasındaki bu tür duvar elemanlarının davranışı deneysel olarak verilmiştir. Duvardaki yatay donatının göçme moduna etkisi araştırılmıştır. Yönetmeliklerde varolan bağıntıların geçerlilik sınırları üzerinde durulmuştur.

Katsube, N. [25]'de, kompozitlerde etkin elastik modülün tahmin edilmesi kapsamlı olarak incelenmiştir. Hesaplar lineer elastik şekil değiştirme durumu altında yürütülmüştür. Bir kompozitin etkin elastik modülünün bilinmesi durumunda benzer özelliklerdeki diğer kompozitlerin etkin elastik modüllerinin hesaplanması olanaklı olmaktadır.

Salmon, D.C., Einea, A. [26]'de, yarı kompozit sandviç panellerin tabakalar arasındaki ısı değişimleri nedeniyle oluşan yerdeğiştirmelerin hesabı için bir model önerilmiş ve sonlu eleman yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yerdeğiştirmelerin hesabı için bağıntılar geliştirilmiştir. Analizlerin sonucunda önerilen modelin duvar panellerinin ısı etkisi nedeniyle eğilmesini yeterli yaklaşıklıkta verdiği gösterilmiştir. Elde edilen bağıntılar uzun panellerin ısı etkisi nedeniyle eğilme miktarının kayma bağlantılarının rijitliğine bağlı olmadığını göstermiştir. Sonuç olarak uzun kompozit panellerde ısı etkisi ile oluşan şekil değiştirmenin panelin kompozit ya da yarı kompozit olmasından etkilenmediğini göstermiştir.

Çelik, O.C. [28], gövdesi boşluklu çelik I kirişlerin plastik hesabında kullanılabilecek iki yöntem önermiştir. Bu tür kirişlerin elastik ya da plastik yöntemle incelenebilmesi için öncelikle gövde boşluklarının bulunduğu kesitlerde kesme kuvvetinin başlıklara dağılımı problemi incelenmiş, en genel durum olan dışmerkez gövde boşluklu çelik I kirişlerde uygulanabilecek bir yöntem de verilmiştir. Bu çalışmada problem,

başlıkların kesit şekline bağlı kayma şekil değiştirmesi katsayısının ( $k_s$ ) hesaplanmasına indirgenmektedir. Analitik olarak elde edilen sonuçlar konuya yönelik literatürdeki diğer sonuçlarla ve sayısal olarak da sonlu eleman yöntemi (SEY) ile doğrusal elastik koşullarda elde edilenler ile karşılaştırılmış, sonuçların gerçeğe daha yakın, oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışmada önerilen yöntemler ile düzlemleri içinde yüklü büyük boşluklar içeren betonarme perde, döşeme ve tuğla duvar gibi yapı elemanlarında da benzer şekilde davranışın incelenebileceği, böylece iç kuvvet dağılımının belirlenebileceği vurgulanmaktadır.

Barsotti, R., Ligaro, S. [32], Yığma yapıların sismik kuvvetler etkisi altındaki davranışını yük artımı yöntemi ile incelemişlerdir. Yazarlar kayma çerçevesi davranışı doğrultusunda çatlamış kesitin yatay rijitliğe katkısı da düşünülerek bir model önermişlerdir. Örnek olarak alınan üç katlı bir binada, duvarlar küçük elemanlara ayrılarak yapının davranışı incelenmiştir.

Baxter, S.C., Horgan, C.O. [33], anizotropik sandviç yapıların düzlem dışı kayma şekil değiştirmelerini, uç etkilerini de dikkate alarak sunmuşlardır. Katı cisimler mekaniğinde şekil değiştirmelerin en basit sınıflarından birinin düzlem dışı kayma şekil değiştirmeleri olduğu vurgulanmış, öngörülen varsayımlar altında malzemenin homojen ve izotrop olmamasının sandviç yapıların hesabını önemli derecede etkilediği belirlenmiştir.

Bosiljkov, V., Kralj, B., Zarnic, R., Pande, G.N. [34]'de, boşluklu ve boşluksuz yığma duvarların modellenmesinde homojenleştirme yaklaşımı kullanılarak bir yöntem önerilmiştir. Geliştirilen bu modelde tek katmanlı yığma tuğla duvarlardaki değişik çatlak oluşumları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Magenes, G., Calvi, G.M. [36], yığma tuğla duvarların düzlemleri içindeki davranışını incelemişlerdir. Bu kapsamda donatısız tuğla duvarların dayanım, şekil değiştirme ve enerji yutma kapasiteleri mevcut binaların deprem bakımından değerlendirilmesi bağlamında değerlendirilmiştir. Tuğla duvarların taşıma güçlerinin tahminine yönelik basitleştirilmiş yaklaşımlar, deneysel ve sayısal verilerin ışığında tartışılmış ve performans değerlendirilmesi için bağıntılar sunulmuştur. Kesme kuvveti oranının kesme göçme mekanizmasındaki rolü ortaya konulmuş ve buna göre tuğla duvarların kayma dayanımı bağıntıları önerilmiştir. Yön değiştiren yükler altında şekil değiştirme ile ilgili en önemli parametreler vurgulanmış ve enerji yutma

kapasitesi dinamik modellerdeki olası kullanım amacıyla belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar kayma etkisi ile göçen duvarlar için yatay yerdeğiştirme kapasitesinin önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Bu sonuç dikkate alınarak yığma yapıların deprem etkileri bakımından değerlendirilmesinde alternatif bir yaklaşım sunulmuştur.

Negro, P., Colombo, A. [37]'de, çerçeve sistemlerde yapısal olmayan kargir panellerin neden olduğu taşıyıcı sistem düzensizlikleri incelenmiştir. Çalışma, dinamik yöntemlerle 1/1 ölçekli yapılan deney sonuçlarını ve deney sonrası hesapları içermektedir. Deneyler dört katlı ve Eurocode 8'e göre boyutlandırılmış bir çerçeve üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çerçevenin davranışı, değişik dolgu düzenleri için araştırılmıştır. Deney sonuçları, panellerin düzensiz dağılımının çerçevede kabul edilemeyecek düzeyde hasara neden olduğunu, buna ek olarak, dolgu elemanlarının düzensiz dağılımının da çerçevenin davranışını düzensizliğe götürebileceğini göstermiştir. Global modeller yardımıyla böylesi yapıların davranışının tahmin edilmesinin yolları ortaya konulmuştur. Bu tür yapıların davranışının güvenli bir şekilde tahmin edilmesini sağlayabilecek global modellerin doğruluğunun artırılması için, deneysel ve sayısal sonuçlar esas alınarak, yol gösterilmiştir.

Salmon, D.C., Einea, A., Tadros, M.K., Culp, T.D. [38], prekast sandviç panellerin davranışını incelemişlerdir. Panelin iç ve dış yüzeyindeki betonarme tabakalar arasında kesme kuvvetini aktarmak amacıyla FRP (Fiber Reinforced Plastic) warren kafes kiriş tipindeki elemanlar yerleştirmişlerdir. Burada FRP elemanların kullanılmasıyla panelin ısı yalıtımı performansı çelik ya da betonarme kayma elemanlarının bulunduğu panellere göre daha da artmıştır. Dört adet deney elemanı düşey konumda denenmiş olup bu numunelerde kayma elemanı olarak ikisinde FRP kafes kiriş, diğer iki numunede ise çelik kafes kiriş seçilmiştir. Panellerin yük-deplasman ve kayma elemanlarındaki yük-gerilme bağıntıları elde edilmiştir. Beklenildiği gibi önerilen yeni kayma elemanının bulunduğu panelin davranışı kompozit panel davranışı gibidir. Bu tür panellerin incelenmesinde yeterli kayma elemanı varsa ve paneller gereğinden fazla donatılmamışsa kompozit panel hesaplarında kullanılan yöntemlerin uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Çelik, O.C., Çılı, F., Özgen, K. [41]'de, betonarme iskelet türü yapılarda konsolların taşıyıcı sistemin davranışına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla taşıyıcı sistemi düzenli ve düzenli olmayan konsollu binalar için mevcut dünya deprem yönetmelikleri

taranmış, konsollu yapılarda hesap ilkeleri tartışılmıştır. Konu, daha da özele indirgenerek Türkiye’de büyük şehirlerde sıkça kullanılan konsol ucunda kolonlu binalara getirilmiş, bu tür yapıların tasarım ve uygulama sorunları üzerinde durulmuştur. Konsol ucunda kolonlu binalarda ve diğer açıklığı fazla sistemlerde depremin düşey ivme bileşeninin önemi vurgulanmış, 1940 El Centro ve 1992 Erzincan depremleri için değişik sönüm oranlarını içeren düşey ivme spektrumları verilmiştir.

Mourtaja, W., Yüksel, E., İlki, A., Karadoğan, F. [43], püskürtme betonlu hafif duvar elemanlarının üç boyutlu davranışını incelemişlerdir. Aralarına polistren yerleştirilen hasır elemanlar kafes kiriş oluşturacak şekilde diyagonallerle birbirlerine bağlanmış, püskürtme beton ile hasır donatı kaplanmıştır. Yapılan deneysel çalışma ile panellerin normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti taşıma kapasiteleri araştırılmıştır.

Altenbach, H. [47]’da, sandviç ve tabakalı plakalar için enine kayma rijitliği başka bir yolla incelenmiştir. İki boyutlu kayma şekil değiştirmeli tabakalı plak kuramları eşdeğer tek tabakalı kuramlar olarak sınıflandırılmıştır. Bu basitleştirmenin, diğer kesin yöntemlere göre hesaplama zamanı bakımından üstünlükleri tartışılmıştır. Herhangi bir eşdeğer tek tabakalı kuram esaslı hesabın etkinliği elemanın etkin rijitliğinin saptanmasına doğrudan bağlıdır. Pek çok teori eğilme, çekme/basınç, düzlem içi kesme ve burulma için özdeş rijitlikler sunmaktadır. Yaklaşımlar arasındaki farklılıklar esasta enine kayma rijitliğindedir. Bu çalışmada önerilen enine kayma rijitliğinin belirlenmesi yöntemi, Sturm-Liouville probleminin çözümüne bağlı olan bağıntılara götürmektedir. Özel durumlar için hesaplanan rijitlik diğer yazarların hesapladıklarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada sunulan yaklaşım, yalnızca tabakalı plakların değil aynı zamanda sandviç plakların incelenmesinde de kullanılabilir.

Çelik, O.C., Çılı, F., Özgen, K. [48], 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde binalarda oluşan hasar biçimleri ve nedenleri üzerinde durmuşlardır. Bu bağlamda depremin karakteristikleri değerlendirilmiş, malzeme kalitesi, taşıyıcı sistemi düzensiz yapılar, taşıyıcı sistemi düzenli yapılar, donatı düzenlemesi, kısa kolon, rijitlik yetersizliği, kısa kiriş, yumuşak/zayıf kat ve bölgesel zemin koşulları gibi yapı hasarında öncelikli nedenler ayrıntılı olarak açıklanmış, bu tür sorunlarla karşılaşılmasında önerilerde bulunulmuştur.

Çelik, O.C., Özgen, K. [49], güçlendirilmemiş dışmerkez boşluklu çelik I kirişlerin plastik hesabında kullanılabilecek bir yöntem önermişlerdir. Bu tür kirişlerde Vierendeel etkisi olarak da bilinen sekonder eğilme momentlerinin taşıma gücü üzerine etkisi araştırılmış, boşluk bölgesinde kesme kuvveti taşıma gücünü veren bağıntılar geliştirilmiştir. Boşluk kesitlerindeki iç kuvvetlerin hesabı boşluk geometrisine, boşluğun altındaki ve üstündeki T enkesitli elemanların geometrisine bağlı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, boşluk boyunca kesme kuvvetinin sabit olduğu varsayılmış, dağıtımına esas olacak kesme kuvveti olarak boşluğun merkezinde hesaplanan değer dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçların deneysel olarak elde edilenlerle güvenli tarafta kalacak şekilde %5~10 fark ettiği belirtilmiştir.

Polyakov, V. [50], sandviç ortotropik panellerin tekil yükler altında eğilmesinde gerilme yığılmaları problemini incelemiştir. Çalışmada; bu tür yerel etkilerin sandviç panellerde incelenmesi amacıyla analitik bağıntılar sunulmuştur. Ayrıca, üç tabakalı panelin eğilme hesabında kullanılabilecek ayrık tabakalı bir model önerilmiştir.

Aka, İ., Çılı, F., Çelik, O.C. [51], depreme dayanıklı bina üretiminin tasarım ve yapım aşamasında sıkça karşılaşılan sorunları çözüm önerileriyle birlikte ele almışlardır. Binanın deprem güvenliğinin başlangıç noktasının mimari avan proje olduğu ve diğer meslek gruplarından olanların değişik oranlardaki katkılarıyla projenin belirginleştiği vurgulanmış, taşıyıcı sistem malzemesinin önyargılı olarak seçiminde karşılaşılabilecek olumsuzluklar açıklanmıştır. Başta taşıyıcı sistem düzensizliğinin ve yapı ile ilgili diğer olumsuzlukların deprem davranışı üzerine etkisi değerlendirilmiş, Türkiye’de meydana gelen son depremlerde gözlenen hasar biçimleri ve nedenleri tartışılmıştır.

Bardella, L., Genna, F. [52]’de, üç boyutlu sandviç-kumaş panellerin doldurulması ile elde edilen sandviç kesitlerin, elastik kurama göre tasarımı, ağırlığının minimum yapılması amacı için incelenmiştir. Bu bağlamda basit ancak kayma rijitliğinin hesabı için uygun bir ilişki, eğilme rijitliği için verilene benzer şekilde geliştirilmiştir. Yapılan sayısal hesaplar ve deneylerden elde edilen sonuçlar iyi bir yaklaşıklık göstermektedir.

### 1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada; endüstrileşmiş yapım sistemleri ile birlikte bilinen geleneksel sistemler incelenmiş, taşıyıcı panellerden oluşan yapıların yatay deprem yüklerine göre hesabında kullanılabilecek alternatif bir yöntem geliştirilmiştir. Bu kapsamda ağırlıklı olarak sırasıyla;

- Geleneksel yapım sistemlerine alternatif bir endüstrileşmiş yapım sistemi tanıtılmış,
- Bu sistemin düzlemi içindeki ve düzlemine dik yükler altındaki davranışı mevcut verilerle değerlendirilmiş, sistemin yatay yüklere göre hesabında, panel elemanların düzlemi içindeki rijitliklerinin hesaplanmasında bu elemanların etkili genişliklerinin kayma şekil değiştirme katsayılarının değişimine etkisi incelenmiş, üç tabakalı kompozit yapı sisteminin yatay yüklere göre hesabında kullanılabilecek bir yöntem geliştirilerek az katlı bina örneklerine uygulanmıştır.

## 2. ÜÇ TABAKALI KOMPOZİT PANEL SİSTEM

Son yıllarda teknolojik olarak gelişmiş ülkelerden teknoloji transferi yoluyla ülkemizde uygulama alanı bulan bazı yeni yapım sistemleri kullanılmaktadır. Bu tür yapıların geleneksel malzemelerle inşa edilen yapılara göre bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu bölümde bu tür sistemlerden üç tabakalı kompozit panel sistemi incelenerek, taşıyıcı sistem bileşenleri hakkında özet bilgi verilmiştir.

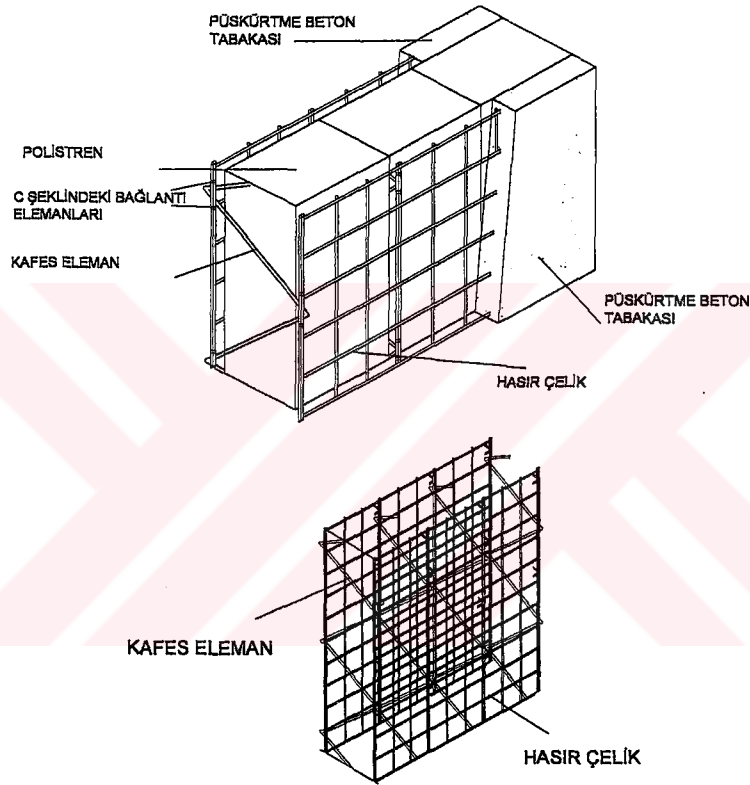
### 2.1. Sistemin Tanımı

Bu çalışmaya konu olan üç tabakalı kompozit yapı sistemi; yüksek bir tesis maliyeti gerektirmeyen, atölyede polistren ve betonarme donatısı önceden otomatik cihazlarda hazırlanan, bir “endüstriyel yapım sistemi” dir. Sistemin atölyede hazırlanan ana elemanları; polistren ve yüksek dayanımlı galvanizli betonarme çeliği, şantiyede ise eleman yüzeyine püskürtülen betondur. Uygulamada; betonarme donatısı ve polistren elemanlar atölyede, hazırlanan bir projeye göre üretilmekte, üretim sonucunda inşa edilen binanın taşıyıcı ya da taşıyıcı olmayan duvar, döşeme, çatı ve merdiven elemanları elde edilmektedir.

Üç tabakalı kompozit yapı sistemi gerçekte, kalınlığı daha az geleneksel betonarme tünel kalıp sisteminin bir benzeri olup, yalıtımla ilgili sorunlar başlangıçta üretime dahil edilerek çözümlenmiştir. Ancak, toplam beton kalınlığının tünel kalıp sistemler için verilen değerlerden daha az olması nedeniyle sistem betonarme yapı olarak değil, yığma/kargir yapı olarak değerlendirilebilir. Üç tabakalı kompozit panel elemanlar, homojen bir yapıya sahip olmalarından dolayı düzlemi içindeki kuvvetler etkisinde levha teorisine uygun bir davranış gösterir, bu nedenle kayma şekil değiştirmeleri esasına göre değerlendirilebilir. Düzlemlerine dik yükler etkisi altında bu tür elemanların örneğin döşeme elemanları olarak kullanılmaları durumunda, kafes elemanların rijitliğinden faydalanılabileceği gibi, belirli aralıklarla nervür giriş düzenlemesinin de yapılması mümkündür.

### 2.1.1. Sistem Bileşenleri

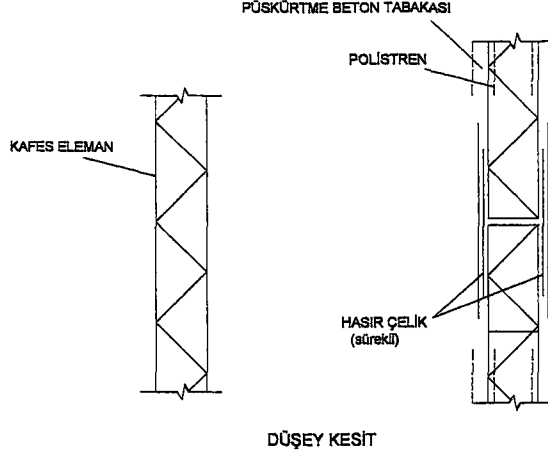
Üç tabakalı kompozit yapı sistemini oluşturan elemanlar polistren, betonarme betonu ve galvanizli yüksek mukavemetli betonarme çeliğidir. Panel elemanın her iki yüzünde hasır çelik bulunmakta olup bunlar arasında belirli aralıklarla, kafes kirişlerde olduğu gibi, çubuk elemanlar ile bağlantılar düzenlenmektedir. Bu elemanlar; panellerin düzlem dışı şekil değiştirmelerinde, iki yüzdeki taşıyıcı panellerin birlikte çalışmasının sağlanması açısından önem taşımaktadır (Şekil 2.1).



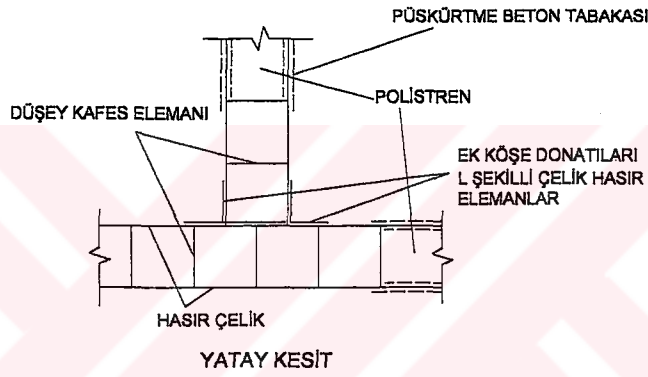
Şekil 2.1. Döşeme/duvar paneli

### 2.1.2. Birleşim Detayları

Panellerin birbirlerine eklenmeleri için ankraj donatıları kullanılmaktadır (Şekil 2.2). Birbirine dik duvarların bağlantısında ilave köşe hasırları duvar boyunca yerleştirilmekte, duvar panellerinin birbirine dik iç düşey birleşimlerinde ise, ek köşe donatıları olarak L şekilli hasır elemanlar kullanılmaktadır (Şekil 2.3). Bu şekilde oluşturulan birleşim, birbirine dik olarak birleşen duvarların yatay yükler etkisindeki davranışını iyileştirmektedir. Bununla birlikte duvar birleşimlerinde meydana gelebilecek sıva çatlakları da oldukça azalmaktadır.

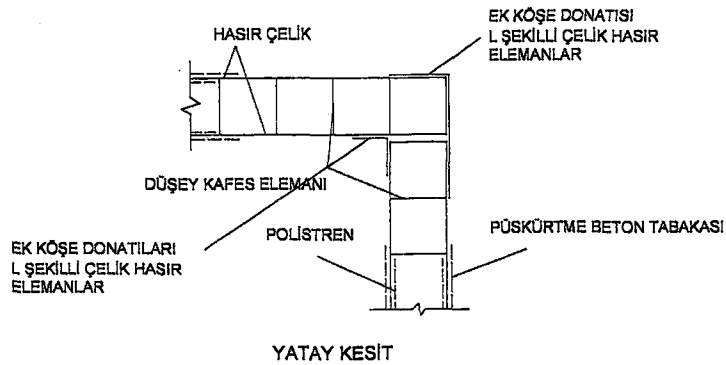


Şekil 2.2. Fabrikada üretilen kafes eleman ve duvar paneli yatay birleşimi



Şekil 2.3. Duvar panellerinin birbirine dik düşey birleşimi (iç)

Duvar panellerinin birbirine dik dış düşey birleşimlerinde; içte ve dışta ek köşe donatısı olarak L şekilli hasır elemanlardan yararlanılmaktadır (Şekil 2.4).

