

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DÜŞEY TAŞIYICI ELEMANLARDA BETONARME PERDE DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adem ÖZKAN
İnş.Müh.

169053

Balıkesir, Ekim – 2005

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DÜŞEY TAŞIYICI ELEMANLARDA BETONARME PERDE DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Adem ÖZKAN
İnş.Müh.**

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Mehmet TERZİ

Sınav Tarihi : 04.10.2005

Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Şerif SAYLAN

(BAÜ)

Yrd.Doç.Dr. Mehmet TERZİ

(Danışman-BAÜ)

Yrd.Doç.Dr. Mehmet İREN

(BAÜ)

Balıkesir, Ekim – 2005

ÖZET

DÜŞEY TAŞIYICI ELEMANLARDA BETONARME PERDE DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Adem ÖZKAN
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Mehmet TERZİ)

Balıkesir, 2005

Bu çalışmada, yapıya etkiyen yatay kuvvetleri karşılamada büyük bir rolü olan betonarme perdeler üzerinde durulmuştur. Perdelerin nicelik özelliklerine göre tanımları yapıp sınıflandırılmıştır. Daha sonra deprem kuvvetlerine karşı perdeleri modellemek için boyutlama yapan mühendisin sağlamayı amaç edineceği üç temel kriter olan rijitlik, dayanım ve süneklik kavramları incelenmiştir. Bu niteliklerden rijitlik ve dayanım yakından bilinen kavramlar olduğundan perdelerin süneklik ile ilgili tanım ve özelliklerine detaylıca yer verilmiştir.

Betonarme perdeler için yönetmeliklere konu olan en önemli hükümler perdelerin uç bölge ihtiyacı ve bu bölgelerin boyutları hakkındadır. Bunun sebebi yatay kuvvetler altında perdelerin en fazla zorlandığı ve kesit tesirleri bakımından en kritik değerlere ulaştığı bölgeler olmasıdır. Perdeler için ön görülen bu hükümlerin temelinde süneklik özelliğinin perdeye kazandırılması yatmaktadır.

Perde kesitinin moment kapasitesi şekil değiştirme uygunluk analizinden yani taşıma gücüne dayanılarak hesaplanır. Sarılma bölgesinin ihtiyacının tayini ise deplasmana dayalı tasarım ile belirlenebilir. Bu çalışmada betonarme perdeler için Amerika yönetmeliklerinde ve perdeler ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanılan deplasmana dayalı tasarımın basitleştirilmiş bir şekilde uygulaması gösterilmiştir.

Temel prensiplerin ve boyutlama esaslarının daha iyi anlaşılması ve özellikle A.B.Y.Y.H.Y. hükümlerinin perde uç bölgeleri için ön gördüğü kriterlerin uygunluğunun izlenmesi amacı ile, taşıyıcı sistem bünyesinde yönetmelik hükümlerine göre betonarme perde tanımına haiz bir yapı elemanı bulunduran bir konut binasının statik ve betonarme hesapları yapılmıştır. Daha sonra yapı bünyesindeki bu perde elemanın uç bölgesi ihtiyacının ve boyutlarının ne şekilde olması gerektiğini, deplasmana dayalı tasarım ve sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapılarak irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak A.B.Y.Y.H.Y. bünyesindeki betonarme perdeler için ön görülen uç bölge boyutlarının uygunluğu saptanmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER : betonarme perde / perde uç bölgeleri / deplasmana dayalı tasarım / sonlu elemanlar yöntemi

ABSTRACT

A STUDY TO INVESTIGATE THE REINFORCED CONCRETE SHEAR WALL BEHAVIOR IN VERTICAL LOAD RESISTING ELEMENTS

Adem ÖZKAN
University of Balıkesir, Institute of Science,
Department of Civil Engineering

(M. Sc. Thesis / Supervisor : Assistant Professor Mehmet TERZİ)

Balıkesir -Turkey, 2005

This study focuses on the reinforced concrete shear walls that have a major part in resisting lateral forces. The shear walls are defined and classified according to their quantitative properties. Afterwards, the stiffness, strength and ductility concepts are investigated. These are the main criteria for a design engineer in order to design those reinforced concrete structural elements for earthquake resistance. Among these criteria, stiffness and strength are well known qualities, so the ductility characteristics of shear walls are presented in detail.

Seismic design provisions for shear walls are mostly concerned about the detailing requirements at the boundaries regions and their dimensions. The reason for this is that the internal forces, produced by the lateral forces, reach critical values in these zones. The objective of these provisions is to ensure ductile flexural response from the shear walls.