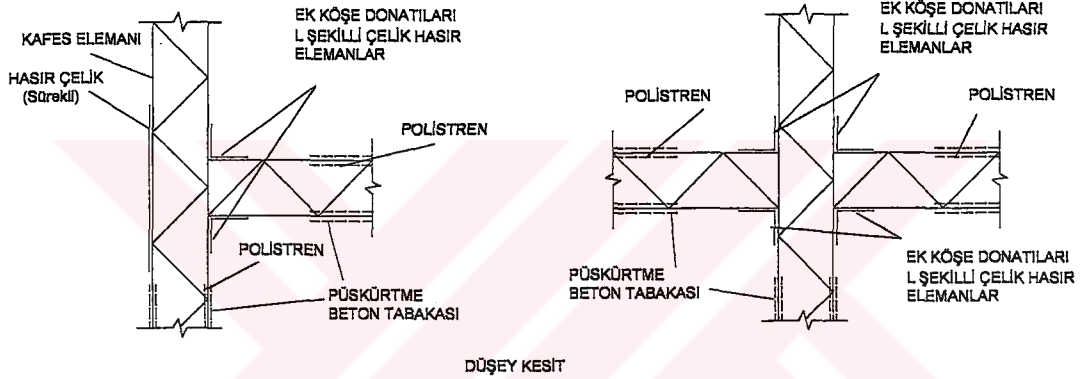


Şekil 2.4. Duvar panellerinin birbirine dik düşey birleşimi (dış)

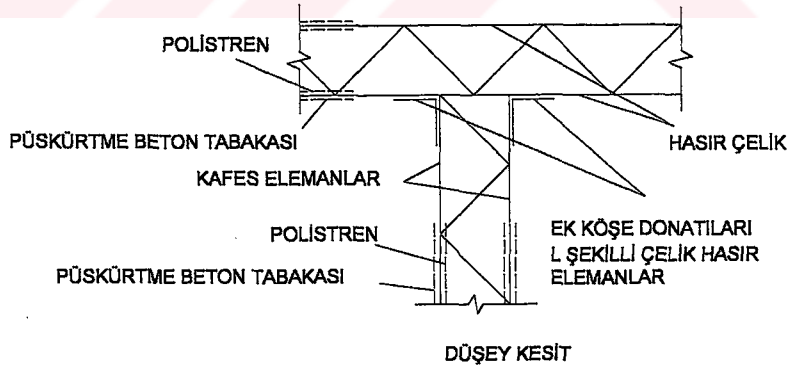
Duvarın kat döşemesine bağlantısında bağlantı boyunca ilave köşe donatıları kullanılmakta, köşe donatıları panelin hasır çelik donatısına belirli aralıklarla

bağlanmaktadır (Şekil 2.5). Duvarın çatıya bağlantısında benzer şekilde bağlantı boyunca sürekli olan ilave köşe donatıları düzenlenmektedir (Şekil 2.6).

Diğer bir birleşim detayı da, duvarlar üzerinde açılan dikdörtgen boşlukların köşelerinde ortaya çıkacak ilave etkileri karşılamak amacıyla, köşe donatıları ve dikdörtgenin kenarları boyunca U biçiminde ilave kenar donatıları düzenlenmesidir (Şekil 2.7). U biçimindeki kenar donatıları boşluğun içinden uygulanmaktadır. Köşe donatıları ise boşluğun köşelerinin her iki yüzüne hasır çelik donatı olarak yerleştirilmektedir. Duvar panellerinin betonarme temele bağlantısında, panellerdeki çelik hasır donatı kullanılmaktadır (Şekil 2.8).



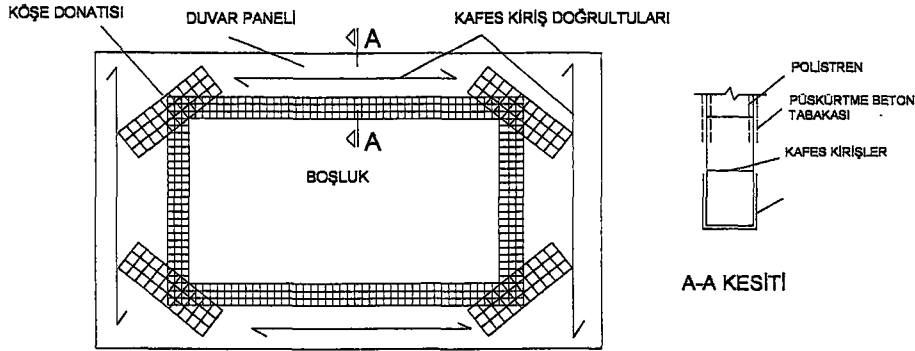
Şekil 2.5. Duvar-döşeme panellerinin birleşimi



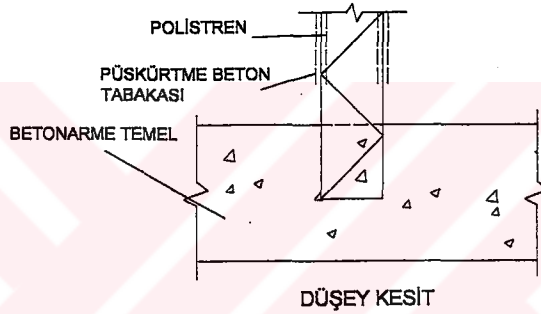
Şekil 2.6. Duvar-çatı panellerinin birleşimi

Döşeme elemanları polistren eleman içinde oluşturulan nervür kirişlerle sağlanmaktadır; bu döşeme sistemi tek doğrultuda çalışan dişli döşeme biçimindedir. 3 tabakalı kompozit yapı sisteminde dolgu blokları yerine, daha hafif olan ve biçimlendirilmiş polistren elemanlar bulunmaktadır. Polistren üstünde ve altında yine hasır çelik bulunmaktadır. Döşeme sistemindeki betonarme plak kalınlığı minimum 40 mm' dir. Dişlerde/nervürlerde kullanılan eğilme donatısı üçgen biçiminde

etiriyelerle birbirine bağlanmış donatılardan oluşmakta, bu donatılar piyasadan hazır olarak alınabilmektedir. Uygulamada, döşeme elemanları yerde ya da binadaki döşeme kotunda yapılabilir.



Şekil 2.7. Duvar içinde boşluk halinde boşluk kenarı donatıları



Şekil 2.8. Duvar paneli ile temel birleşimi

### 2.1.3. Üç Tabakalı Kompozit Panel Sistemin Yeni Deprem Yönetmeliği Esaslarına Göre Değerlendirilmesi

Üç tabakalı kompozit panel yapı sistemi Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik' kapsamında 5.2.2. de tanımlanan betonarme (yerinde dökülmüş ve öngerilmeli veya öngerilmemiş prefabrike) binalar grubuna sokulabilir. Diğer taraftan, aynı yönetmelikte 5.2.5. maddesinde "her türlü kapsam dışı yapılara uygulanacak esaslar, kendi özel yönetmelikleri yapıncaya dek, yapımları denetleyen Bakanlıklar tarafından çağdaş uluslararası standartlar gözönünde tutularak özel olarak saptanacak ve projeleri bu esaslara göre düzenlenecektir" ifadesi yer almaktadır. Deprem sorunu bulunan dünya ülkelerinde kullanılan söz konusu sistemin "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" yanında diğer ülke yönetmelikleri ve Türkiye'de ve dünyada geçerli olan mühendislik kuralları çerçevesinde değerlendirilmesi düşünülebilir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkelerinden biri, hafif ve taşıyıcı sistemi düzenli yapı üretmektir. Bu ilkeler, binalar hangi yapı/yapım sistemi ve taşıyıcı sistem malzemesi ile inşa edilirse edilsin geçerlidir. Türkiye’de, son depremler sonucunda artan kalıcı konut açığının giderilmesi için, yeni yapılaşma sürecinde önerilecek yapı/yapım sistemlerinde bu temel esaslardan sapmamak uygundur. Bu bağlamda, Türkiye’deki inşaat sektöründe pay alması düşünülen yeni bir sistemde aranması gereken temel özellikler; hafiflik ve düzenli taşıyıcı sistem olmalıdır. Üç tabakalı kompozit yapı sistemi diğer koşulların yanında, bu temel koşulları da yerine getirmektedir. Sistemin başlıca özelliği hafifliğidir. Ancak bu olumlu özelliği bulunan sistemle inşa edilecek yeni binalarda oluşturulacak taşıyıcı sistemlerin mümkün olduğunca düzenli olması, sistemin başarısını arttıracaktır.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’te, binanın kullanım amacı ya da türü için verilen bina önem katsayısı ile spektrum katsayısı, diğer yapı sistemleri gibi üç tabakalı kompozit yapı sistemi için de kullanılabilir.

Yönetmeliğin en önemli noktalarından biri taşıyıcı sistem davranış katsayısının seçimidir. Üç tabakalı kompozit yapı sisteminde yönetmelikteki Tablo 6.5’de yerinde dökme betonarme binalar için “deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar” grubu için verilen değerlerden süneklik düzeyi normal sistemlerde  $R=4$ , süneklik düzeyi yüksek sistemlerde  $R=6$  değerleri alınabilmektedir. Üç tabakalı kompozit yapı sistemi için taşıyıcı sistem davranış katsayısı( $R$ ), donatı düzenlemesine bağlı olarak 3~4 arasında seçilebilir.

Bu sistem ile yapılacak binalarda yönetmelikte 6.7’de verilen Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi, 6.8’de verilen Mod Birleştirme Yöntemi ve 6.9’da verilen Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri’ den biri kullanılabilir. Bu hesap yöntemlerinin yönetmelikte belirtilen kullanılma sınırları, sözkonusu sistem için de geçerli sayılabilir. Göreli kat yerdeğiştirmelerinin/ötelemelerinin sınırlandırılması koşulları, üç tabakalı kompozit yapı sisteminin kolaylıkla sağlayabileceği kurallardır. İkinci mertebe hesabı ve binalar arasındaki derzlerle ilgili olarak yönetmelikte verilen genel kurallar bu tür yapılar için de geçerli alınabilir. Bu sistemin, genelde, yatay rijitliği yüksek bir sistem olması nedeniyle, binalar arası gerekli derz boşluğunun, yönetmelikte verilen minimum değerler civarında alınabileceği düşünülmektedir.

#### **2.1.4. Üç Tabakalı Kompozit Panel Sistemin Geleneksel Betonarme Sistemlerle Karşılaştırılması**

Bu yapı sistemi, Türkiye’ de halen uygulanmakta olan geleneksel betonarme yapı sistemleriyle karşılaştırıldığında aşağıda belirtilen özellikleri ortaya çıkmaktadır. Ancak, hangi yapı/yapım sistemi ile inşa edilirse edilsin, depreme dayanıklı yapı üretebilmenin önkoşulunun mühendislik kurallarına uyulması olduğu unutulmamalıdır.

##### **2.1.4.1. Üstünlükleri ve Zayıf Yönleri**

Elemanın üstünlükleri;

- a) Hafif bina üretimi (özellikle döşeme sistemi nedeniyle),
- b) Depreme dayanıklılık, (yeterli/gerekli yanal rijitlik dayanım ve hafiflik nedeniyle),
- c) Yüksek sıcaklık yalıtımı,
- d) Yüksek yangın güvenliği,
- e) Düşük nakliye maliyeti,
- f) Ekonomi,
- g) Yapım süresinin kısalığı, üretim kolaylığı, az sayıda vasıflı işçi gereksinimi,
- h) Bölme duvarlarında sıva çatlağı sorununun ortadan kalkması, yapının ayrıca sıva gerektirmemesi,
- i) Betonun ve donatının dış etkilere karşı korunması, korozyon riskinin düşüklüğü/ tamamen ortadan kalkması,
- j) Kalıp probleminin en aza indirilmesi,
- k) Sistem elemanlarının atölyede hazırlanmasından dolayı kalite denetiminin sağlanması,
- l) Tesisat elemanlarının kolayca montajı,
- m) Üretim tesislerinin basitliği,
- n) Birçok deprem ülkesinde başarıyla kullanılması,

- o) Öngörülen beton kalitesinin C25 olması nedeniyle depremlerde betondan kaynaklanabilecek hasarın en aza indirilmiş olması,
- p) Malzemenin depolanmasındaki kolaylık,
- q) Polistren levhaların betonu koruması nedeniyle her türlü iklim koşullarında inşa edilebilir oluşu,
- r) Ahşap kullanımının çok az olması nedeniyle doğal kaynakların korunuyor olması,
- s) Temel sistemi olarak sürekli temel kullanıldığından, temel düzeyinde daha uygun yük dağılımının sağlanması

şeklinde özetlenebilir. Üç tabakalı kompozit panelli sistemlerin üstünlükleri yanında bazı zayıf taraflarını da belirtmek gerekirse;

- a) Çok katlı yapılarda kullanım alanının olmaması,
  - b) Bu tür yapıların inşaatı konusunda deneyimli elemanların azlığı,
  - c) Fazla miktarda beton kaybı,
  - d) Yönetmeliklerde bu tür yapılarla ilgili kuralların bulunmaması, mevcut kuralların özel araştırma raporlarına dayalı olması
- sayılabilir

#### **2.1.4.2. Üç Tabakalı Kompozit Panel Sisteminin Maliyet Karşılaştırması**

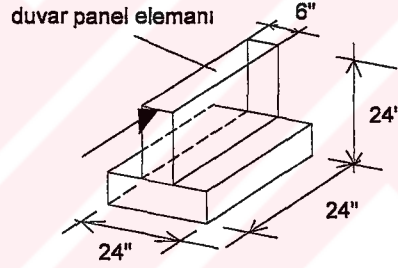
Bu yapı sistemi ile inşa edilen binalar, uygun bir tasarım ile, geleneksel yöntemle inşa edilen çerçeve türü betonarme binalara oranla daha ekonomik olmakta, uygulamacılardan edinilen bilgilere göre inşaat süresi 1/3, çalışan sayısı ise 1/4'e ineabilmektedir.

#### **2.2. Üç Tabakalı Kompozit Panel Sistemin Düzlemi İçinde Etkiyen Yükler Altındaki Davranışı**

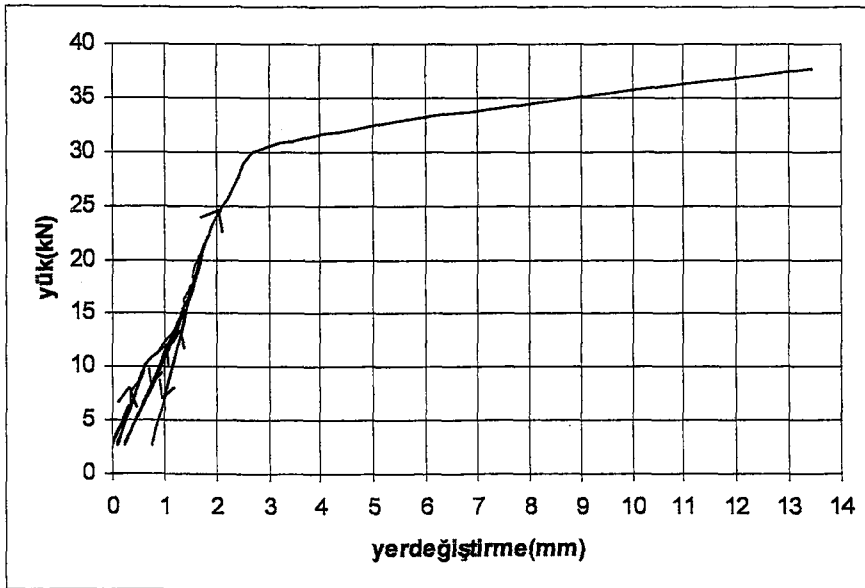
Üç tabakalı kompozit panel sistemin düzlemi içinde etkiyen yükler altındaki davranışının incelenmesi amacıyla yapılan deneylerin sonuçları [19]'da verilmiştir.

### 2.3. Deney Düzenegi [19]

Deney elemanları 24" x 24" (61cm x 61cm) boyutlarında taban plakasına mesnetlenmiş 24" yüksekliğinde ve 24" boyunda 6" (15cm) kalınlığındadır (Şekil 2.9). Panel elemanların her iki yüzeyindeki hasır çelik elemanları birbirine bağlamak amacıyla 6" (15cm) aralıklı olarak yerleştirilen warren tipi kafes elemanlar 0.136" (3.5mm) çapındaki çelik tellerle oluşturulmuştur. Panel elemanların her iki yüzünde bulunan hasır çelik ise 0.081" (2mm) çapında ve 2" (5cm) aralığında düzenlenmiştir. Kafes sistemde ve çelik hasırda kullanılan çelik kaliteleri UBC 24-15 ve 26-6 bölümlerindeki koşulları sağlamaktadır. Püskürtme betonunun 28 günlük basınç dayanımı 4900 psi (33.76 Mpa)'dır. Numune olarak oluşturulan panel elemanlara artan yatay yük etkisi uygulanmış, panellerin tepe noktasındaki yerdeğiştirmeler ölçülmüştür [19]. Şekil 2.10'da [19]'daki veriler kullanılarak çizilen yük-yerdeğiştirme diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.9. Panel düzlemi doğrultusunda yükleme [19]

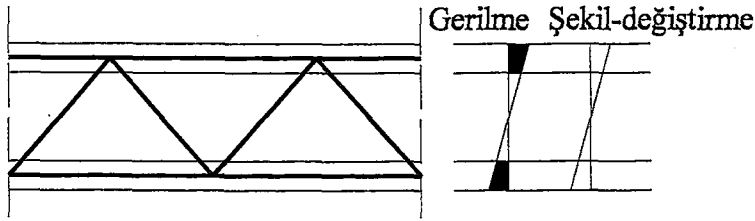


Şekil 2.10. Panel düzlemindeki yükleme durumunda yük-yerdeğiştirme eğrisi [19]

Tek yönlü yükleme etkisindeki panel elemanın düzlemi içindeki davranışı incelendiğinde yükün 30kN değerine kadar elastik şekil değiştirmeler etkisi altında panel elemanın üst noktasındaki yatay yerdeğiştirme 2.8mm olmakta, panel elemanı bu noktadan sonra plastik şekil değiştirmeler etkisi altında yük taşımaya devam etmektedir. Panel elemanın yaptığı toplam yerdeğiştirme 13.5mm'dir. Toplam yerdeğiştirmenin elastik yerdeğiştirmeye oranı olarak tanımlanan yerdeğiştirme sünekliği değeri olmaktadır. Donatılı yığma duvarların yatay yük etkisi altında yerdeğiştirme sünekliği değerinin ( $\mu=4-5$ ) arasında olduğu bazı kaynaklarda belirtilmektedir, [53]. Bu nedenle elde edilen yerdeğiştirme sünekliği değerinin  $\mu=4.8$  olması üç tabakalı kompozit panellerden oluşturulan duvar elemanları ile donatılı yığma duvarların yatay yük etkisindeki davranışının benzer olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, panel elemanların elastik ötesi davranışı göz önüne alınmayacaktır.

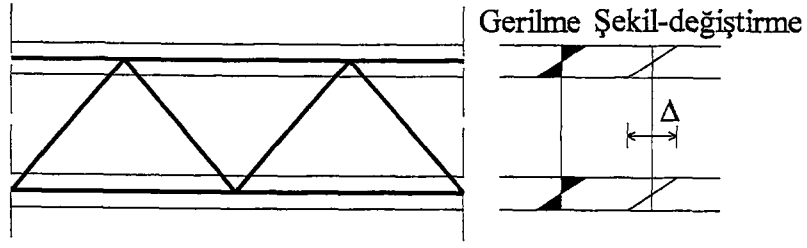
#### 2.4. Üç Tabakalı Kompozit Panel Sistemin Düzlemine Dik Yükler Altındaki Davranışı

Üç tabakalı kompozit sistemlerin düzlemlerine dik yükleri altındaki davranışını iki dış tabakayı birbirine bağlayan kayma elemanları belirlemektedir. Kayma elemanları kesme kuvvetini bir tabakadan diğerine aktarabiliyorsa panel kompozit davranış göstermektedir (Şekil 2.11). Aksi halde eleman davranışı kompozit olmaktan uzak kalmaktadır [38].



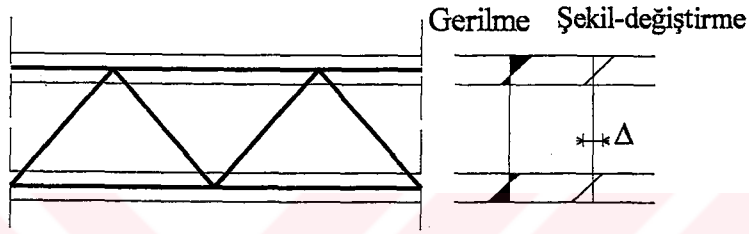
Şekil 2.11. Kompozit davranış [38]

Eğer bu kayma elemanları kesme kuvvetini bir tabakadan diğerine aktaramıyorsa panel kompozit olmayan davranış göstermektedir (Şekil 2.12) [38].



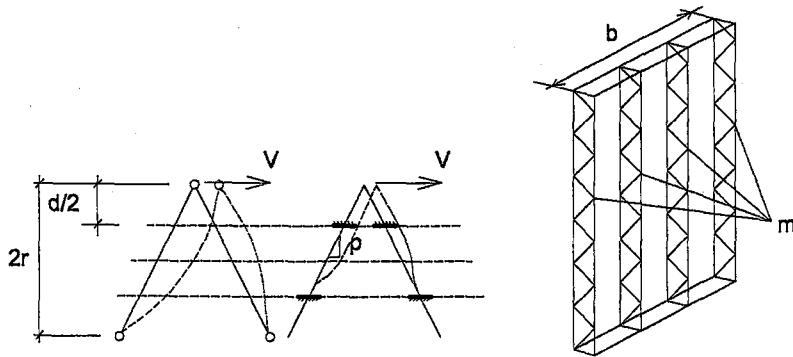
Şekil 2.12. Kompozit olmayan davranış [38]

Kayma elemanları kesme kuvvetinin bir kısmını bir tabakadan diğerine aktarıyorsa panel yarı kompozit bir davranış göstermektedir (Şekil 2.13) [38].



Şekil 2.13. Yarı kompozit davranış [38]

Şekillerde görülen tabakalar arası kayma şekil değiştirmesi  $\Delta$  yarı kompozit ve kompozit olmayan davranış gösteren panellerde ihmal edilmemelidir. Bu çalışmada göz önüne alınan panel elemanlarının kompozit davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Uygulama açısından eğer paneller bölme elemanı olarak kullanılmak istenirse, kompozit olmayan panel elemanlar, taşıyıcı eleman olarak kullanılmak istenirse kompozit paneller olarak davranacak biçimde tasarlanmalı ve inşa edilmelidir. Kompozit panellerin taşıyıcı tabakaları genellikle birbirine eşit kalınlıkta alınır.



Şekil 2.14. Kayma bağlantısı elemanları türleri [26]

Üç tabakalı kompozit panel elemanların kayma bağlantıları Şekil 2.14'de görüldüğü gibi mafsallı ya da ankastre olarak iki şekilde düzenlenebilir, [26]. Bağlantı

çubuklarının Şekil 2.14’de verilen yükleme biçimi, kayma kuvvetleri için sağladığı öteleme rijitliği, çubuk uçları için sağlanan koşullara göre, aşağıdaki gibi verilmiştir [26]:

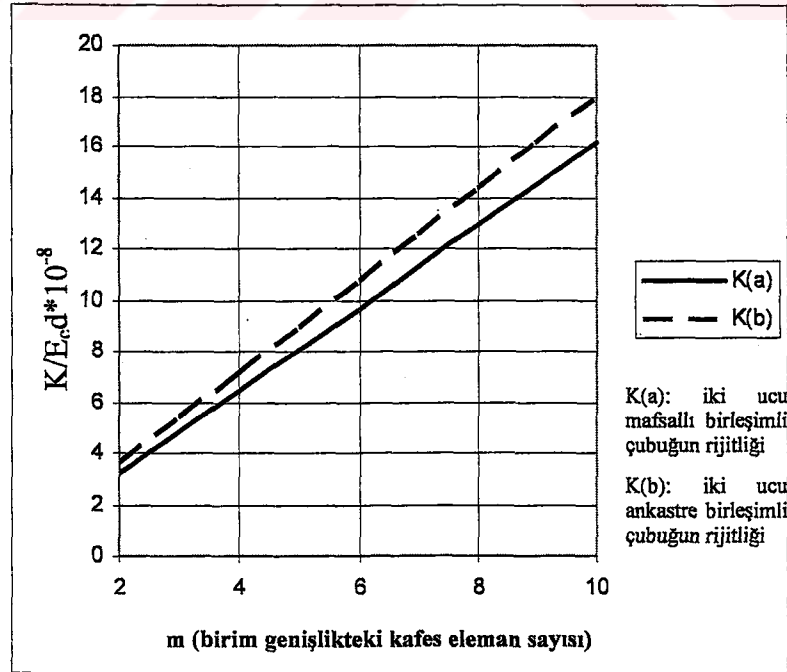
(a) Mafsallı Birleşim

$$K = \frac{A_c E_c p^2 m}{4r^2 b (1 + p^2)^{3/2}} \quad (2.1)$$

(b) Ankastre Birleşim

$$K = \frac{E_c p^2 m}{2rb(1 + p^2)^{5/2} (2r - d)^3} [(1 + p^2)(2r - d)^2 A_c + 12p^4 I_c] \quad (2.2)$$

Bu bağıntılarda m, paneldeki kafes elemanı sayısı, p diyagonal elemanların eğimi, 2r kafes elemanı konstrüksiyon yüksekliği (pratik olarak hasır çelik tabakaları arası mesafe), d dış tabakanın kalınlığı, b panel genişliği,  $E_c$ ,  $A_c$  ve  $I_c$  sırasıyla kafes elemanın elastisite modülü, kesit alanı ve kesit atalet momentidir. Buradaki bağıntılar lineer elastik davranış esas alınarak çıkarılmış olup bu bağıntıların panel elemanlara uygulanabilmesi panel elemanların çubuk modele yakınlığı nispetinde geçerli olabilecektir.



Şekil 2.15. Kayma bağlantısı tür ve sayısının rijitlikle ilişkisi

Şekil 2.15'deki rijitlik değerleri, düzlemine dik yükler etkisi altındaki üç tabakalı panel elemanlarda kayma bağlantısı türleri ve sayılarının panel rijitliğiyle ilişkileri, birim panel genişliği için  $E_c=203000$  Mpa,  $p=1$ ,  $A_c=9.35$  mm<sup>2</sup>,  $b=1000$  mm alınarak elde edilmiştir.



### 3. ÜÇ TABAKALI KOMPOZİT PANELLİ YAPILARIN YATAY YÜKLERE GÖRE HESABI İÇİN BİR YÖNTEM

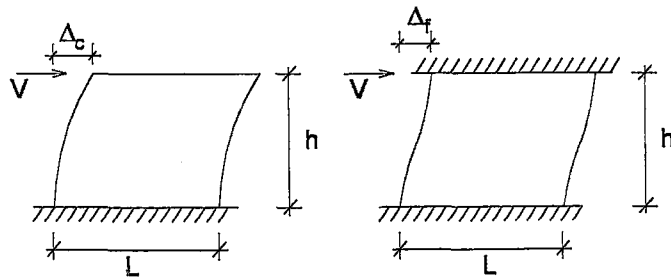
#### 3.1. Yatay Yük Etkisindeki Duvarların Yerdeğiştirme Bağıntısı

Herhangi bir duvarın yatay yük etkisindeki yerdeğiştirmesi, panellerin lineer elastik davranış bölgesinde, mesnetlenme durumuna bağlı olarak klasik çubuk mukavemeti formülleriyle (3.1 ve 3.2) hesaplanabilir: Bu bağıntılar

Şekil 3.1’de verilen duvar elemanında;

- $V$  : Duvardaki yatay kesme kuvveti,  
 $I$  : Duvar kesitinin etkin atalet momenti,  
 $A$  : Duvar kesitinin etkin alanı,  
 $h$  : Duvar yüksekliği,  
 $E$  : Duvar taşıyıcı tabaka malzemesinin (burada betonun) elastisite modülü,  
 $G$  : Kayma modülü,  
 $k_s$  : Kayma şekil değıştirmesi katsayısı

olmak üzere



Şekil 3.1. Duvar Elemanı

$$\Delta_c = \frac{Vh^3}{3EI} + \frac{k_s Vh}{AG} \quad (3.1)$$

$$\Delta_f = \frac{Vh^3}{12EI} + \frac{k_s Vh}{AG} \quad (3.2)$$

şeklindedir.

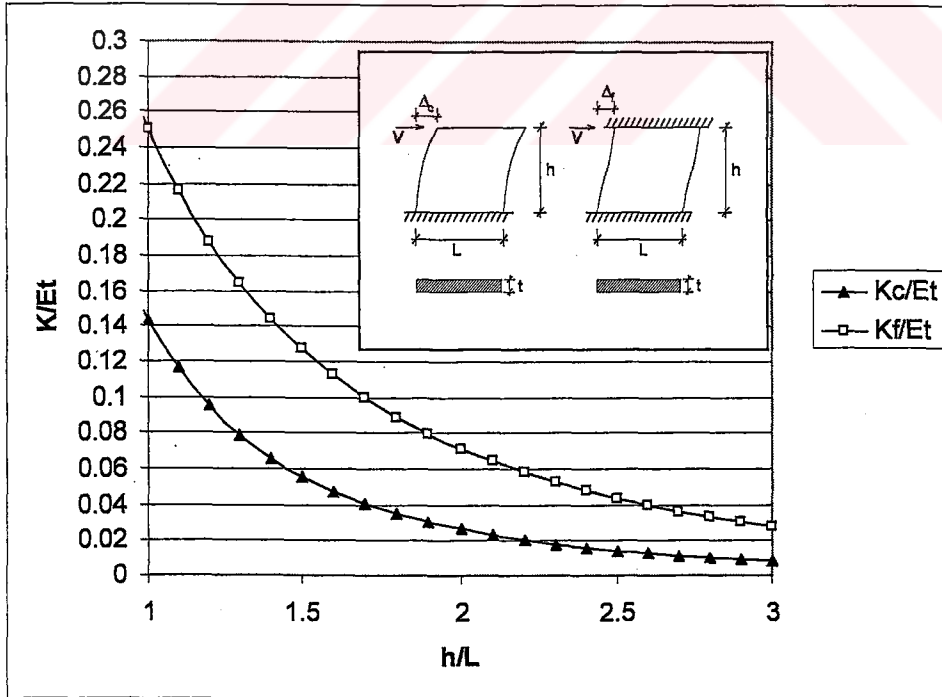
$k_s$  kesit şeklini, dolayısıyla, kayma şekil değiştirmesi katsayısı kesit içindeki kayma açısı değerlerinin farklı olmasından kaynaklanan bir düzeltme katsayısıdır. Literatürde bu katsayı için önerilen değerler, duvar kesiti dikdörtgen şeklinde ise  $k_s=1.2$ , tablalı bir kesit ise bazı kaynaklarda  $k_s=1.0$  ile, I kesitlerde (kesit alanı/gövde alanı) şeklinde verilmiştir [22].

Duvar elemanlarının rijitlikleri her iki mesnetlenme durumu için (3.3) ve (3.4) bağıntıları ile hesaplanabilir:

$$K_c = \frac{V}{\Delta_c} = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{k_s h}{AG}} \quad (3.3)$$

$$K_f = \frac{V}{\Delta_f} = \frac{1}{\frac{h^3}{12EI} + \frac{k_s h}{AG}} \quad (3.4)$$

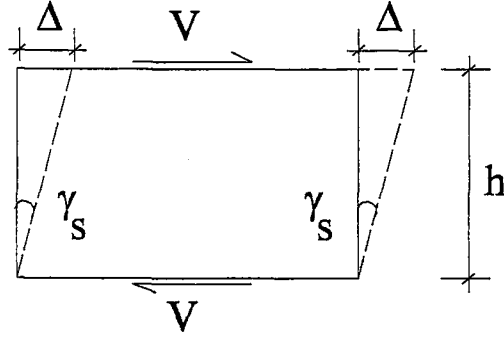
Duvar elemanının konsol ya da iki ucu ankastre ve Poisson oranının ( $\nu=0.3$ ) olması durumunda duvar rijitliği, duvarın genişlik/yükseklik oranına bağlı olarak Şekil 3.2.'deki gibi değişmektedir.



Şekil 3.2. Konsol ve iki ucu ankastre elemanlardaki rijitlik değişimi

### 3.2. T kesitlerde Kayma şekil değıştirmesi ( $k_s$ ) Katsayısının Hesabı

Bu bölümde, [36]' da açıklanan T kesitlerde kayma şekil değıştirmesi katsayısının hesabı kısaca özetlenecektir.



Şekil 3.3. Basit kaymada şekil değıştirme durumu

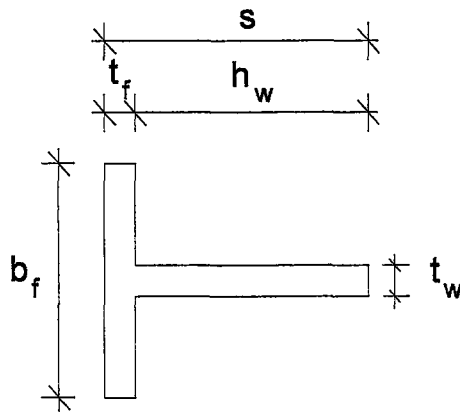
Malzemenin lineer elastik, yerdeğıştirmelerin de küçük olması koşuluyla Şekil 3.3' de görülen elemanda kayma şekil değıştirmesi

$$\Delta = \frac{\tau}{G} h \quad (3.5)$$

kayma şekil değıştirmesi açısı

$$\gamma_s = \frac{\tau}{G} = k_s \frac{V}{GA} \quad (3.6)$$

bağıntılarıyla hesaplanabilir. İncelenen elemanda  $V$  kesme kuvvetinin  $\Delta$  yerdeğıştirmesinde yaptığı iş, kesit üzerinde değışken olan kayma gerilmelerinin yaptığı işe eşitlenerek  $k_s$  katsayısı Şekil 3.4'deki T kesitin geometrik özelliklerinin bir fonksiyonu olarak (3.7) bağıntısı ile hesaplanabilir [36].



Şekil 3.4. T kesit

$$k_s = \frac{A}{I_x^2} \iint \frac{Q_x^2}{t^2} dx dy \quad (3.7)$$

Burada

$A$  : Tüm kesit alanı,

$I_x$  : Tüm kesitin kesme kuvvetine dik ve ağırlık merkezinden geçen eksene göre atalet momenti,

$Q_x$  : Kesiti oluşturan her bir dikdörtgen elemanın ağırlık merkezine göre statik momenti,

$t$  : Her bir elemanın ağırlık merkezinden geçen eksene paralel genişliği

dir. T kesitlerde  $k_i$ 'lerin hesabında ağırlık merkezinin gövde ve başlık içinde olması durumlarıyla karşılaşılmaktadır. Ağırlık merkezinin yerine göre eksenin altında ve üstünde kalan alan parçalarının kayma şekil değiştirmesine katkıları integrallerinin toplanmasıyla belirlenir. Bu nedenle her iki durum için de  $k_i$  değerleri ayrı ayrı hesaplanmalıdır:

$$k_s = \frac{A}{I_x^2} (k_1 + k_2 + k_3) \quad (3.8)$$

### 3.2.1. Ağırlık Merkezinin Gövde İçinde Olması Durumu

Şekil 3.5'de T şeklinde bir duvar enkesiti görülmektedir. Ağırlık merkezinin gövde içinde bulunması durumunda kayma şekil değiştirmesi katsayısı  $k_s$ 'i hesaplayabilmek için taralı alan ile gösterilen bölgelerde  $k_1, k_2, k_3$  katsayıları hesaplanmıştır.

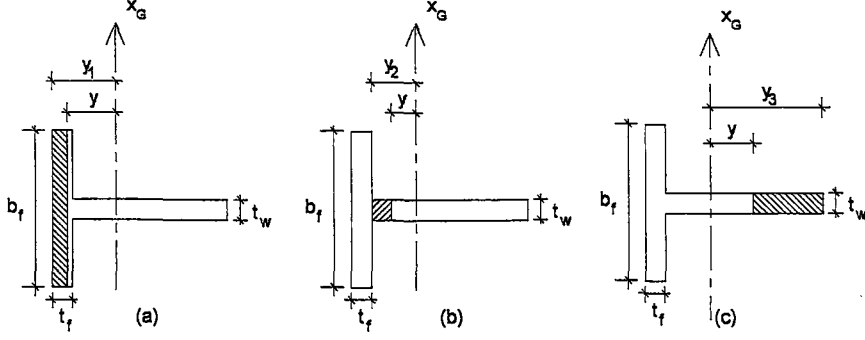
(a) Tabla kesiti için (3.7) in integral kısmı, tabla kesiti için integral uygulanarak,

$$k_1 = \frac{b_f}{4} \left[ \frac{8}{15} y_1^5 - y_1^4 y_2 + \frac{2}{3} y_1^2 y_2^3 - \frac{y_2^5}{5} \right] \quad (3.9)$$

bulunur.

(b) durumunda  $k_2$  için;  $C_1, C_2, C_3$  kesit geometrisine bağlı katsayılar olmak üzere

$$C_1 = b_f^2 t_f^2 y_2^2 + b_f^2 t_f^3 y_2 + b_f^2 \frac{t_f^4}{4} + b_f t_f t_w y_2^3 + \frac{b_f t_f^2 t_w}{2} y_2^2 + \frac{t_w^2}{4} y_2^4 \quad (3.10)$$



Şekil 3.5. Ağırlık merkezinin gövdede bulunması durumu

$$C_2 = b_f t_f t_w y_2 + \frac{t_w^2 y_2^2}{2} + \frac{b_f t_f^2 t_w}{2} \quad (3.11)$$

$$C_3 = \frac{t_w^2}{4} \quad (3.12)$$

$$k_2 = \frac{1}{t_w} \left[ C_1 y_2 - \frac{C_2}{3} y_2^3 + \frac{C_3}{5} y_2^5 \right] \quad (3.13)$$

elde edilir. (c) durumunda  $k_3$  için ise,

$$k_3 = \frac{2}{15} t_w y_3^5 \quad (3.14)$$

bağıntıları kullanılarak  $k_s$  değeri (3.8) ile hesaplanır [36].

### 3.2.2. Ağırlık Merkezinin Başlık İçinde Olması Durumu

Şekil 3.6'da verilen T şeklindeki duvar enkesitinde ağırlık merkezinin başlık içinde olması durumunda  $k_s$  kayma şekil değiştirme katsayısını hesaplayabilmek için taralı alan ile gösterilen bölgelerde  $k_1', k_2', k_3'$  katsayıları hesaplanmıştır.

(a) durumunda  $k_1'$  için:

$$k_1' = \frac{2}{15} y_1^5 b_f \quad (3.15)$$

(b) durumunda  $k_2'$  için  $C_4, C_5, C_6$  kesit geometrisine bağlı katsayılar olmak üzere

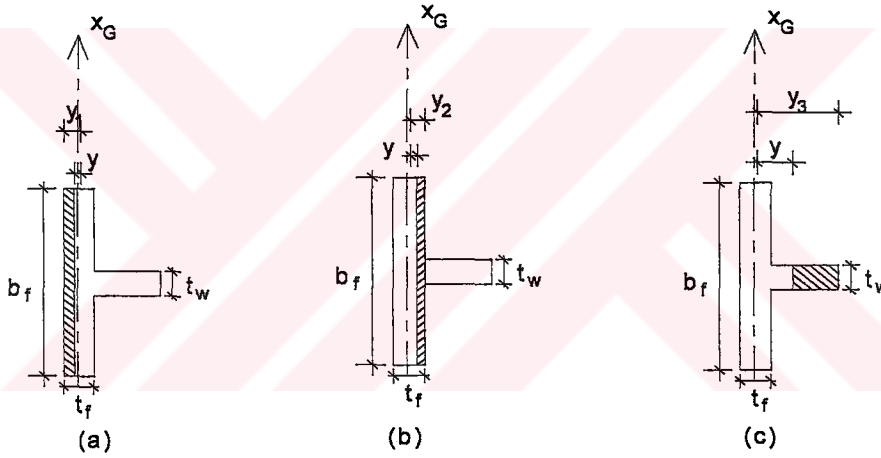
$$C_4 = \frac{t_w^2}{4}(y_3^4 - 2y_3^2 y_2^2 + y_2^4) + \frac{t_w b_f}{2}(y_3^2 - y_2^2)y_2^2 + \frac{b_f^2}{4}y_2^4 \quad (3.16)$$

$$C_5 = \frac{t_w b_f}{2}(y_3^2 - y_2^2) + \frac{b_f^2}{2}y_2^2 \quad (3.17)$$

$$C_6 = \frac{b_f^2}{4} \quad (3.18)$$

$$k'_2 = \frac{1}{b_f} \left( \frac{C_6}{5} y_2^5 - \frac{C_5}{3} y_2^3 + C_4 y_2 \right) \quad (3.19)$$

yazılabilir.



Şekil 3.6. Ağırlık merkezinin başlıkta bulunması durumu

(c) durumunda  $k'_3$  için:

$$k'_3 = \frac{t_w}{4} \left( \frac{8}{15} y_3^5 - \frac{y_2^5}{5} + \frac{2}{3} y_3^2 y_2^3 - y_3^4 y_2 \right) \quad (3.20)$$

bağıntıları kullanılarak, böyle bir kesitte kayma şekil değiştirme katsayısı

$$k'_s = \frac{A}{I_x^2} (k'_1 + k'_2 + k'_3) \quad (3.21)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir [36].

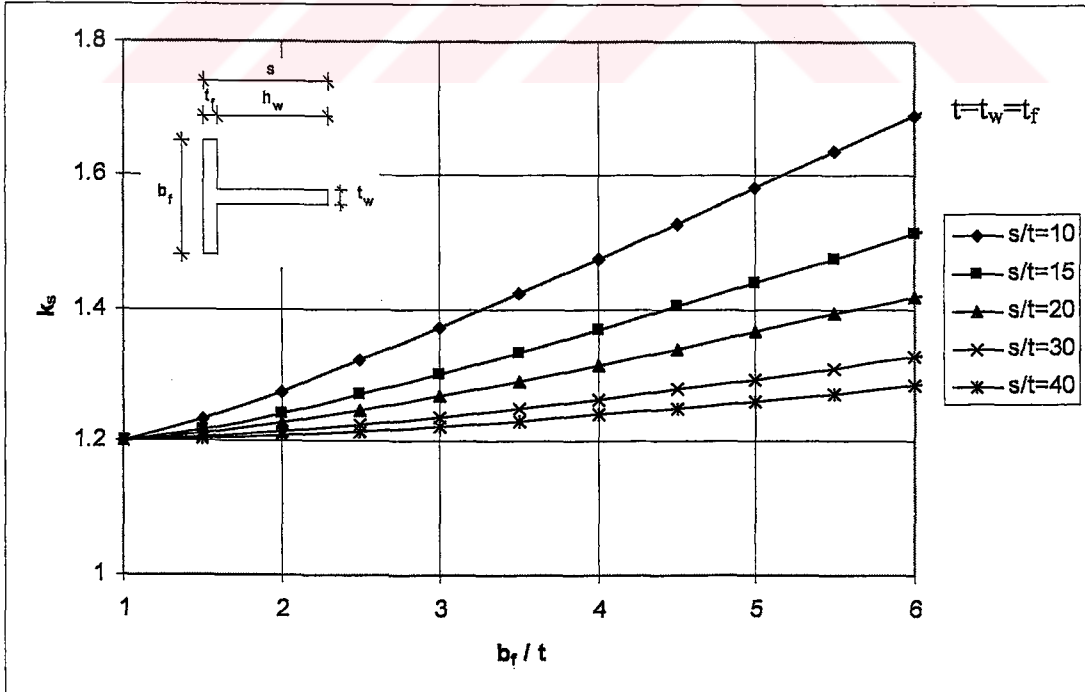
### 3.3. I kesitlerde Kayma Şekil değıştirmesi ( $k_s$ ) Katsayısının Hesabı

I kesitlerde ağırlık merkezi genellikle gövde içinde bulunduğundan kayma şekil değıştirmesi katsayısı hesabında T kesitler için çıkarılmış olan bölüm 3.2.1, (a) ve (b) 'deki bağıntılardan faydalanılabilir. I kesitin ağırlık merkezinden geçen eksenlere göre simetrik olması durumunda kayma şekil değıştirmesi katsayısı  $k_s$  (3.22) ile hesaplanabilir:

$$k_s = \frac{A}{I_x^2} 2(k_1 + k_2) \quad (3.22)$$

### 3.4. Etkili Genişlik( $b_f$ ) - Kayma Şekil değıştirmesi Katsayısı ( $k_s$ ) İlişkisi

Üç tabakalı kompozit yapı sisteminin yatay yük etkisi altındaki davranışı, panel elemanların bir bütün olarak çalışması nedeniyle, duvar elemanlarını dikdörtgen kesit almak yerine tablalı kesit olarak almak daha uygundur. Duvar elemanlarının rijitliklerini hesaplarken tablalı kesitler için kayma şekil değıştirmesi katsayısının  $k_s=1$  alınabileceği önerilmektedir [29]. Burada kesitin etkili tabla genişliği ile  $k_s$  kayma şekil değıştirmesi katsayısı arasındaki ilişki incelenecektir.



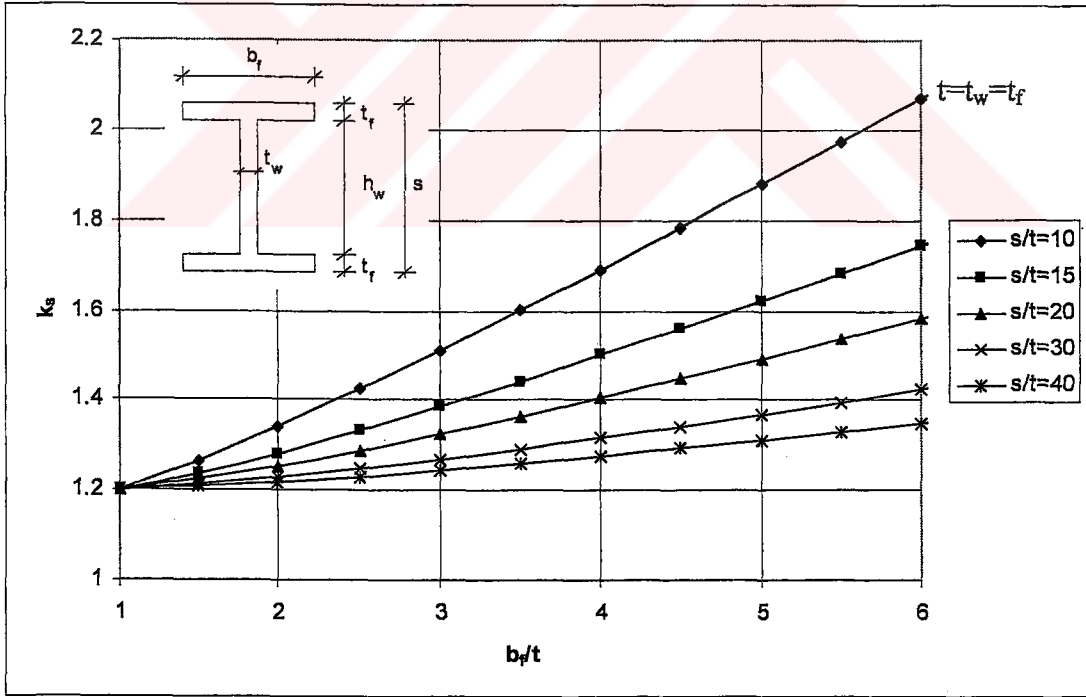
Şekil 3.7. T şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik-kayma şekil değıştirmesi katsayısı ilişkisi

### 3.4.1. T Kesitin Etkili Genişlik ( $b_f$ ) – Kayma Şekil Değiştirmesi Katsayısı ( $k_s$ ) İlişkisi

Üç tabakalı kompozit yapı sisteminde etkili duvar kalınlığı, iç ve dış beton tabaka kalınlıklarının toplamı olarak alındığında etkili genişlik olarak bu etkili duvar kalınlığının en fazla 6 katı alınabilir. T kesitlerde etkili genişliğin gövde genişliğine oranının ( $b_f / t$ ), 1~6 arasında değişiminin kayma şekil değiştirmesi katsayısına etkisi Şekil 3.7’de verilmiştir; beklendiği gibi etkili tabla genişliğinin artmasıyla birlikte kayma şekil değiştirmesi katsayısının daha büyük değerler aldığı görülmektedir.