A strain compatibility analysis, assuming planar sections (linear strain), is used to assess the moment capacity of the shear wall sections, thus utilizing the ultimate strength theory. A displacement-based design procedure is used to determine the concrete confinement requirement at the boundaries of the shear walls. In this study, the application of a simplified displacement-based design procedure for shear walls is presented.

The reinforced concrete structure of a dwelling with a shear wall is designed according to the ABYYHY¹ specifications, in order to understand the fundamentals, design basis and especially to investigate the compatibility of the ABYYHY provisions for the boundary elements of the reinforced concrete shear walls. The requirement for special detailing at the boundaries of the shear wall and the boundary dimensions have been then evaluated using displacement-based design and finite element analysis. Finally, the comparison of the obtained results is used to evaluate the ABYYHY specifications to verify that they provide sufficient reliability for the dimensions of the boundary regions for shear walls.

KEYWORDS : reinforced concrete shear walls / boundary elements / displacement-based design / finite element analysis

¹ ABYYHY: Specifications For Structures To Be Built In Disaster Regions

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER | ii |
| ABSTRACT, KEYWORDS | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| SEMBOL LİSTESİ | vi |
| ŞEKİL LİSTESİ | xii |
| ÇİZELGE LİSTESİ | xv |
| ÖNSÖZ | xvi |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Konu İle İlgili Çalışmaların İncelenmesi | 2 |
| 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı | 6 |
| | |
| 2. BETONARME PERDELERİN NİCELİK ÖZELLİKLERİNE GÖRE TANIMLANMASI ve SINIFLANDIRILMASI | 8 |
| 2.1 Genel Tanım | 8 |
| 2.2 Geometrik Özelliklerine Göre Perdelerin Sınıflandırılması | 9 |
| 2.3 Davranış Biçimlerine Göre Dolu Gövdeli Perdelerin Sınıflandırılması | 10 |
| 2.4 En Kesit Şekillerine Göre Perdelerin Sınıflandırılması | 12 |
| 2.5 Yükseklik Etkisi İle Perdedeki Değişiklikler | 13 |
| | |
| 3. BETONARME PERDELERİN ÇÖZÜMLENMESİ | 15 |
| 3.1 Rijitlik | 15 |
| 3.2 Dayanım | 16 |
| 3.3 Süneklik | 16 |
| 3.3.1 Eğrilik | 17 |
| 3.3.2 Eğilme Sünekliği | 18 |
| 3.3.3 Ötelenme Sünekliği | 20 |
| 3.3.4 Eğilme Sünekliği İle Ötelenme Sünekliği Arasındaki İlişki | 22 |
| 3.3.5 Betonarme Perdelerde Plastik Mafsallık Boyu | 22 |
| 3.3.6 Süneklik Talebi | 23 |
| | |
| 4. BETONARME PERDELERİN BOYUTLANDIRILMASI | 25 |
| 4.1 Perdelerde Göçme Şekilleri | 25 |
| 4.2 Perdelerin Stabilitesi | 26 |
| 4.3 Perde Uç Bölgeleri | 30 |
| 4.3.1 Sarılma Bölgesi İhtiyacının Belirlenmesi | 30 |
| 4.3.2 Sarılma Bölgesinin Düşey Boyu | 33 |
| 4.4 Perdelerin Kesme Kuvveti Dayanımları | 34 |
| | |
| 5. BETONARME PERDELER İÇİN YÖNETMELİKLERDE YER ALAN KONSTRÜKTİF KURALLAR | 36 |
| 5.1 ACI_318-02 Hükümleri | 36 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2 EUROCODE 8 Hükümleri | 37 |
| 5.2.1 EUROCODE 8 EK-A Perde Uç Elemanlarının Ön Tasarımı | 38 |
| 5.3 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Hükümleri | 40 |
| 5.3.1 En Kesit Koşulları | 40 |
| 5.3.2 Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği | 40 |
| 5.4 Yönetmeliklerde Yer Alan Perde Donatı Düzenlerinin Karşılaştırılması | 42 |
| 6. PERDELİ ÇERVE TAŞIYICI SİSTEMLİ BİR YAPININ BÜNYESİNDEKİ PERDE ELEMANIN UÇ BÖLGE İHTİYACININ BELİRLENMESİ | 43 |
| 6.1 Bina Genel Bilgileri ve Planı | 43 |
| 6.2 Statik Hesap | 46 |
| 6.3 Perde Taban Kesitinin Betonarme Hesabı | 49 |
| 6.3.1 Donatı Düzenleme ve Kesit Boyutlarına Ait Kriterlere Uygunluk | 50 |
| 6.3.2 Betonarme Perdenin Taşıma Gücü | 51 |
| 6.3.3 Deprem Kuvvetleri Etkisinde Betonarme Perdenin Davranışı | 52 |
| 6.3.3.1 Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması | 53 |
| 6.4 Perdenin Deplasmana Dayalı Tasarıma Göre İncelenmesi | 54 |
| 6.4.1 Veriler | 54 |
| 6.4.2 Hesap | 55 |
| 6.4.3 Sonuç | 55 |
| 6.4.4 Sargı Uzunluğunun Belirlenmesi | 56 |
| 6.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Perdenin İncelenmesi | 57 |
| 6.5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi | 57 |
| 6.5.1.1 Hesapta İzlenen Yol | 60 |
| 6.5.1.2 İki Boyutlu Gerilme Analizi | 60 |
| 6.5.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Perde Elemanın Çözümü | 64 |
| 6.5.2.1 Veriler | 65 |
| 6.5.2.2 Yükleme Durumu | 66 |
| 6.5.3 Sonuç | 69 |
| 6.5.3.1 Tepe Deplasmanı | 69 |
| 6.5.3.2 Birim Şekil Değiştirme Grafiğinin Oluşturulması | 70 |
| 6.5.4 Perde Uç Deplasmanının $1.5H_w$ Olduğu Durum İçin Hesap | 72 |
| 6.5.4.1 Sonuç | 73 |
| 6.5.4.1.1 Tepe Deplasmanı | 73 |
| 6.5.4.1.2 Birim Şekil Değiştirme Grafiğinin Oluşturulması | 74 |
| 6.5.5 Hesap Değerlerinin Karşılaştırılması | 76 |
| 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER | 77 |
| KAYNAKLAR | 81 |