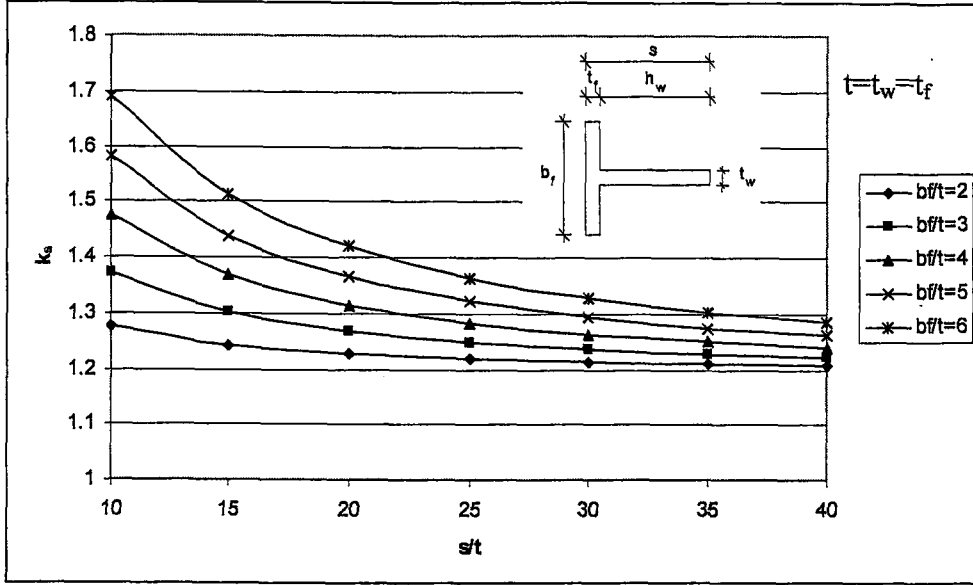
### 3.4.2. I Kesitin Etkili Genişlik( $b_f$ ) – Kayma Şekil Değiştirmesi Katsayısı ( $k_s$ ) İlişkisi

I kesitlerde etkili genişliğin gövde genişliğine oranının ( $b_f / t$ ) 1~6 arasında değişiminin kayma şekil değiştirmesi katsayısına etkisi Şekil 3.8’de verilmiştir; burada da etkili tabla genişliğinin artmasıyla birlikte kayma şekil değiştirmesi katsayısının daha büyük değerler aldığı görülmektedir.



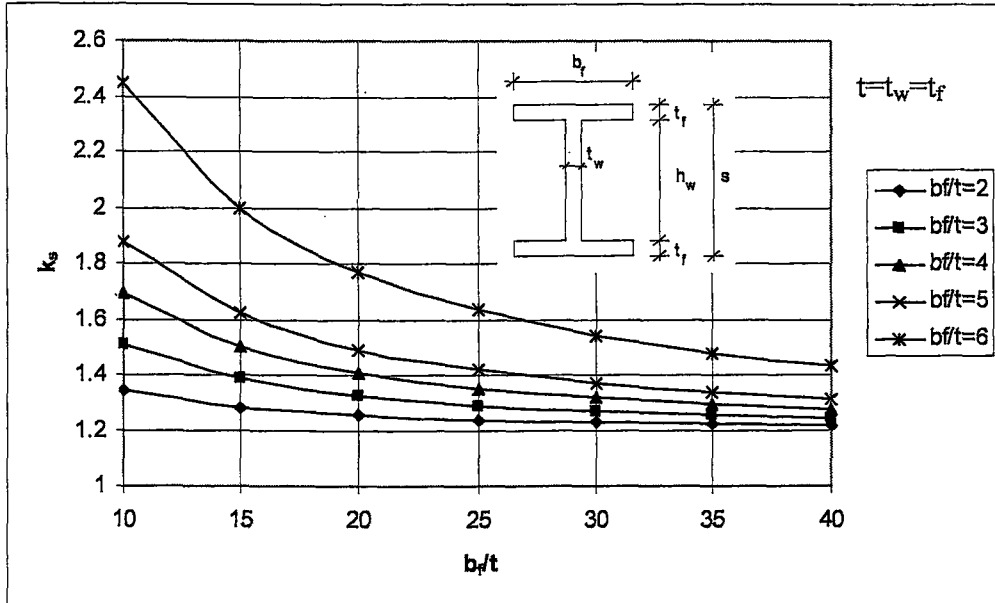
Şekil 3.8. I şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik-kayma şekil değiştirmesi katsayısı ilişkisi

Duvar boyunun duvar kalınlığına oranının ( $s/t$ ), 10~40 arasında değişmesi durumunda etkili genişliğin duvar kalınlığına oranı 6 ise kayma şekil değiştirmesi katsayısı ( $k_s$ ), 1.35~2.07 olmaktadır.



Şekil 3.9. T şeklindeki duvar elemanının duvar boyu kayma şekil değiştirme katsayısı ilişkisi

Şekil 3.9'da verilen grafikte etkili genişliğin değişimine bağlı olarak T şekilli duvar elemanının boy değişiminin  $k_s$  kayma şekil değiştirme katsayısına etkisi görülmektedir. Duvar boyunun duvar kalınlığına oranı arttıkça  $k_s$  azalmaktadır. Bununla birlikte etkili genişliğin artması kayma şekil değiştirme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Duvar boyuna bağlı olarak  $b_f/t$  oranının 2~6 olarak değişmesi  $k_s$ 'i %5~25 oranlarında artırmaktadır.



Şekil 3.10. I şeklindeki duvar elemanının duvar boyu kayma şekil değiştirme katsayısı ilişkisi

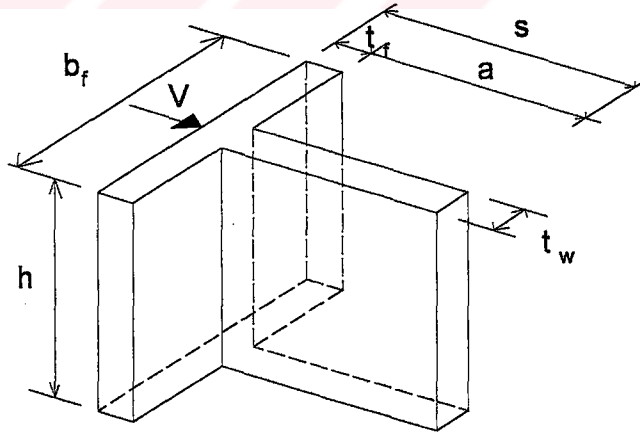
Şekil 3.10'da verilen grafikte etkili genişliğin değişimine bağlı olarak I şekilli duvar elemanının boy değişiminin  $k_s$  şekil değiştirme katsayısına etkisi görülmektedir. Duvar boyunun duvar kalınlığına oranı arttıkça  $k_s$  azalmaktadır. Bununla birlikte etkili genişliğin artması kayma şekil değiştirme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Duvar boyuna bağlı olarak  $b_f/t$  oranının 2~6 olarak değişmesi  $k_s$ 'i %15~45 oranlarında artırmaktadır.

### 3.5. Etkili Genişliğin ( $b_f$ ) Duvar Elemanı Rijitliğine ( $k$ ) Etkisi

Bu bölümde etkili genişliğin gövde genişliğine oranının ( $b_f / t$ ) 1~6 arasında değişmesi ve kayma şekil değiştirmesi katsayısı  $k_s$ 'in 1.0 ve 1.0'den farklı değerleri için T ve I kesitlerden oluşan duvar elemanlarının rijitlik değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler T ve I kesitlerden oluşan duvar elemanlarının rijitliklerinde dikdörtgen kesitlere göre %100'e yaklaşan artışlar olduğunu göstermektedir.

#### 3.5.1. T Kesitlerde Etkili Genişliğin ( $b_f$ ) Duvar Elemanı Rijitliğine ( $k$ ) Etkisi

T şeklindeki duvar elemanında (Şekil 3.11) duvar rijitliğinin etkili genişliğe bağlı olarak değişimini görebilmek amacıyla boyutsuz büyüklükler elde edilmiş ve bu değerler grafik olarak özetlenmiş (Şekil 3.12) ve Ek A'da verilmiştir.



Şekil 3.11. T şeklindeki duvar elemanı

Duvar elemanındaki başlık ve gövde kalınlıkları eşit alındığında ( $t_f=t_w=t$ ) ve

$$\frac{h}{t} = \eta, \frac{b_f}{t} = \gamma, \frac{a}{t} = \beta, \frac{h}{s} = \theta$$

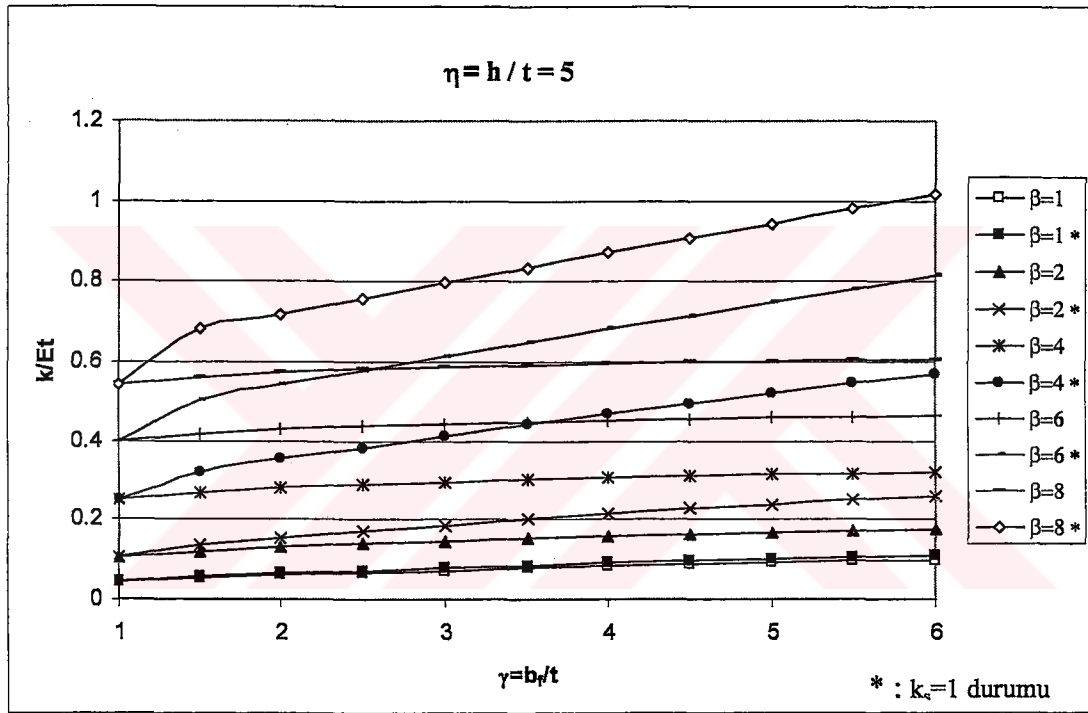
alındığında duvar öteleme rijitliği,

$$\frac{k}{Et} = \frac{1}{\frac{\theta^3}{\Gamma} + \frac{k_s \eta}{\alpha(\gamma + \beta)}} \quad (3.23)$$

olmaktadır, burada

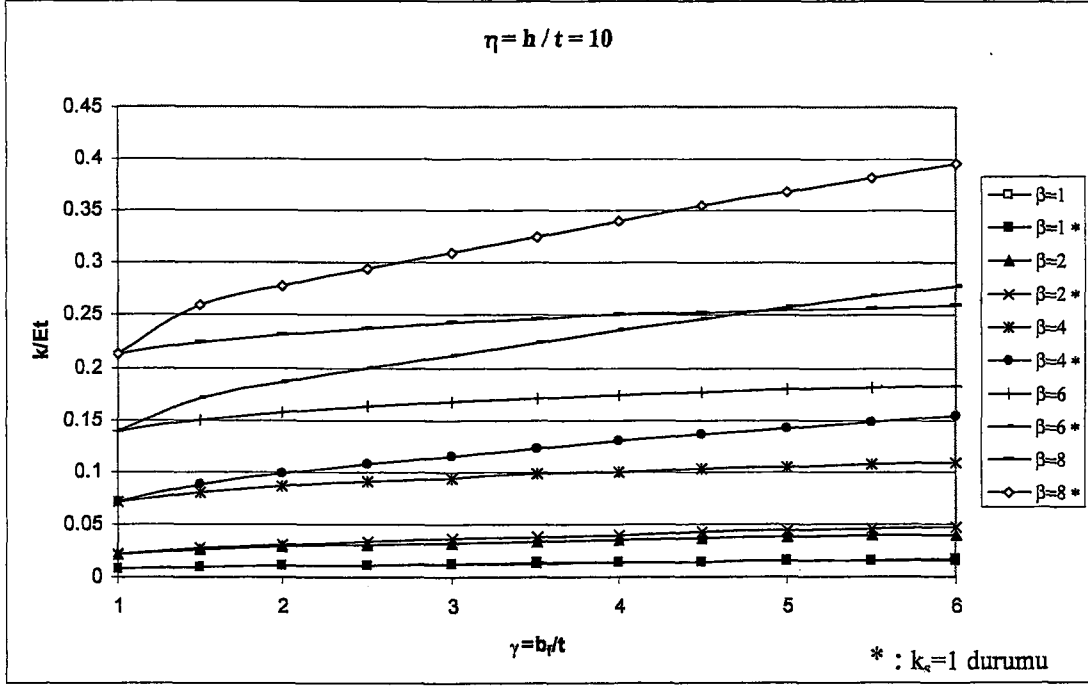
$$\Gamma = 1 + \frac{\gamma - 1}{(1 + \beta)^2} \left( \frac{1}{1 + \beta} + \frac{3\beta^2}{\gamma + \beta} \right) \quad (3.24)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.



Şekil 3.12. T şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik-duvar rijitliği ilişkisi

Şekil 3.12’de , duvar yüksekliğinin duvar kalınlığına oranı ( $\eta=5$ ) alındığında duvar elemanında etkili genişliğin artmasıyla birlikte duvar elemanının rijitliğindeki artış görülmektedir. Duvar rijitliğinin kayma şekil değiştirmesi katsayısı  $k_s$ ’in 1.0 değeri alınarak hesaplanması durumunda etkili genişliğin duvar kalınlığına oranı ( $b/t$ ) 6 olduğunda duvar boyunun duvar kalınlığına oranı ( $\beta=2$ ) ise duvarın rijitliğinin gerçek değerinden ~%53 daha büyük olduğu ( $\beta=8$ ) olduğunda duvarın rijitliğinin gerçek değerinden ~%65 daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 3.13. T şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik-duvar rijitliği ilişkisi

Şekil 3.13’de , duvar yüksekliğinin duvar kalınlığına oranı ( $\eta=10$ ) alındığında duvar elemanında etkili genişliğin artmasıyla birlikte duvar elemanının rijitliğindeki artış görülmektedir. Duvar rijitliğinin kayma şekil değiştirmesi katsayısı  $k_s$ ’in 1.0 değeri alınarak hesaplanması durumunda etkili genişliğin duvar genişliğine oranı ( $b_f/t_w$ ) 6 olduğunda duvar boyunun duvar kalınlığına oranı ( $\beta=2$ ) ise duvarın rijitliğinin gerçek değerinden ~%18 daha büyük olduğu ( $\beta=8$ ) olduğunda duvarın rijitliğinin gerçek değerinden ortalama ~%54 daha büyük olduğu görülmektedir.

### 3.5.2. I Kesitlerde Etkili Genişliğin ( $b_f$ ) Duvar Elemanı Rijitliğine ( $k$ ) Etkisi

I şeklindeki duvar elemanında (Şekil 3.14) duvar rijitliğinin etkili genişliğe bağlı olarak değişimini görebilmek amacıyla boyutsuz büyüklükler elde edilmiş ve bu değerler grafik olarak özetlenmiş (Şekil 3.15) ve Ek B’de verilmiştir. Duvar elemanındaki başlık ve gövde kalınlıkları eşit alındığında ( $t_f=t_w=t$ ) ve

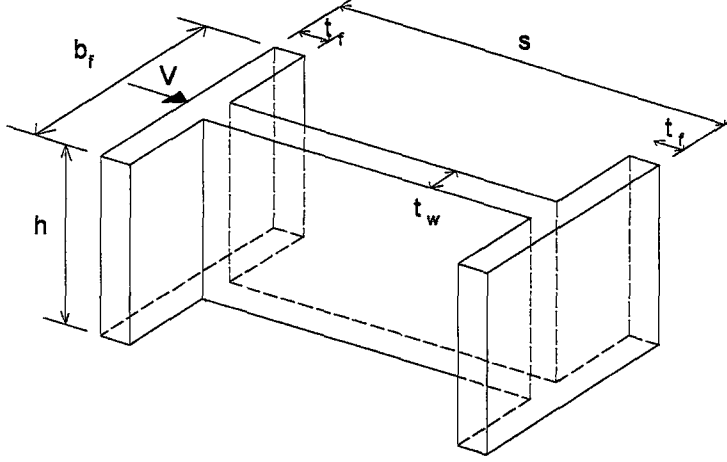
$\frac{h}{t} = \eta, \frac{b_f}{t} = \gamma, \frac{a}{t} = \beta, \frac{h}{s} = \theta$  alındığında duvar öteleme rijitliği,

$$\frac{k}{Et} = \frac{1}{\frac{\theta^3}{\gamma \Gamma} + \frac{k_s \eta}{\alpha(2\gamma + \beta)}} \quad (3.25)$$

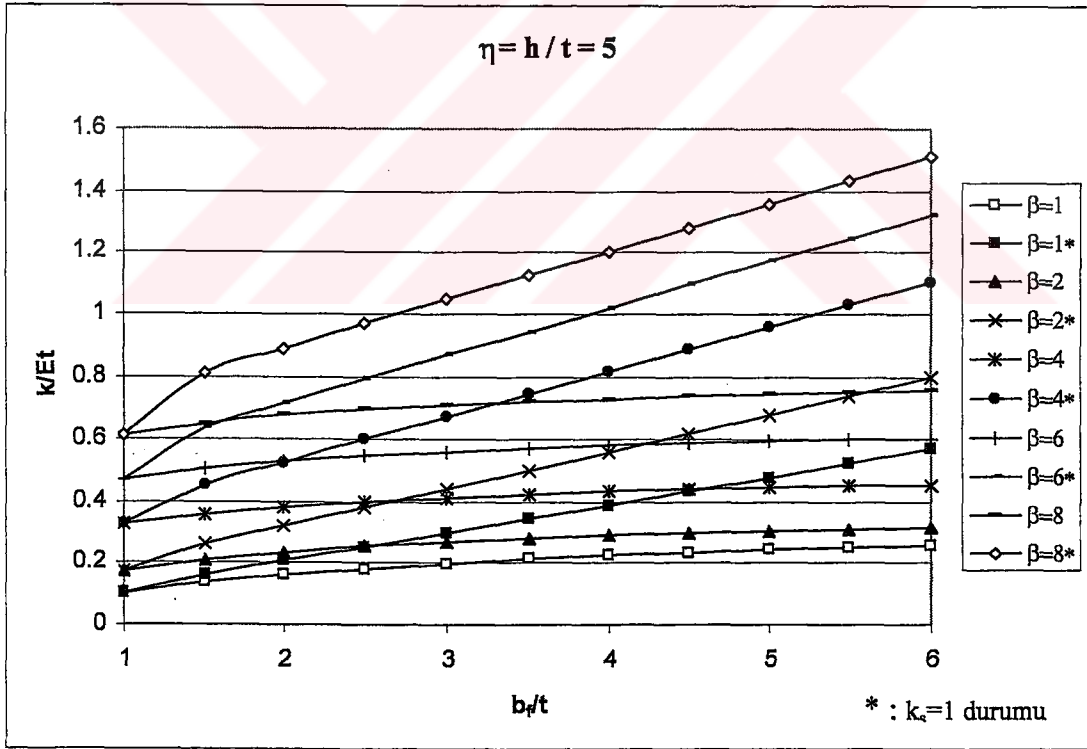
olmaktadır, burada

$$\Gamma = 1 - \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \left(1 - \frac{2}{\beta + 2}\right)^3 \quad (3.26)$$

şeklindedir.



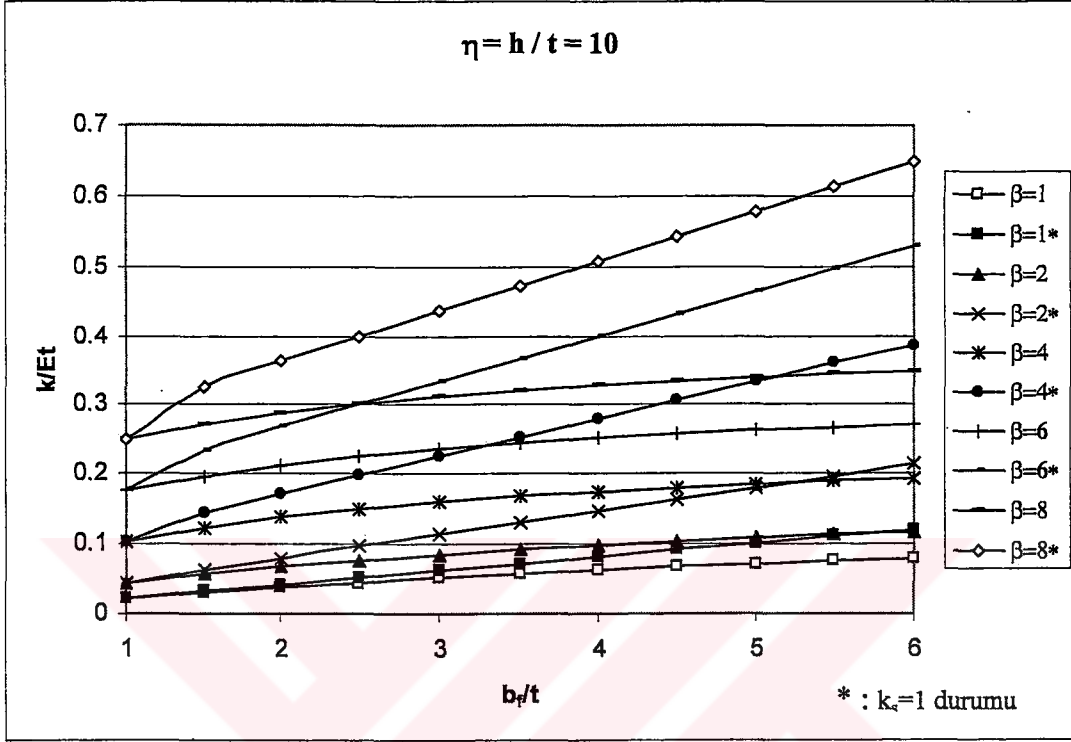
Şekil 3.14. I şeklindeki duvar elemanı



Şekil 3.15. I şeklindeki duvar elemanının etkili genişlik-duvar rijitliği ilişkisi

Şekil 3.15’de , duvar yüksekliğinin duvar kalınlığına oranı ( $\eta=5$ ) alındığında etkili genişliğin artmasıyla birlikte duvar elemanının rijitliğindeki artış görülmektedir. Duvar rijitliğinin kayma şekil değiştirmesi katsayısı  $k_s$ ’in 1.0 değeri alınarak hesaplanması durumunda etkili genişliğin duvar genişliğine oranı ( $b_f/t_w$ ) 6 olduğunda

duvar boyunun duvar kalınlığına oranı ( $\beta=2$ ) ise duvarın rijitliğinin gerçek değerinden ~%153 daha büyük olduğu ( $\beta=8$ ) olduğuunda duvarın rijitliğinin gerçek değerinden ortalama ~%100 daha büyük olduğu görölmektedir.

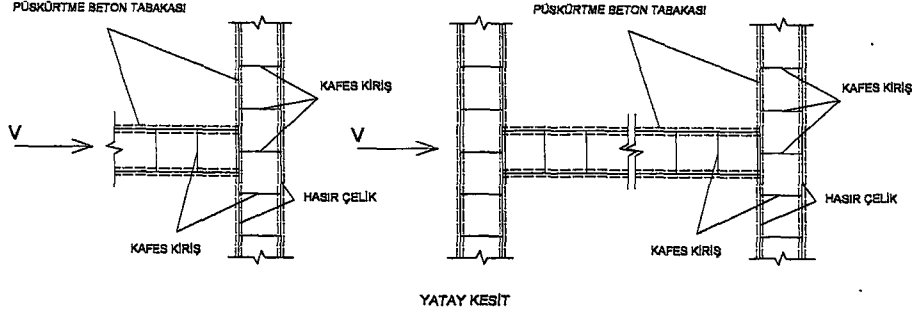


Şekil 3.16. I şeklindeki duvar elemanın etkili genişlik-duvar rijitliği ilişkisi

Şekil 3.16'da , duvar yüksekliğinin duvar kalınlığına oranı ( $\eta=10$ ) alındığında duvar elemanında etkili genişliğin artmasıyla birlikte duvar elemanının rijitliğindeki artış görölmektedir. Duvar rijitliğinin kayma şekil değıştirmesi katsayısı  $k_s$ 'in 1.0 değeri alınarak hesaplanması durumunda, etkili genişliğin duvar genişliğine oranı ( $b_f/t_w$ ) 6 olduğuunda duvar boyunun duvar kalınlığına oranı ( $\beta=2$ ) ise duvarın rijitliğinin gerçek değerinden ~%82 daha büyük olduğu, ( $\beta=8$ ) olduğuunda duvarın rijitliğinin gerçek değerinden ortalama ~%86 daha büyük olduğu görölmektedir.

### 3.6. Duvarlardaki Düşey Kafes Elemanların Duvar Rijitliğine Etkisi

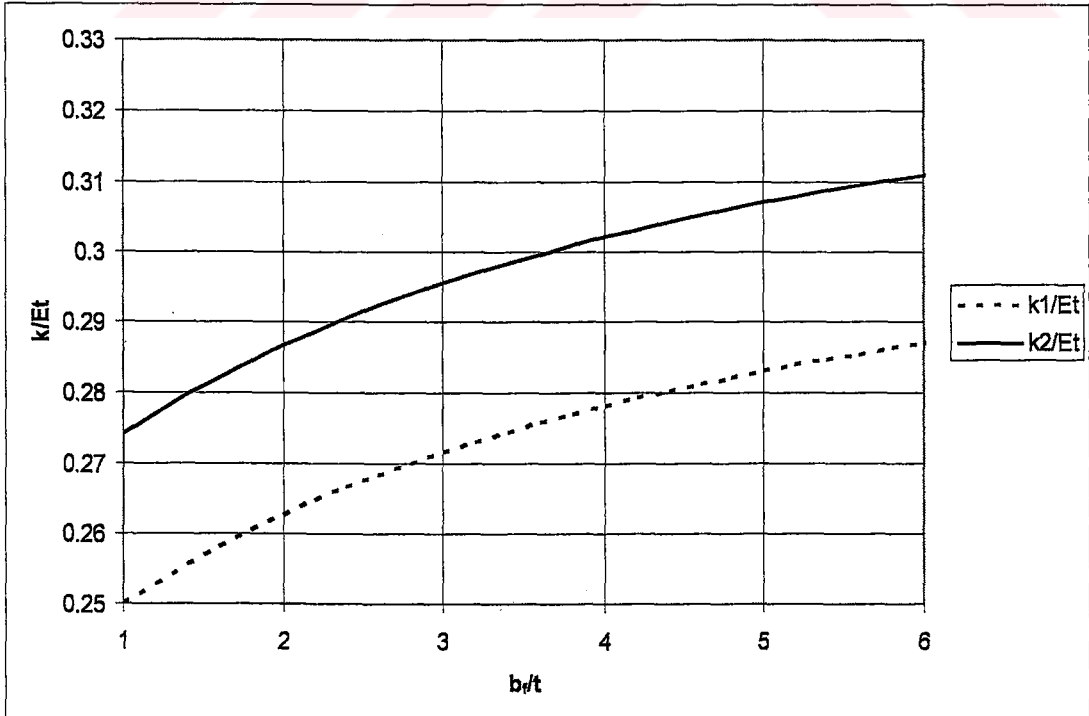
Üç tabakalı kompozit panellerden oluşturulan duvarlar düzlemlerine dik olarak yüklendiklerinde düşey kafes elemanların rijitlikleri de hesaba katılmalıdır.



Şekil 3.17. Duvar yatay kesiti

Bu durumda duvar etkili genişliği içerisinde bulunan düşey kafes elemanlarının rijitlikleri T ya da I kesit şekilli duvarların rijitliklerine ilave edilerek duvar elemanının toplam rijitliği hesaplanabilir (Şekil 3.17).

Şekil 3.18’de duvar etkili genişliğine bağlı olarak duvar rijitliğine düşey kafes elemanların katkısı gösterilmiştir. Burada  $k_1$  duvarın kafes rijitliğinin göz önüne alınmadığı rijitlik değerlerini  $k_2$  ise kafes rijitliklerinin de hesaba katıldığı toplam duvar rijitliğini göstermektedir. Duvar kesitinin I şeklinde olması ve duvarın birim yüksekliği için düşey kafes elemanların duvar rijitliğine katkısı ortalama olarak %2~5 arasında olmaktadır. Bu nedenle üç tabakalı kompozit panellerden oluşturulan duvarlarda, düşey kafes kirişlerin rijitliğinin duvarın toplam öteleme rijitliğini önemli oranda değiştirmedığı görülmektedir.

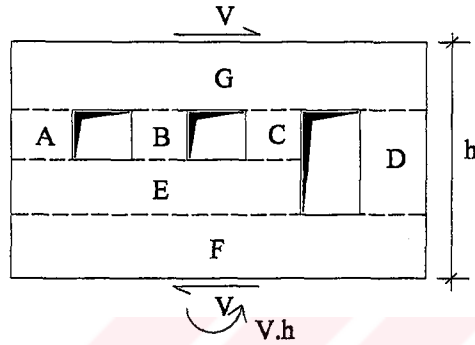


Şekil 3.18. Düşey kafes elemanların T şeklindeki duvarın rijitliğine etkisi

### 3.7. Hesap Yöntemi

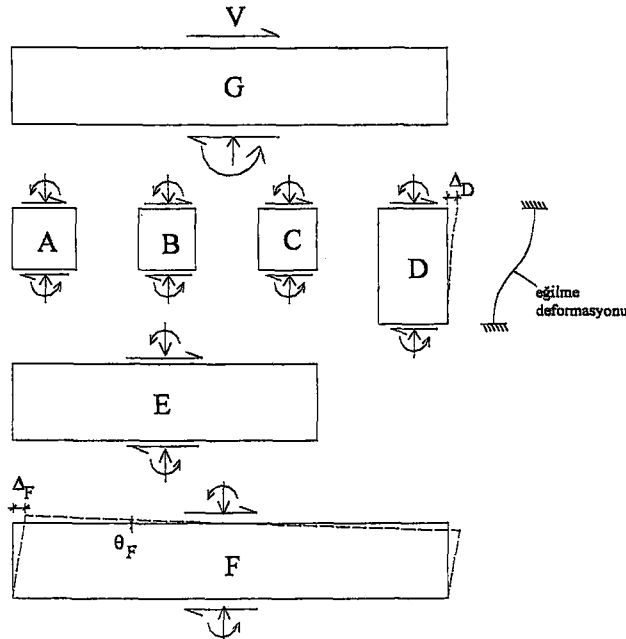
Üç tabakalı kompozit panel duvarlar, düzlemi içindeki yükler için, betonarme tabakaları kalınlığı etkin kalınlık olarak itibar edilmek üzere, homojen malzemeli duvarlar gibi dikkate alınarak analiz edilebilir. Bu çerçevede boşluklu duvarların eşdeğer rijitliklerinin hesabına ihtiyaç olur. Bunun için aşağıdaki yol izlenebilir.

Şekil 3.19’de görülen duvar elemanı A,B,C,D,E,F şeklinde alt parçalara ayrılarak,



Şekil 3.19. Boşluklu duvar

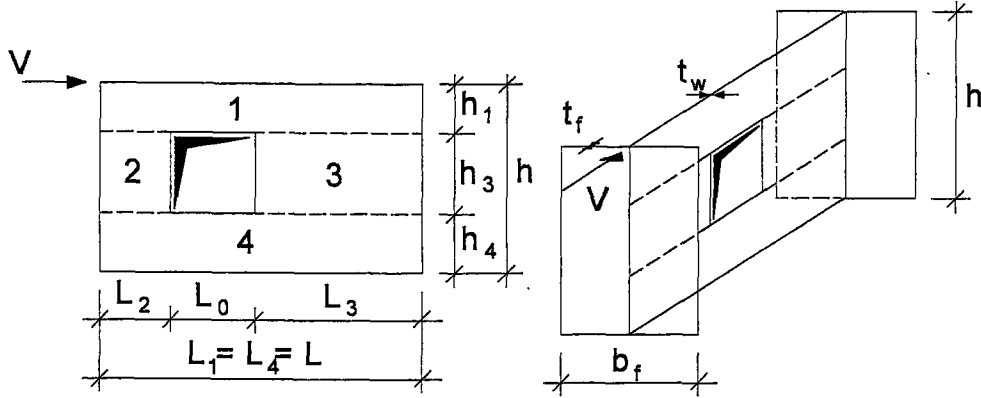
Şekil 3.20’de görülen duvarın bütünü içinde her bir parçanın denge ve şekil değiştirme uygunlukları yazılmak suretiyle, boşluklu duvarın rijitliği elde edilebilir. Burada anlatılan hesap yöntemi bir bilgisayar programı hazırlanarak örnek duvar elemanlarına uygulanmıştır. Programın akış şeması EK D’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Duvar elemanları

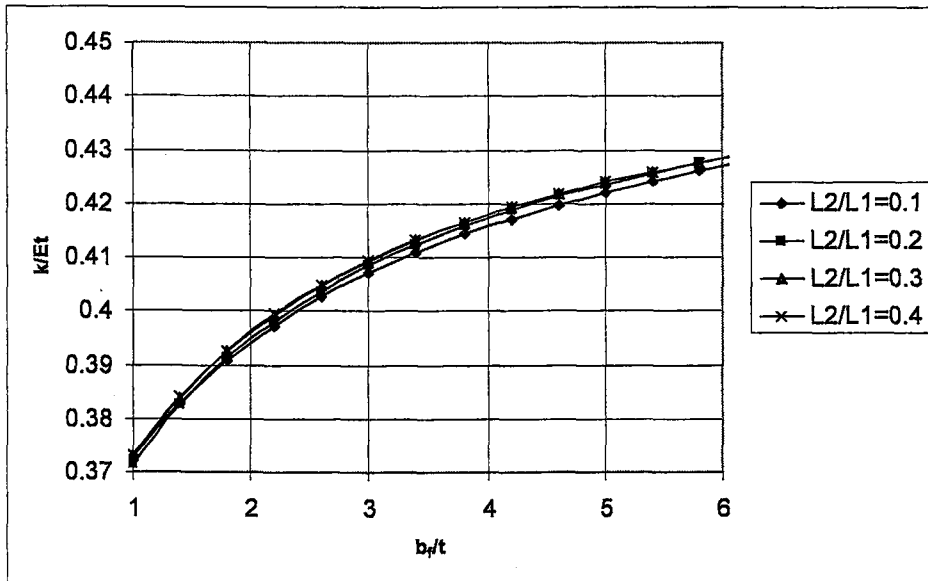
### 3.8. Hesap Yönteminin Örnek Duvar Elemanlarına Uygulanması

**Örnek 1:** Boşluk içeren üç tabakalı kompozit bir duvar elemanı Şekil 3.21’de görülmektedir. Duvar, elemanlara ayrılarak numaralandırılmıştır.



Şekil 3.21.Bir boşluklu örnek duvar elemanı

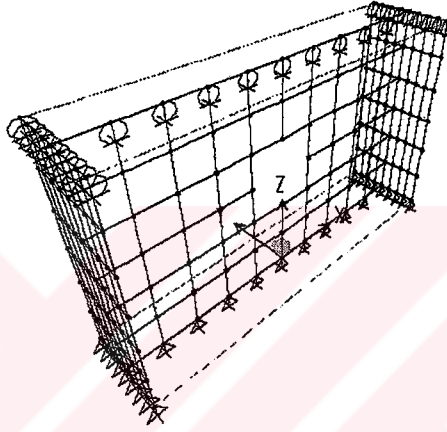
Boşluk yerinin etkili genişliğin değişimine bağlı olarak duvar rijitliğine etkisi Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Boşluk oranının duvar rijitliğine etkisi Ek C’de verilmiştir. Şekilde L1 duvar boyunu, L2 boşluğun duvar kenarına uzaklığını göstermektedir. Duvar kalınlığı  $t_w$  olmakla birlikte şekilde düşey eksendeki  $t=t_w$  dir. Burada boşluk yerinin değişmesinin duvar rijitliğinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.22. Boşluk yerinin ve etkili genişliğin duvar rijitliğine etkisi

Elde edilen sonuçlar Sonlu Eleman Yöntemi (SEY) ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Şekil 3.23’de duvar elemanının sonlu eleman modeli

görülmektedir. Sonlu eleman yönteminde kullanılan eleman sayısı 152~248 adet kare/dikdörtgen şekilli eleman olup duvar elemanına etkiyen yatay yük duvarın üst kotundaki düğüm noktalarına eşit olarak dağıtılmıştır. Tablo 3.1’de ise etkili genişliğin duvar genişliğine oranı ( $b_f/t_w=1, 6$  ve  $13$ ) ve elemanların kesit geometrisine bağlı olarak hesaplanan  $k_s$  (kayma şekil değiştirmesi katsayısı) değerleri ile duvar rijitlikleri hesaplanmıştır. Birinci satırda duvar elemanı kesiti dikdörtgen alınarak duvar rijitliği hesaplanmıştır. 2. ve 5. satırda duvar elemanlarının kesiti T ve I şekilli olduğundan kayma şekil değiştirmesi katsayısı ( $k_s$ ) hesaplarında (3.8) ve (3.22) bağıntılarından yararlanılmıştır.



Şekil 3.23. Örnek 1 Sonlu Eleman Modeli

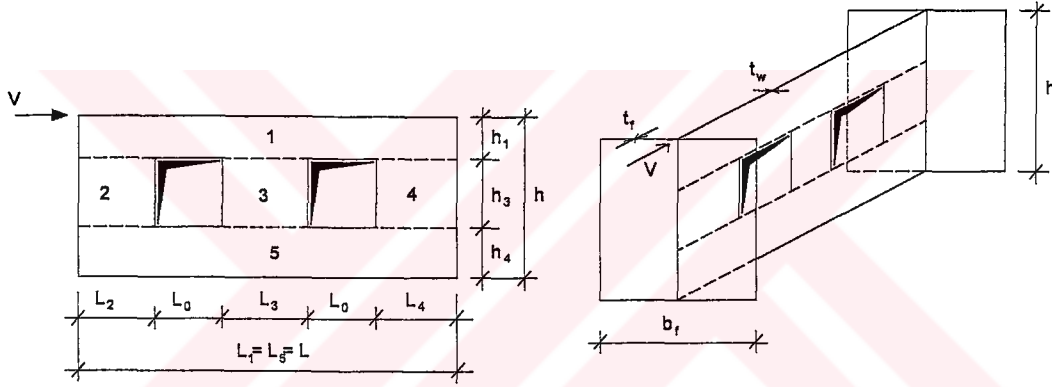
Tablo 3.1’in 3. ve 6. satırında ise duvar elemanlarının Şekil 3.23’de görüldüğü gibi modellenerek Sonlu Eleman Yöntemi ile hesaplanmasıyla elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Tablo 3.1. Bir boşluklu duvar elemanındaki duvar rijitlikleri

| Satır No | Hesap Yöntemi | $k_s$            | $b_f/t_w$ | $L_0$ (m) | $L_1$ (m) | $L_3$ (m) | $L$ (m) | $h_1$ (m) | $h_3$ (m) | $h_4$ (m) | $t_f=t_w$ (m) | $k/Et$ |
|----------|---------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|---------------|--------|
| 1        | Analitik      | 1.2              | 1         | 1.00      | 2.00      | 2.00      | 5.00    | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 0.20          | 0.495  |
| 2        | Analitik      | (3.8),<br>(3.22) | 6         | 1.00      | 2.00      | 2.00      | 5.00    | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 0.20          | 0.555  |
| 3        | SEY           | -                | 6         | 1.00      | 2.00      | 2.00      | 5.00    | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 0.20          | 0.555  |
| 4        | Analitik      | 1.0              | 6         | 1.00      | 2.00      | 2.00      | 5.00    | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 0.20          | 0.855  |

Tablo 3.1’de analitik yöntemle hesaplanan duvar rijitliği, Sonlu Eleman Yöntemi (SEY) ile hesaplanan duvar rijitliğine, etkili genişliğin gövde genişliğine oranının 6 olduğu durumda eşit olduğu, etkili genişliğin gövde genişliğine oranının 13 olduğu durumda ise ~%8 yaklaştığı görülmektedir. Bu durumda analitik yöntemle hesaplanan duvar rijitliğinin kesin çözüme yeterli yaklaşıklıkta olduğu söylenebilir.

**Örnek 2:** İkinci örnekte iki adet boşluk içeren bir duvar elemanı alınmıştır (Şekil 3.24). Bu örnekteki duvar elemanı da hem dikdörtgen kesit olarak hem de T ya da I enkesit şekilli elemanların oluşturduğu etkili genişlik gözönüne alınarak hesaplanmıştır. Sonlu eleman yönteminde kullanılan eleman sayısı 100~196 adet kare/dikdörtgen şekilli eleman olup duvar elemanına etkiyen yatay yük duvarın üst kotundaki düğüm noktalarına eşit olarak dağıtılmıştır.

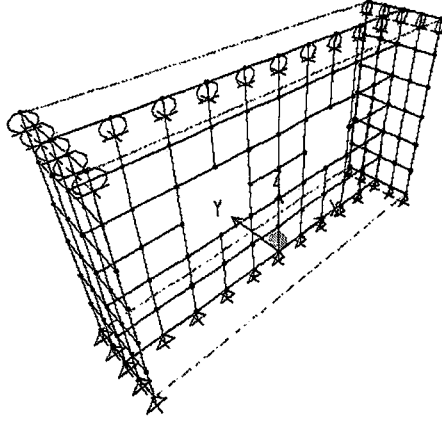


Şekil 3.24. İki boşluklu örnek duvar elemanı

Tablo 3.2. İki boşluklu duvar elemanındaki duvar rijitlikleri

| Satır No | Hesap Yöntemi | ks            | $b_f/t_w$ | $L_0$ (m) | $L_1$ (m) | $L_2, L_3, L_4$ (m) | $L$ (m) | $h_1, h_3, h_4$ (m) | $t_f=t_w$ (m) | $k/Et$ |
|----------|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------|---------------------|---------------|--------|
| 1        | Analitik      | 1.2           | 1         | 1.00      | 5.00      | 2.00                | 5.00    | 1.00                | 0.20          | 0.390  |
| 2        | Analitik      | (3.8), (3.22) | 6         | 1.00      | 5.00      | 2.00                | 5.00    | 1.00                | 0.20          | 0.455  |
| 3        | SEY           | -             | 6         | 1.00      | 5.00      | 2.00                | 5.00    | 1.00                | 0.20          | 0.370  |
| 4        | Analitik      | 1.0           | 6         | 1.00      | 5.00      | 2.00                | 5.00    | 1.00                | 0.20          | 0.695  |

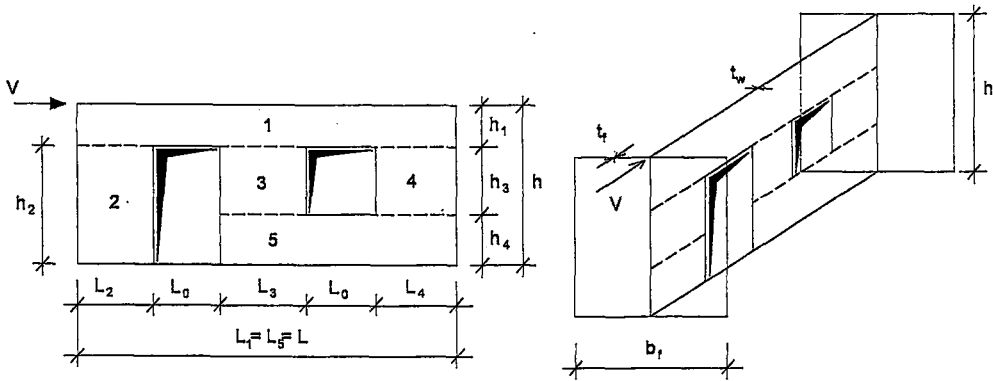
Tablo 3.2’de ise gözönüne alınan duvar elemanının çeşitli etkili genişlik-duvar kalınlığı oranlarında analitik ve Sonlu Eleman Yöntemi kullanılarak duvar rijitliği değerleri elde edilmiştir. Sonlu Eleman modeli Şekil 3.25’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.25. Örnek 2 Sonlu Eleman Modeli

Tablo 3.2’de analitik yöntemle hesaplanan duvar rijitliği, Sonlu Eleman Yöntemi (SEY) ile hesaplanan duvar rijitliğine, etkili genişliğin gövde genişliğine oranının 6 olduğu durumda ~%19 yaklaştığı, etkili genişliğin gövde genişliğine oranının 13 olduğu durumda ise ~%21 yaklaştığı görülmektedir. Burada analitik yöntemle hesaplanan duvar rijitliğinin sonlu eleman yöntemi ile elde edilen sonuca çok yakın çıkmamasının nedeni boşluk yüzdesinin artmasıdır.

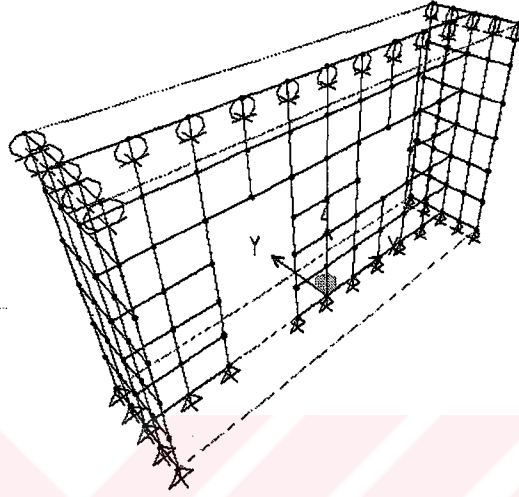
**Örnek 3:** Kapı ve pencere boşluğu olan bir duvar elemanı alınmıştır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. Örnek 3 duvar elemanı

Tablo 3.3’de gözönüne alınan duvar elemanının çeşitli etkili genişlik-duvar kalınlığı oranlarında analitik ve Sonlu Eleman Yöntemi kullanılarak duvar rijitliği değerleri elde edilmiştir. Sonlu Eleman modeli Şekil 3.27’de görüldüğü gibidir. Bu örnekteki

duvar elemanı da hem dikdörtgen kesit olarak hem de T ya da I enkesit şekilli elemanların oluşturduğu etkili genişlik gözönüne alınarak hesaplanmıştır. Sonlu eleman yönteminde kullanılan eleman sayısı 96~192 adet kare/dikdörtgen şekilli eleman olup duvar elemanına etkiyen yatay yük duvarın üst kotundaki düğüm noktalarına eşit olarak dağıtılmıştır.