SEMBOL LİSTESİ

| Simge | Adı | Birimi |
|------------|---|---------|
| A_0 | Etkin yer ivmesi katsayısı | |
| A_{ch} | Perdenin brüt enkesit alanı | m^2 |
| A_{cv} | Perde uç elemanları arasında kalan gövde enkesit alanı, ACI_318-02 | in^2 |
| A_g | Perdenin brüt enkesit alanı, ACI_318-02 | in^2 |
| A_s | Gerekli donatı alanı | m^2 |
| $\sum A_g$ | Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı | m^2 |
| $\sum A_p$ | Binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı | m^2 |
| b_c | Perde kritik gövde kalınlığı | m |
| b_w | Perde gövde kalınlığı | m |
| C_t | Eşdeğer deprem yükü yönteminde birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı | |
| c | Tarafsız eksen mesafesi | m |
| c_y | Boyuna donatının ilk aktığı andaki tarafsız eksen mesafesi | m |
| d | Faydalı kesit yüksekliği | m |
| E | Deprem kuvveti | t |
| E | Betonun elastisite modülü | t/m^2 |
| E_s | Çelik elastisite modülü | t/m^2 |

| Simge | Adı | Birimi |
|--------------|---|------------------|
| F_i | Eşdeğer Deprem Yüktü Yönteminde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü | t |
| F_s | Çeliğin çekme kuvveti | t |
| f_c' | Betonun tasarım basınç dayanımı, ACI_318-02 | ksi |
| f_{cd} | Betonun tasarım basınç dayanımı | t/m ² |
| f_{ck} | Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı | t/m ² |
| f_{ctd} | Betonun tasarım çekme dayanımı | t/m ² |
| f_y | Boyuna donatının tasarım akma dayanımı, ACI_318-02 | ksi |
| f_{yd} | Boyuna donatının tasarım akma dayanımı | t/m ² |
| f_{yk} | Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı | t/m ² |
| H_{cr} | Kritik perde yüksekliği | m |
| H_s | Binanın ilk katının yüksekliği, EUROCODE 8 | m |
| H_i | Binanın ilk kat yüksekliği | m |
| H_w | Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği | m |
| h_i | Binanın i'inci katının kat yüksekliği | m |
| h_j | Binanın j'inci katının kat yüksekliği | m |
| I | Bina önem katsayısı | |
| I | Atalet momenti | m ⁴ |
| I_g | Perde atalet momenti | m ⁴ |
| l_c | Perde sarılma bölgesi uzunluğu, EUROCODE 8 | m |
| l_p | Plastik mafsalsal boyu | m |