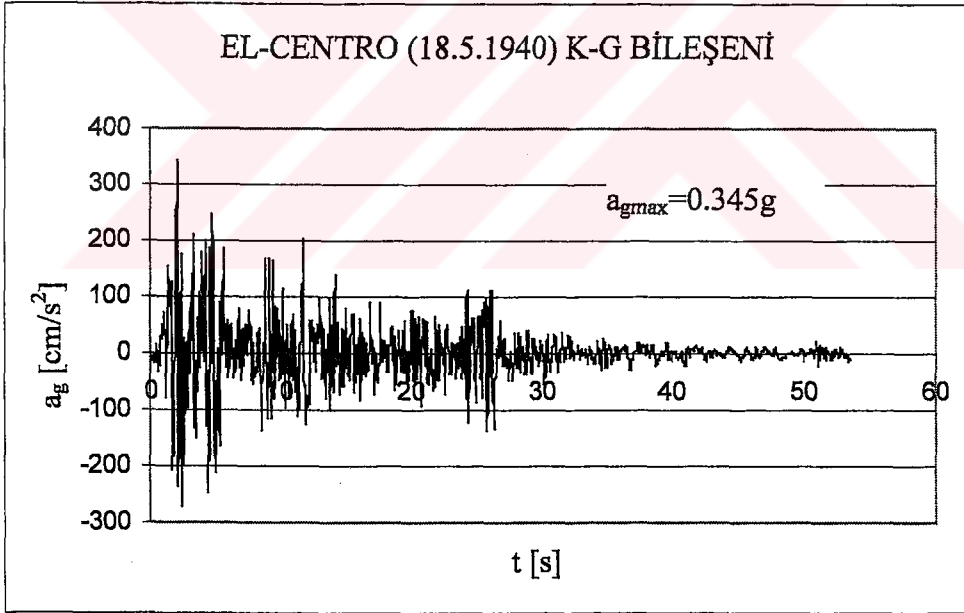
Şekil 3.27. Örnek 3 Sonlu Eleman Modeli

Tablo 3.3. İki boşluklu duvar elemanındaki duvar rijitlikleri

| Satır No | Hesap Yöntemi | $k_s$            | $b_f/t_w$ | $L_0$<br>(m) | $L_1$<br>(m) | $L_2, L_3, L_4$<br>(m) | $L$<br>(m) | $h_1, h_3, h_4$<br>(m) | $t_f=t_w$<br>(m) | $k/Et$ |
|----------|---------------|------------------|-----------|--------------|--------------|------------------------|------------|------------------------|------------------|--------|
| 1        | Analitik      | 1.2              | 1         | 1.00         | 5.00         | 2.00                   | 5.00       | 1.00                   | 0.20             | 0.320  |
| 2        | Analitik      | (3.8),<br>(3.22) | 6         | 1.00         | 5.00         | 2.00                   | 5.00       | 1.00                   | 0.20             | 0.380  |
| 3        | SEY           | -                | 6         | 1.00         | 5.00         | 2.00                   | 5.00       | 1.00                   | 0.20             | 0.305  |
| 4        | Analitik      | 1.0              | 6         | 1.00         | 5.00         | 2.00                   | 5.00       | 1.00                   | 0.20             | 0.550  |

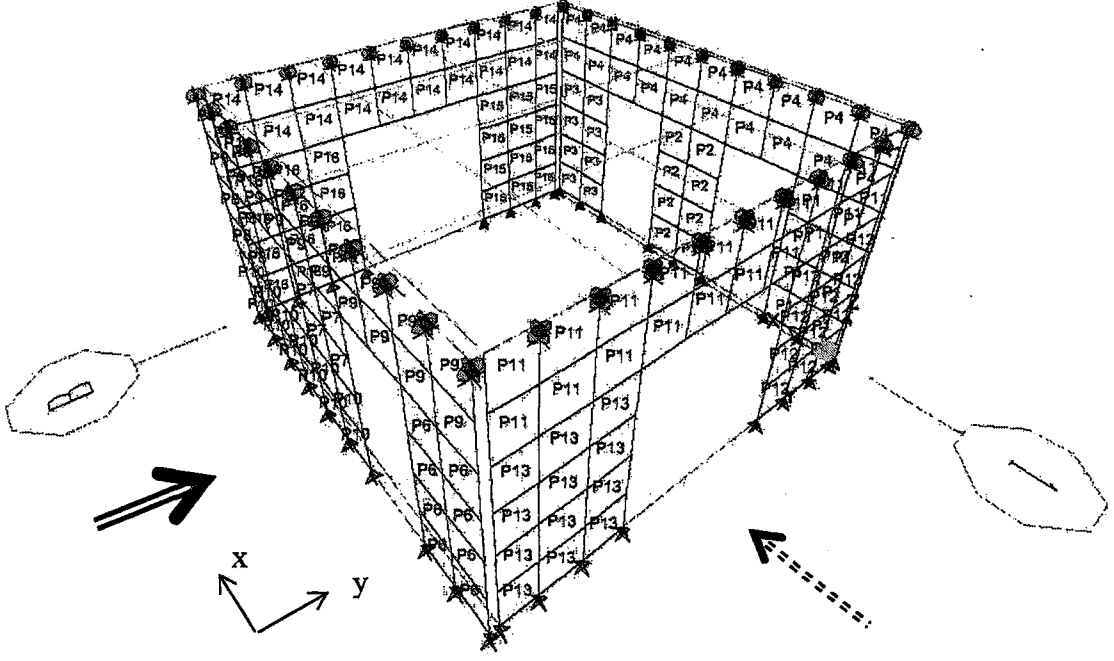
Tablo 3.3’de analitik yöntemle hesaplanan duvar rijitliği, Sonlu Eleman Yöntemi (SEY) ile hesaplanan duvar rijitliğine, etkili genişliğin gövde genişliğine oranının 6 olduğu durumda ~%19 yaklaştığı, etkili genişliğin gövde genişliğine oranının 13 olduğu durumda ise ~%21 yaklaştığı görülmektedir. Bu örnekte de analitik yöntemle hesaplanan duvar rijitliğinin sonlu eleman yöntemi ile elde edilen sonuca çok yakın çıkmamasının nedeni boşluk yüzdesinin artmasıdır.

**Örnek 4:** Bu örnekte tek katlı bir yapı köşe noktalarında duvarların sürekli ya da süreksiz olması durumunda, yatay yük etkisi altındaki duvar elemanların davranışlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda 18 Mayıs 1940 tarihinde meydana gelen Imperial Valley Depremi'nin El-Centro kuvvetli yer hareketi kaydı Kuzey-Güney bileşeni (Şekil 3.28) yapıya bir kere x-x doğrultusunda, bir kere de y-y doğrultusunda etkitilerek ve zaman tanım alanında doğrusal hesap ile yapı çözülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 3.28'de yapıya gelen maksimum yer ivmesinin  $a_{gmax}=345\text{cm/s}^2$  olduğu görülmektedir. Örnek duvar elemanının sonlu eleman modeli Şekil 3.29'da görülmektedir. Duvarların köşelerde sürekli birleşmesi durumunda duvar üst noktasının yerdeğiştirmesi Şekil 3.30'da gösterilmiştir. Grafikte yatay eksen de zaman saniye cinsinden, dikey eksen de yerdeğiştirmeler metre cinsinden verilmiştir. Örnek yapı, duvarların köşelerdeki sürekliliğinin sağlanabilmesi için köşelerdeki sonlu elemanların düğüm noktaları üst üste çakışacak şekilde modellenmiştir. Döşeme sistemi rijit diyafram olarak tanımlanmıştır.

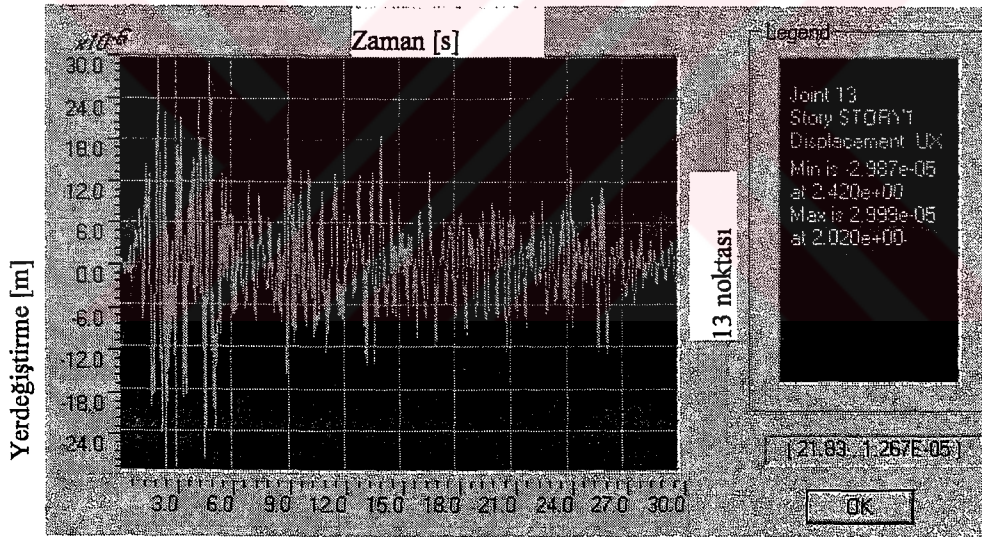


Şekil 3.28 El-Centro K-G Bileşeni

Duvarların köşelerde birbirine birleşmediği durumda köşelerdeki sonlu elemanların düğüm noktaları üst üste çakıştırılmamış her iki yöndeki duvarların bağımsız yerdeğiştirme yapmasına çalışılmıştır.

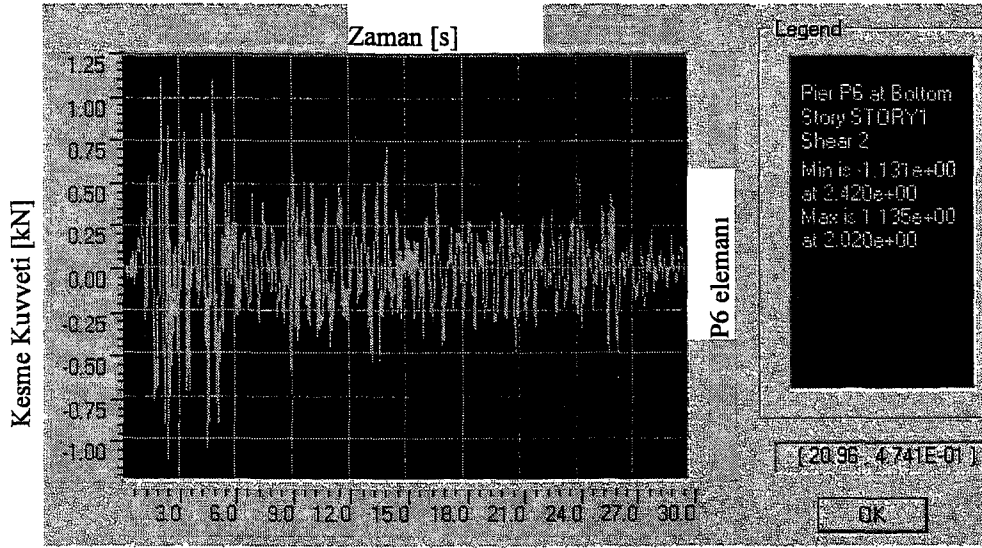


Şekil 3.29. Örnek 4 Sonlu Eleman Modeli



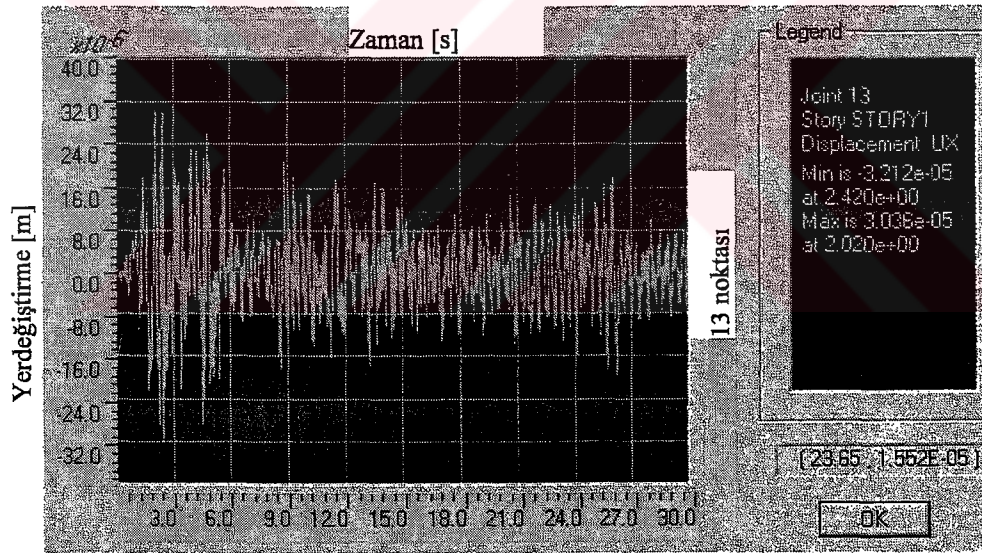
Şekil 3.30. Duvar üst noktası yerdeğiştirme değişimi

P6 duvar elemanındaki kesme kuvveti değişimi Şekil 3.31’de gösterilmiştir. Burada P6 elemanı kapı boşluğu ile duvar köşesi arasındaki bölgede bulunan elemandır. Duvarların köşelerde birleşik olduğu durumda köşelerdeki elemanların eğilme ve kayma rijitlikleri, birleşik olmadıkları duruma göre fazla olacağından duvar elemanına gelecek kesme kuvveti de büyük olacaktır.



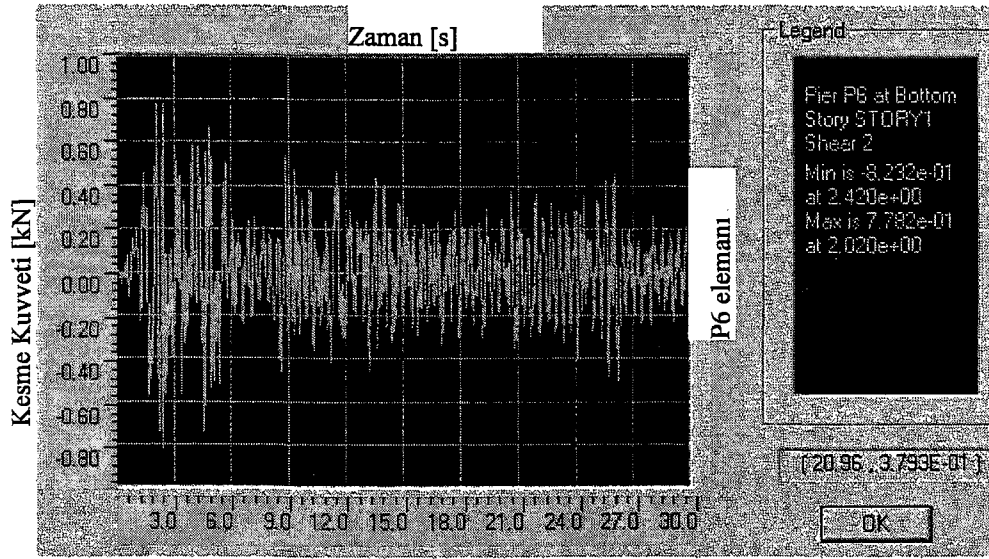
Şekil 3.31. P6 duvar elemanındaki kesme kuvveti değişimi

Duvarların köşelerde birleşmemesi durumunda duvar üst noktasının yerdeğiştirme değişimi Şekil 3.32’de gösterilmiştir.



Şekil 3.32. Duvar üst noktası yerdeğiştirme değişimi

Duvar üst noktasındaki yerdeğiştirme miktarının, duvar köşelerinin birleşmemesi durumunda ~%7 kadar arttığı görülmektedir. Duvar elemanlarından P6 elemanındaki kesme kuvveti değişimi Şekil 3.33’de görülmektedir.



Şekil 3.33. P6 duvar elemanındaki kesme kuvveti değişimi

Duvarların birleşmemesi durumunda P6 elemanındaki kesme kuvveti değerinin %27~%30 oranında azaldığı görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Günümüzde geleneksel yapım sistemlerine alternatif olarak endüstrileşmiş yapım sistemleri kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerin üstünlükleri, taşıyıcı sistem elemanlarını oluşturan malzemenin kalitesi, taşıyıcı sistem elemanlarının hafifliği, inşaat süresinin kısalığı, nakliye maliyetinin düşük olması, ısı ve ses yalıtımının iyi olması, üretim tesislerinin basitliği, ekonomik olması gibi özelliklerdir. Ülkemizde az katlı yapılar genellikle yığma ve betonarme olarak inşa edilmektedir. Bu tür yapılar mühendislik hizmeti görmeden ehil olmayan kişiler tarafından inşa edilebilmektedir. Kullanılan betonun kalitesi genelde denetlenmemektedir. Bu nedenle endüstrileşmiş yapım sistemlerini yaygınlaştırmak böylesi sorunları azaltacaktır. Ülkemizde uygulanan bazı yeni yapım sistemleri genelde yabancı kaynaklıdır. Yöntemlerin alındığı ülkelerin depremle ilgili geçmişlerinin olmaması bu sistemlerin adapte edilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Bu çalışmada endüstrileşmiş yapım sistemlerinden üç tabakalı kompozit panelli yapı sistemi, yapısal tasarım problemleri incelenmiştir.

1. Taşıyıcı sistemde kullanılan elemanların düzlemine dik yükler altındaki rijitliği, kayma elemanları olarak düzenlenen kafes donatısının birim alanda, yoğunluğundaki artışa uygun olarak beklendiği gibi artarak değişmektedir.
2. Taşıyıcı sistem elemanlarının düzlemi içindeki yüklerden dolayı rijitliklerini hesaplarken eğilme ve kayma şekil değiştirmeleri gözönüne alınmaktadır. Kayma şekil değiştirmelerinin hesabında duvar elemanının kesit şeklinin I veya T olması duvar rijitliğini önemli oranda değiştirmektedir.
3. Taşıyıcı sistem elemanlarının birleşim yerlerinin iyi detaylandırılması nedeniyle yatay yükleri karşılayan duvar kesitleri I veya T biçiminde olabilmektedir. Üç tabakalı kompozit panel elemanlardaki etkin kalınlık her iki yüzdeki beton tabakanın kalınlıkları toplamı olarak alınmalıdır. Bu durumda duvar elemanındaki etkili genişlik duvarın etkin et kalınlığının 6 katına kadar alınabilir. Yapılan çalışmada etkili genişliğin duvar kalınlığına oranının 2~6 arasında

değişmesinin duvar elemanının rijitliğini  $\sim\%(10\sim25)$  oranında artırdığı görülmüştür.

4. Duvar elemanlarında kapı ve pencere boşlukları bulunabilir. Boşluklu duvarlar, alt elemanlara ayrılarak her elemanın denge denklemleri ve uygunluk koşulları yazılır ve bilinmeyen yerdeğiştirmeler hesaplanmak suretiyle duvar elemanının toplam yerdeğiştirme miktarı elde edilebilir. Pratik olarak, etkili genişliğin değişimi ile birlikte boşluk oranı ve yerinin rijitlik değişimine etkisinin önemli olmadığı yapılan örneklerden anlaşılmıştır.
5. Literatürde kayma şekil değiştirmelerinin hesaplanmasında kullanılan kayma şekil değiştirmesi katsayısının ( $k_s$ ) tablalı kesitlerde 1.0 alınabileceği belirtilmekle birlikte bazı kaynaklarda I kesitler için (kesit alanı/gövde alanı) olarak verilmiştir [22].  $k_s$  için yapılan analitik hesaplamalarda T ve I kesitler için  $k_s$ 'in 1.0'den farklı değerler alabileceği belirlenmiş, farklı etkili genişlikler için  $k_s$  değerinin duvar rijitliğine etkisi gösterilmiştir.
6. Bu tür yapıların yatay yüklere göre hesabında doğrusal hesap yöntemleri kullanılmış, bu çalışmada önerilen/beklenen taşıyıcı sistem süneklik katsayısının 2.5~4 değerlerini sağlayıp sağlamadığının kontrolü daha sonraki çalışmalara bırakılmıştır.

Üç tabakalı kompozit panelli yapı sistemlerinin yatay yüklere göre hesabı için açıklanan yöntem bu sisteme benzer, malzemenin homojen olduğu diğer az katlı endüstrileşmiş yapı sistemlerinde de kullanılabilir. Duvar elemanlarının rijitliklerinin hesaplanmasında kullanılan kayma şekil değiştirmesi ( $k_s$ ) katsayıları Bölüm 3'de verilen bağıntılardan ya da Ek'lerde verilen grafiklerden elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

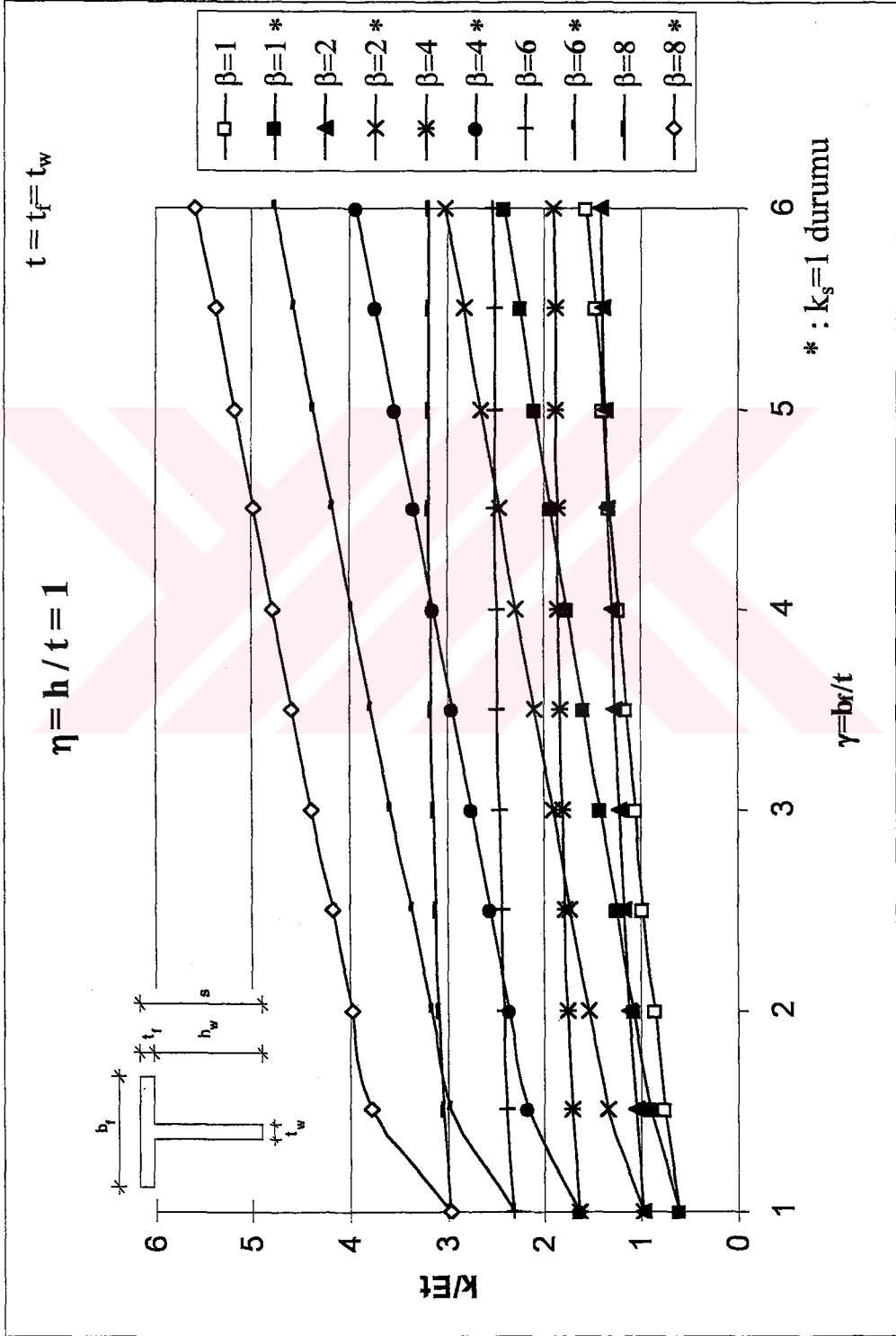
- [1] **Benjamin, J. R.**, 1959. *Statically Indeterminate Structures*, McGraw-Hill, USA.
- [2] **Sahlin, S.**, 1971. *Structural Masonry*, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- [3] **Utku, B.**, 1977. Deprem bölgelerindeki tek katlı, tek boşluklu taşıyıcı duvarlarda boşluk-duvar, boşluk-donatı, morfotektonik ilişkileri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] **Bayülke, N.**, 1978. Tuğla yığma yapıların depremlerdeki davranışları, *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, **22**, 26-41.
- [5] **Çılı, F.**, 1978. Yığma yapıların yatay yüklere göre hesabı, *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, **22**, 7-25.
- [6] **Bayülke, N.**, 1980. Yığma Yapılar, İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.
- [7] **Thiruvengadam, V.**, 1985. On the natural frequencies of infilled frames, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **13**, 401-419.
- [8] **Hendry, A. W.**, 1990. *Structural Masonry*, MacMillan, HongKong.
- [9] **Shing, P. B., Schuller, M., Hoskere, V. S.**, 1990. In-plane resistance of reinforced masonry shear walls, *Journal of Structural Engineering*, **116**, 619-640.
- [10] **Shing, P. B., Schuller, M., Hoskere, V. S., Carter, E.**, 1990. Flexural and shear response of reinforced masonry walls, *ACI Structural Journal*, **87**, 646-656.
- [11] **Sucuoğlu, H., McNiven, H. D.**, 1991. Seismic shear capacity of reinforced masonry piers, *Journal of Structural Engineering*, **117**, 2166-2186.
- [12] **Hendry, A. W.**, 1991. *Reinforced & Prestressed Masonry*, Longman Scientific & Technical, England.
- [13] **MacDonnal, H. M.**, 1992. Certificado de aptitud tecnica general disposicion renovacion dnt no 2056, sistema constructivo denominado: Cassaforma.
- [14] **Paulay, T., Priestley, M. J. N.**, 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

- [15] **Schrefler, B.**, 1993. Università degli studi di padova-facoltà di ingegneria, istituto di scienza e tecnica, delle costruzioni, certificato n. 158657.
- [16] **Schrefler, B.**, 1993. Università degli studi di padova-facoltà di ingegneria, istituto di scienza e tecnica, delle costruzioni, certificato n. 159734.
- [17] **Macey, R.D.**, 1994. Evaluation of the ebs panels direct withdrawal and lateral load capacity of #4 deformed reinforcing bar with embedments of 6, 12, 18 and 24 inches, *Ramtech Laboratories, Inc. Technical Report* ic-1281-94 lab. No. 9936-93 14104 orange avenue paramount, ca 92571.
- [18] **Macey, R.D.**, 1994. Evaluation of the ebs panels for uniform transverse load, axial, combined axial and bending load and racking shear, *Ramtech Laboratories, Inc. Technical Report* ic-1261-94 lab. No. 9936-93 14104 orange avenue paramount, ca 92571.
- [19] **Macey, R.D.**, 1994. Evaluation of the ebs panels for wall to wall, roof to wall and wall to floor, *Ramtech Laboratories, Inc. Technical Report* ic-1288-94 lab. No. 9936-93 14104 orange avenue paramount, ca 92571.
- [20] **Weaver, F.E.**, 1994. Monolithic building systems, artzer panel construction techniques.
- [21] **Weaver, F.E.**, 1994. Structural calculations, artzer panel, monolithic building systems 3245 production avenue oceanside, california 92054.
- [22] **Drysdale, R. G., Hamid, A. A., Baker, L. R.** 1994. Masonry Structures Behavior and Design, Prentice Hall, New Jersey.
- [23] **Rutenberg, A.**, 1994. Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam.
- [24] **Ambrose, J., Vergun, D.**, 1995. Simplified Building Design For Wind and Earthquake Forces, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- [25] **Katsube, N.**, 1995. Estimation of effective elastic moduli for composites, *International Journal of Solids and Structures*, **32**, 79-88.
- [26] **Salmon, D. C., Einea, A.**, 1995. Partially composite sandwich panel deflection, *ASCE Journal of Structural Engineering*, **121**, 778-783.
- [27] Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche, 1996. Gazzetta ufficiale della repubblica Italiana,
- [28] **Çelik, O. C.**, 1996. Gövdesi boşluklu çelik I kirişlerin incelenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [29] **Cau, P.**, 1997. Solaio alleggerito, MS-3/16 sistema moneta programma monolit/2, *Csi*, rapporto di prova, no **cf02/006/97**.
- [30] **Cau, P.**, 1997. Solaio alleggerito, MS-3/16 sistema moneta programma monolit, *Csi*, rapporto di prova, no. **cf02/007/97**.

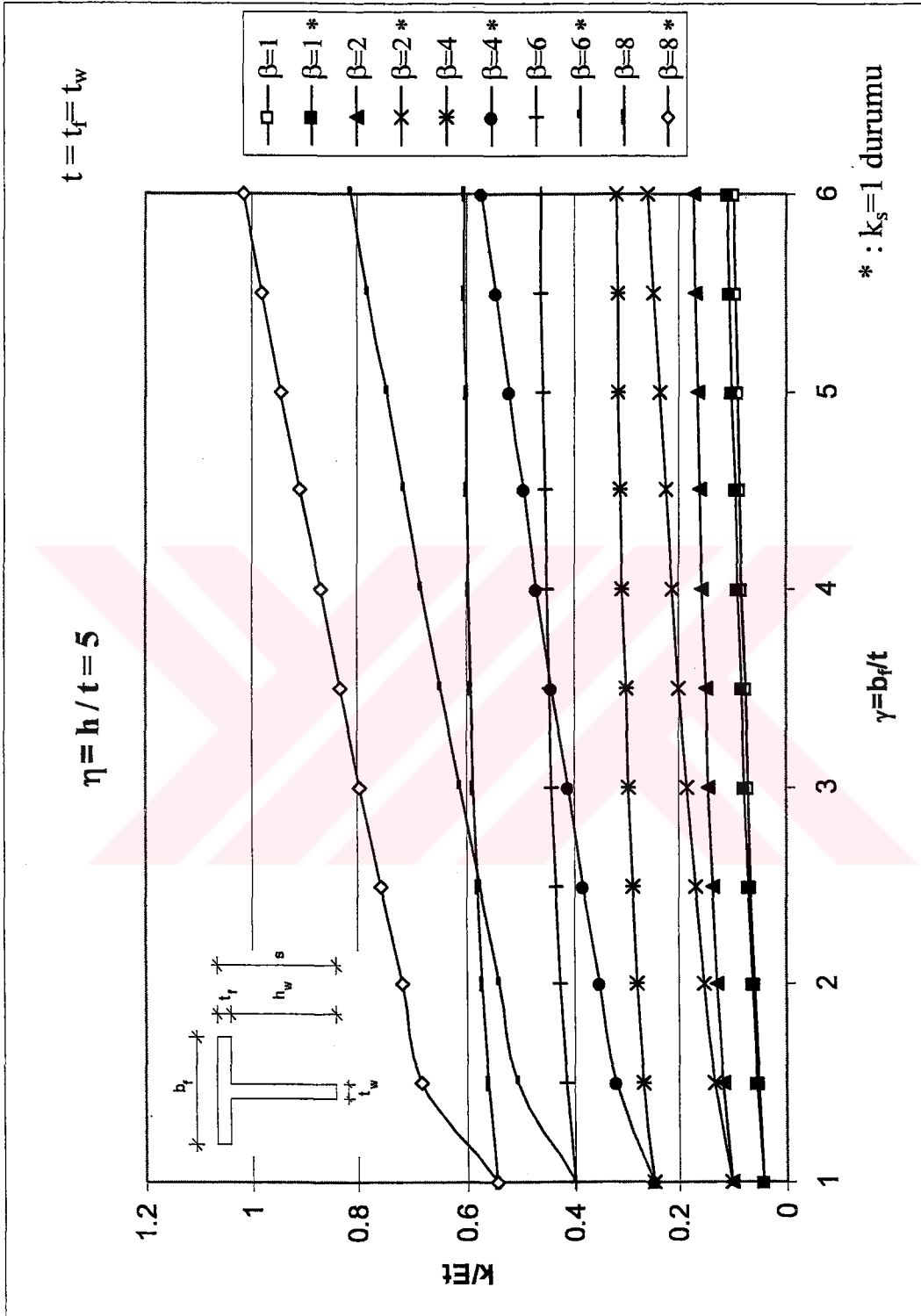
- [31] **Annunziata, A., Borri, A., Speranzini, E.**, 1999. Prove dinamiche sul sistema cosruttivo m<sup>2</sup> emmedue, Isrim, Università di Perugia.
- [32] **Barsotti, R., Ligaro, S.**, 1997. Non-linear analysis of unreinforced masonry buildings under horizontal loads, *Proceedings of Fourth International Symposium on Computer Methods in Structural Masonry*, Florence, Italy, 3-5 September.
- [33] **Baxter, S. C., Horgan, C.O.**, 1997. Anti-plane shear deformations of anisotropic sandwich structures: end effects, *International Journal of Solids and Structures*, **34**, 79-98.
- [34] **Bosiljkov, V., Kralj, B., Zarnic, R., Pande, G.N.**, 1997. Finite element analysis of model shear tests, *Proceedings of Fourth International Symposium on Computer Methods in Structural Masonry*, Florence, Italy, 3-5 September.
- [35] **Hendry, A. W., Sinha, B. P., Davies, S. R.**, 1997. Design of Masonry Structures, Chapman & Hall, London.
- [36] **Magenes, G., Calvi, G.M.**, 1997. In-plane seismic response of brick masonry walls, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **26**, 1091-1112.
- [37] **Negro, P., Colombo, A.**, 1997. Irregularities induced by nonstructural masonry panels in framed buildings, *Engineering Structures*, **7**, 576-585.
- [38] **Salmon, D. C., Einea, A., Tadros, M. K., Culp, T. D.**, 1997. Full scale testing of precast concrete sandwich panels, *ACI Structural Journal*, 354-362.
- [39] **TS500**, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [40] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, Ankara.
- [41] **Çelik, O. C., Çılı, F., Özgen, K.**, 1998. Cantilevers in reinforced concrete structures, *Eleventh European Conference on Earthquake Engineering*, CDROM, 06-11 September, Paris.
- [42] **Harris, H. A.**, 1988. Masonry: Materials, Design, Construction, and Maintenance, Baltimore.
- [43] **Mourtaja, W., Yüksel, E., İlki, A., Karadoğan, F.**, 1998. 3D behavior of shotcreted lightweight panel buildings, *Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, İstanbul, February 23-25, 42-44.
- [44] **ER-5154**, 1999. Artzer Panel, Evaluation report, *International Conference for Building Officials*, Whittier, California.

- [45] **Report 94-601999**, 1999. Artzer Panel, Research, division 03, concrete, *BOCA National Building Code*, USA.
- [46] **Ambrose, J., Vergun, D.**, 1999. Design For Earthquakes, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- [47] **Altenbach, H.**, 2000. An alternative determination of transverse shear stiffnesses for sandwich and laminated plates, *International Journal of Solids and Structures*, **37**, 3503-3520.
- [48] **Çelik, O. C., Çılı, F., Özgen, K.**, 2000. 17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) depreminden gözlemler, *Yapı*, **218**, 65-76.
- [49] **Çelik, O. C., Özgen, K.**, 2000. Ultimate strength of steel I-beams at eccentric web openings, *International Conference on Steel Structures of the 2000's*, pp. 263-268, 11-13 September, İstanbul.
- [50] **Polyakov, V.**, 2000. Stress concentration in bending of sandwich orthotropic panels under point forces, *Composite Structures*, **48**, 177-181.
- [51] **Aka, İ., Çılı, F., Çelik, O. C.**, 2001. Depreme dayanıklı bina tasarımı ve uygulaması, *Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri*, İstanbul, 14-16 Mart, s. 9-21.
- [52] **Berdella, L., Genna, F.**, 2001. Elastic design of syntatic foamed sandwiches obtained by filling of three-dimensional sandwich fabric panels, *International Journal of Solids and Structures*, **38**, 307-333.
- [53] **Tomazevic, M.**, 1999. Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings, Imperial College Pres, London.

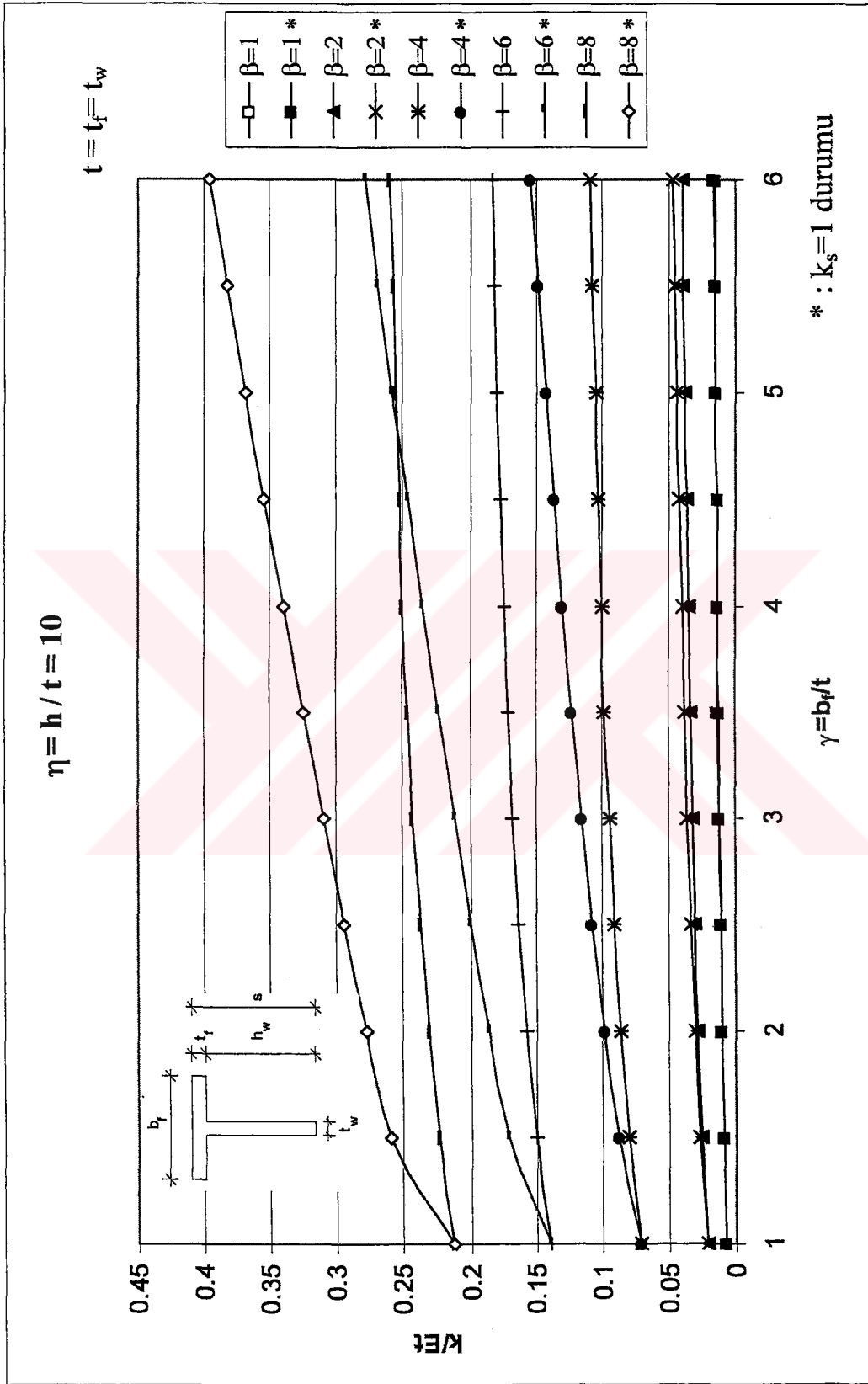
**EK.A: T KESİTLERDE  $b_f/t$  ORANININ DEĞİŞİMİNİN DUVAR RİJİTLİĞİNE ETKİSİ**



Şekil A.1. Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi

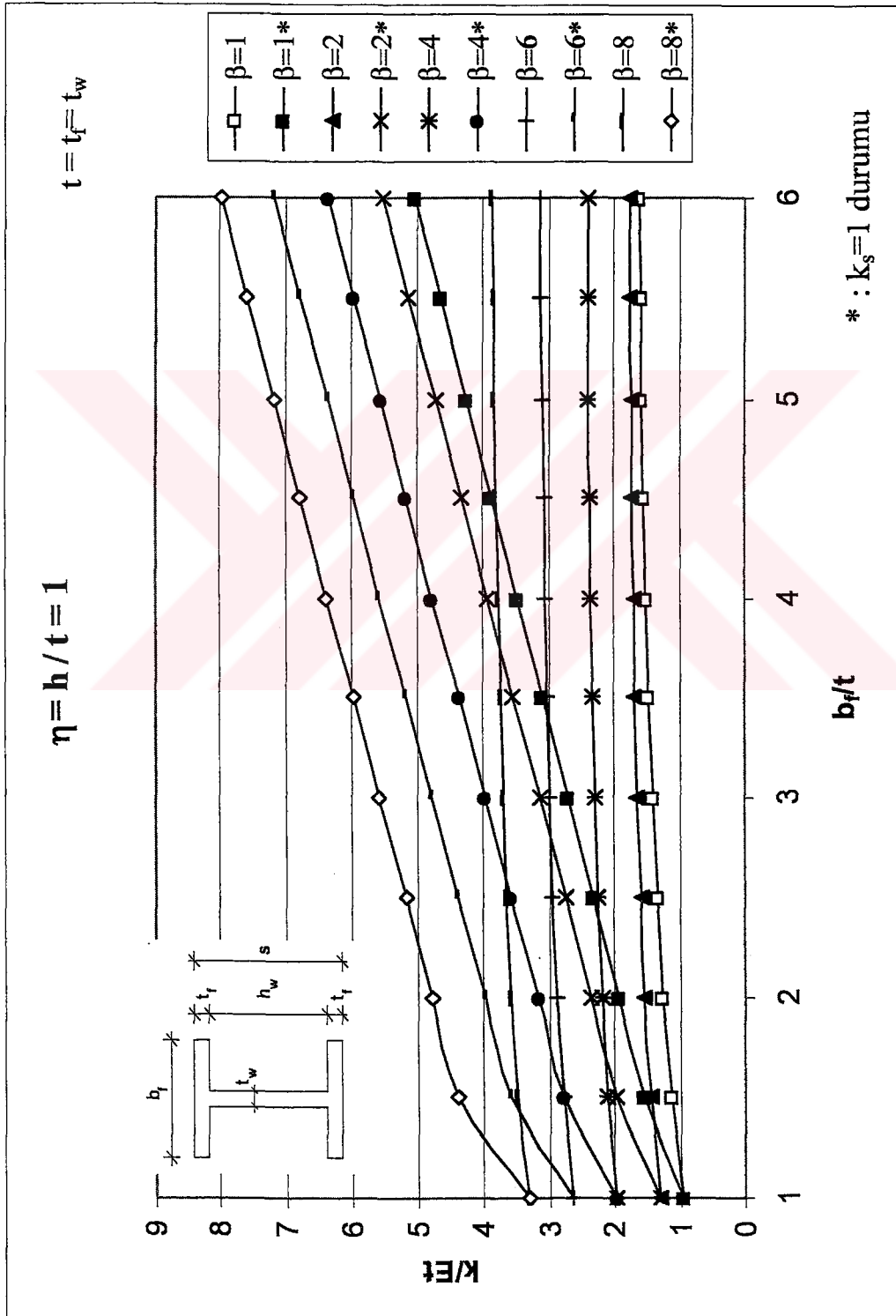


Şekil A.2. Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi

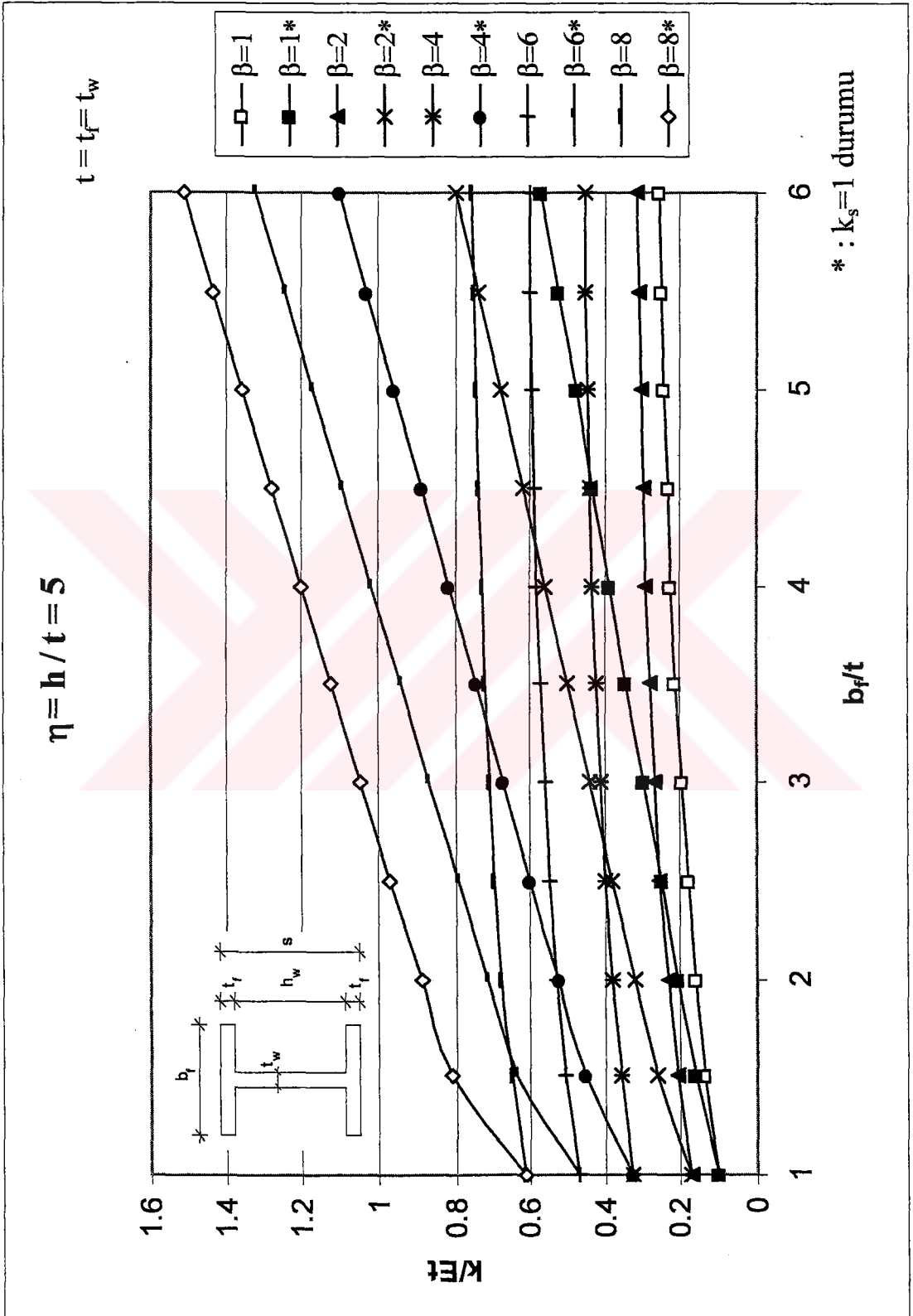


Şekil A.3. Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi

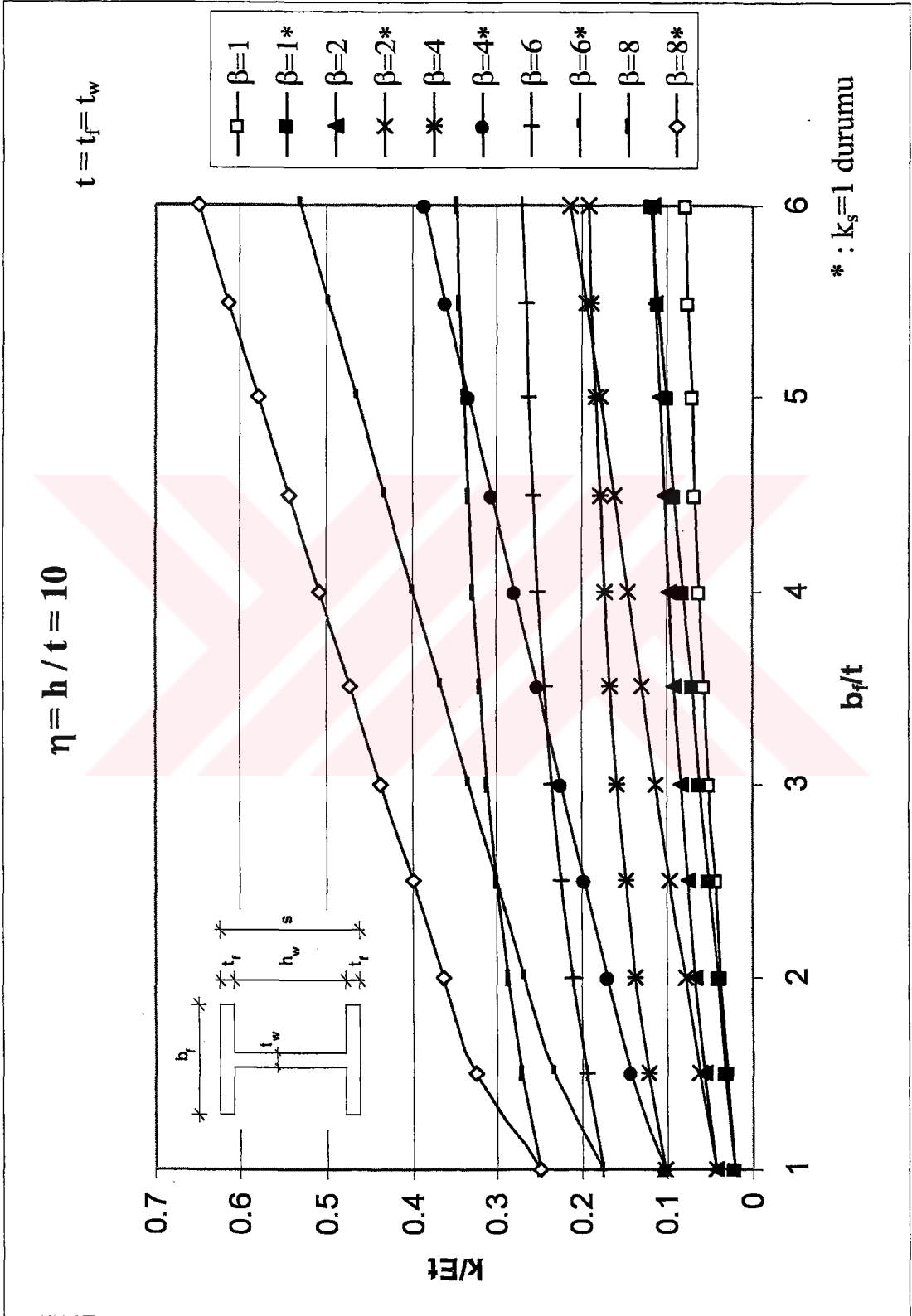
**EK.B: I KESİTLERDE  $b_f/t$  ORANININ DEĞİŞİMİNİN DUVAR RİJİTLİĞİNE ETKİSİ**



Şekil B.1. Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi

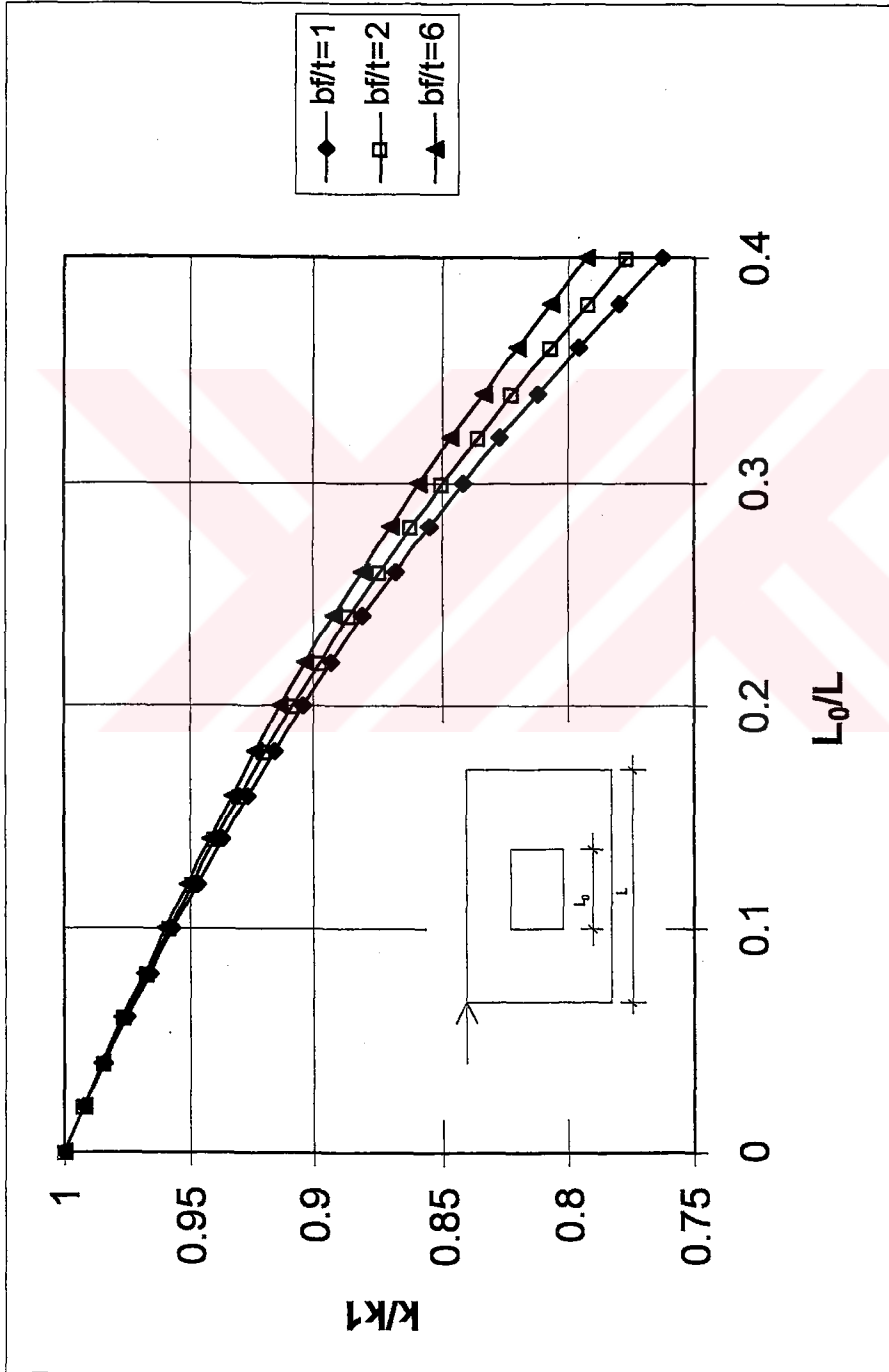


Şekil B.2. Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi



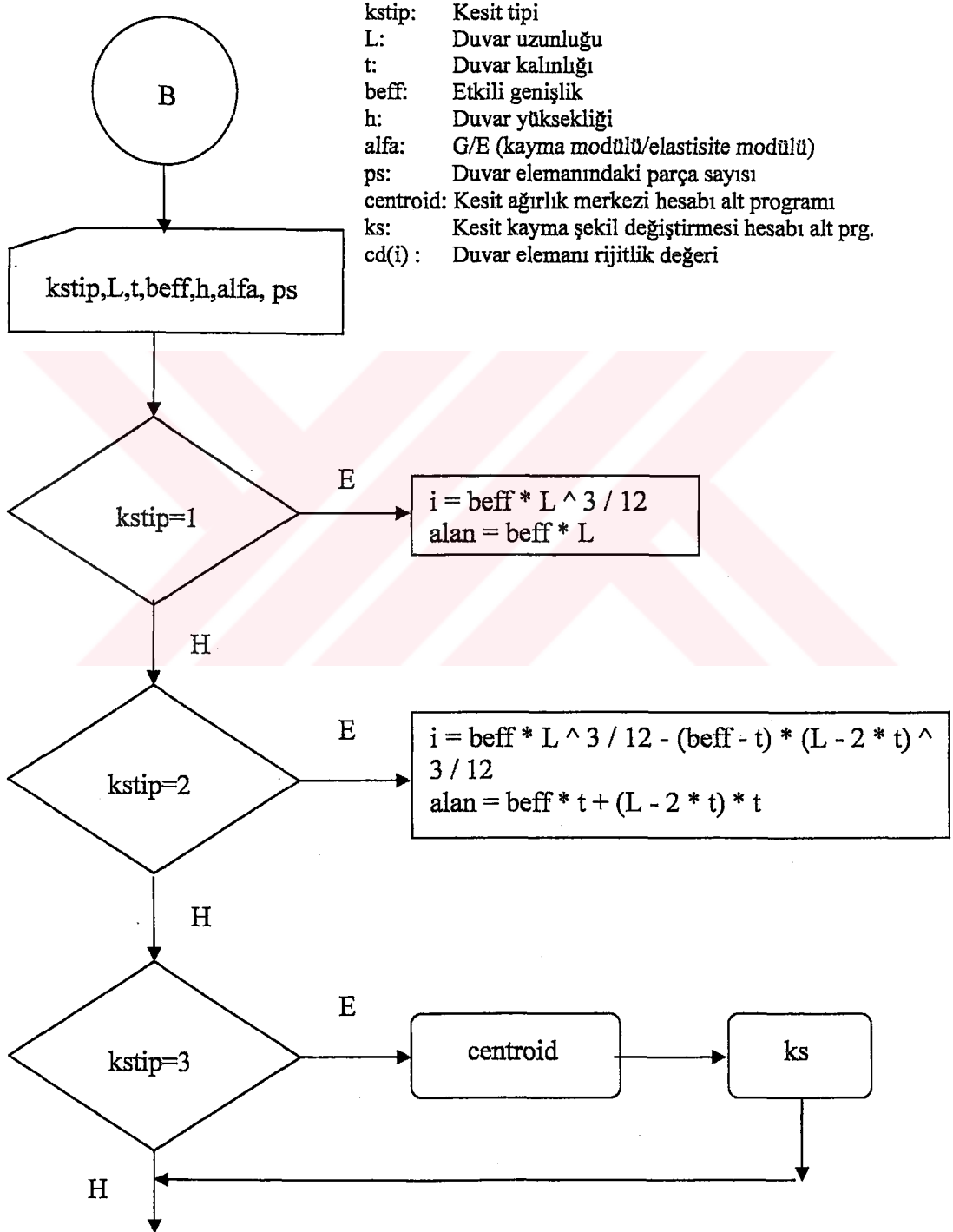
Şekil B.3. Etkili genişliğin gövde genişliğine oranının duvar öteleme rijitliğine etkisi

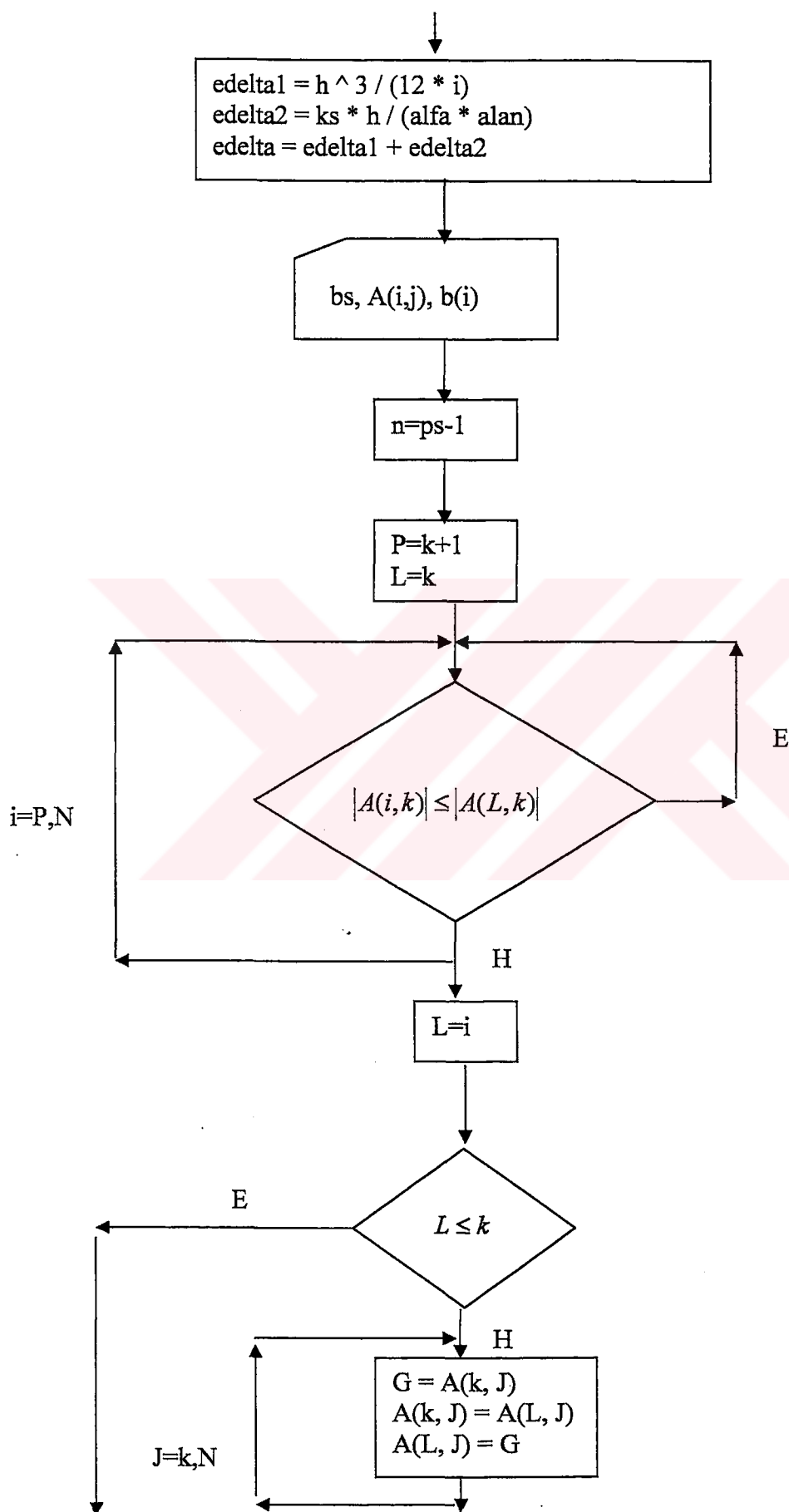
**EK.C: DUVARDAKİ BOŞLUKLARIN EFEKTİF GENİŞLİĞİN DUVAR KALINLIĞINA ORANININ DEĞİŞMESİNE BAĞLI OLARAK DUVAR RİJİTLİĞİNE ETKİSİ**

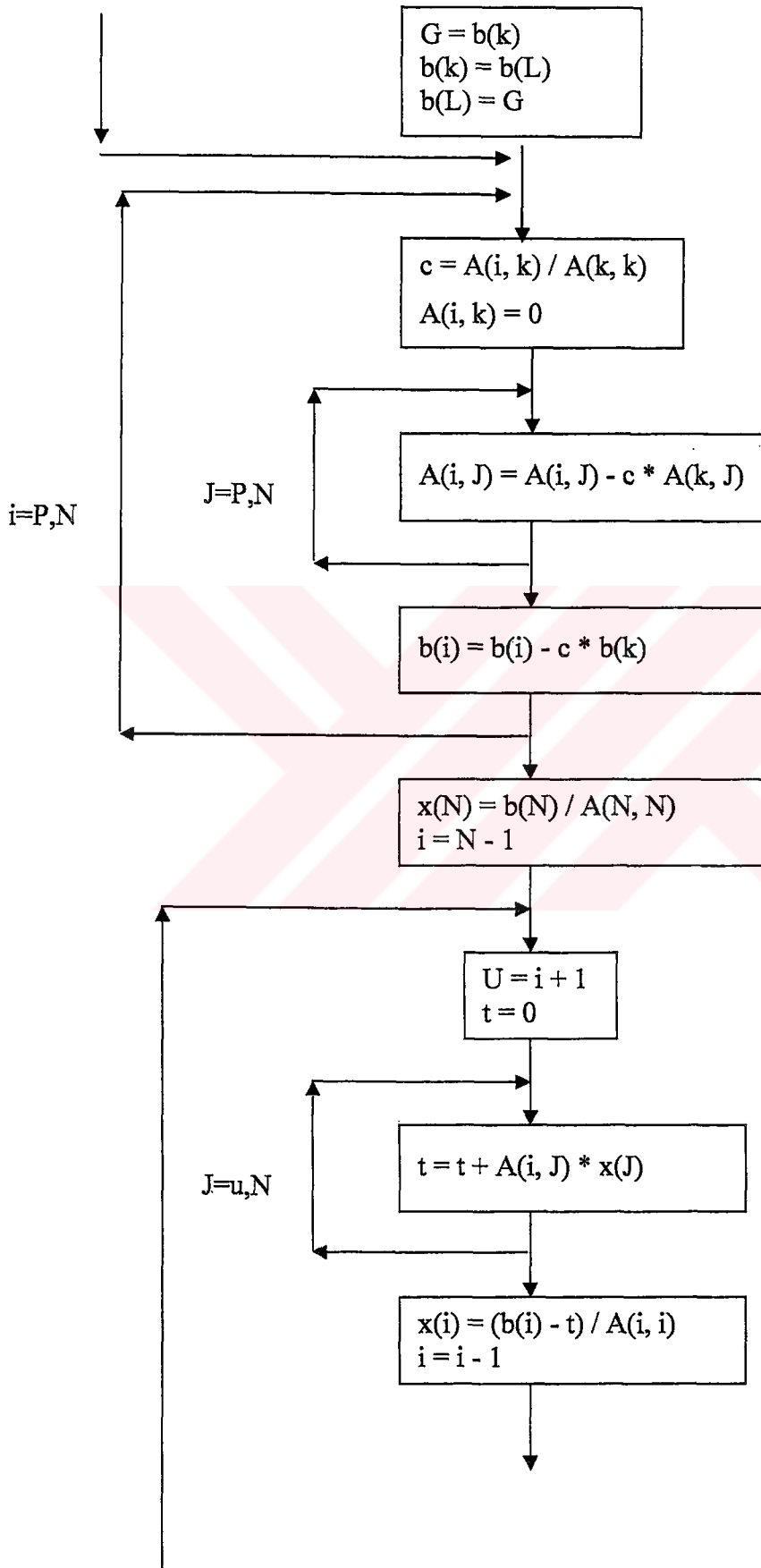


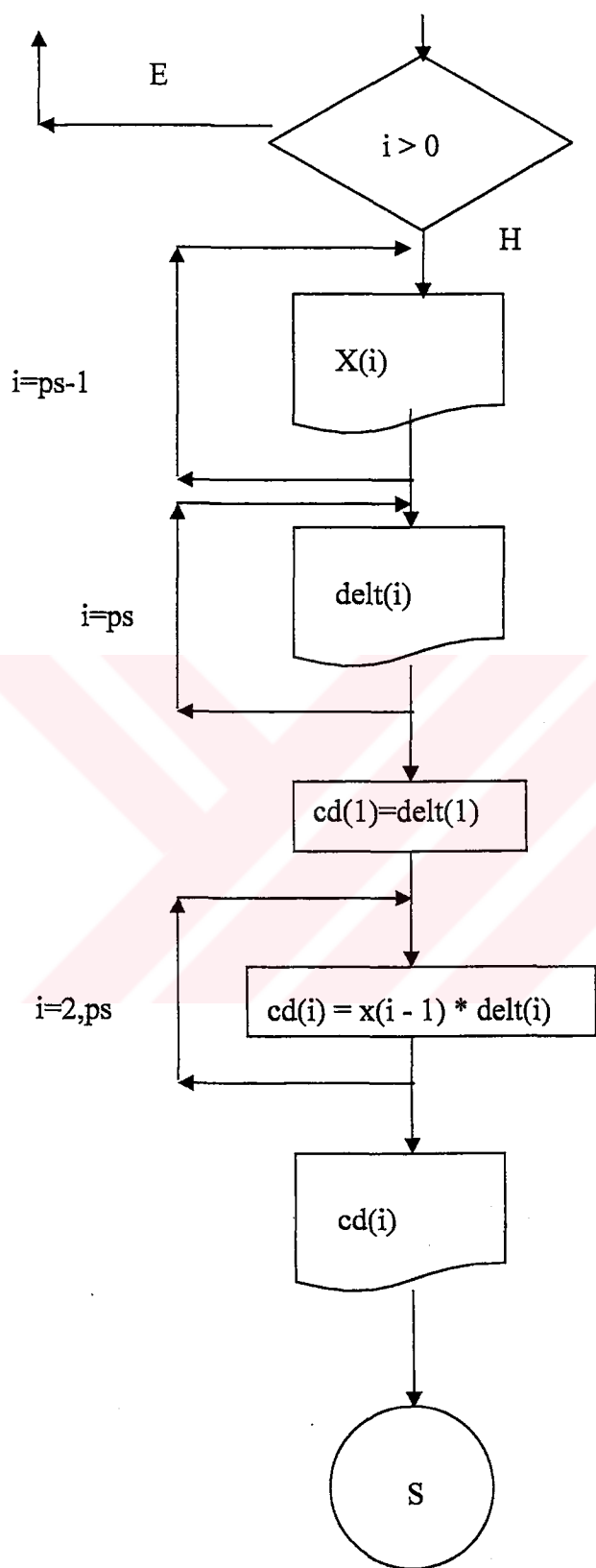
Şekil C.1. Boşluk büyüklüğünün etkili genişliğin gövde genişliğine oranına bağlı olarak duvar öteleme rijitliğine etkisi

## EK.D: BİLGİSAYAR PROGRAMI AKIŞ ŞEMASI









## ÖZGEÇMİŞ

21.07.1970 tarihinde İstanbul'da doğan Haluk SESİĞÜR, ilköğrenimini Feyzullah İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini ise Özel Kalamış Lisesi'nde tamamlamıştır. 1987 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesine girmiş, 1991 yılında çelik yapılar konusunda bitirme çalışması yaparak mezun olmuştur. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı'na başlamış 1994'de yine çelik yapılar konusunda yüksek lisans tezini tamamlayarak Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 1994 yılında doktora programına başlamıştır. Bu arada 1992 yılında İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Statîği ve Betonarme Birimi'ne atanan Haluk SESİĞÜR halen bu görevini sürdürmektedir.