| Simge | Adı | Birimi |
|--------------|---|---------------|
| ℓ_u | Perde sarılma bölgesi uzunluğu | m |
| ℓ_w | Perdenin plandaki uzunluğu | m |
| M_d | Tasarıma esas moment değeri | tm |
| M_r | Moment taşıma kapasitesi | tm |
| M_{taban} | Perde taban kesitinde oluşan moment değeri | tm |
| M_u | Yük katsayılarıyla çarpılmış moment değeri, ACI_318-02 | ft-kips |
| M_y | Perdenin akma momenti | tm |
| N | Eksenel kuvvet | t |
| N_d | Tasarıma esas eksenel kuvvet | t |
| n | Hareketli yük katılım katsayısı | |
| P_u | Yük katsayılarıyla çarpılmış eksenel kuvvet, ACI_318-02 | kips |
| R | Taşıyıcı sistem davranış katsayısı | |
| R_a | Deprem yükü azaltma katsayısı | |
| s | Donatı aralığı | m |
| $S(T)$ | Spektrum Katsayısı | |
| T | Bina doğal titreşim periyodu | sn |
| T_1 | Binanın birinci doğal titreşim periyodu | sn |
| T_{1A} | Binanın amirik bağıntı ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu | sn |
| T_A | Spektrum karakteristik periyodu | sn |
| T_B | Spektrum karakteristik periyodu | sn |
| V_{cd} | Kesme kuvvetini karşılanmasında betonun katkısı, EUROCODE 8 | t |

| Simge | Adı | Birimi |
|--------------|---|---------------|
| V_d | Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti | t |
| V_{rd2} | Perde gövdesinde eğik basınç gerilmeleri sonucu güç tükenmesinin engellemesi için getirilen kesme kuvveti üst sınır değeri, EUROCODE 8 | t |
| V_{rd3} | Perde gövdesinde eğik çekme gerilmeleri sonucu güç tükenmesinin engellemesi için getirilen kesme kuvveti üst sınır değeri, EUROCODE 8 | t |
| V_{sd} | Tasarım kesme kuvveti, EUROCODE 8 | t |
| V_t | Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti) | t |
| V_{taban} | Perde tabanındaki kesme kuvveti değeri | t |
| V_{wd} | Kesme kuvvetini karşılamada yatay ve düşey donatının katkısı, EUROCODE 8 | |
| V_u | Yük katsayılarıyla çarpılmış kesme kuvveti, ACI_318-02 | kips |
| $\sum W_i$ | Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı | t |
| α_c | Perde tasarım momentinin, tasarım kesme kuvveti ile perde uzunluğunun çarpımına oranı, EUROCODE 8 | |
| α_m | Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tabanında elde edilen eğilme momentleri toplamının, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam devrilme momentine oranı (Perde tabanındaki eğilme momentlerinin hesabında, perdeler düzleminde içinde sapslanan girişlerin uçlarında depremden meydana gelen kesme kuvvetlerinin katkısı da gözönüne alınabilir.) | |
| α_s | Perde tüm yüksekliğinin perde boyuna oranına bağılı katsayı, ACI_318-02 | |
| β | Açısal dönme | rad |
| θ_p | Plastik dönme | rad |
| Δ | Toplam şekil değıştirme | m |

| Simge | Adı | Birimi |
|-----------------|--|---------------|
| Δ_i | i nci katın görelî kat öteleme değeri | m |
| Δ_y | Elastik şekil değıştirme | m |
| Δ_u | Rölatif yer değıştirme | m |
| δ_y | Elastik ötelenme | m |
| δ_p | Plastik ötelenme | m |
| δ_u | Nihai ötelenme | m |
| μ | Süneklik | |
| μ_δ | Ötelenme sünekliği | |
| μ_ϕ | Eğilme sünekliği | |
| ϕ | Eğrilik | |
| ϕ_u | Nihai eğrilik | |
| ϕ_y | Akma eğriliği | |
| ϵ_{cc} | Betonun kritik birim kısalma değeri | |
| ϵ_{cu} | Betonun nihai birim kısalma değeri | |
| ϵ_{cy} | Betonun donatının ilk akmasına tekabül eden birim kısalma değeri | |
| ϵ_s | Çelik birim şekil değıştirme değeri | |
| ϵ_{sm} | Maksimum çekme şekil değıştirmesi | |
| ϵ_{yd} | Çelik akma şekil değıştirme değeri | |
| ρ | Hacimsel donatı oranı | |
| ρ_h | Perde hacimsel yatay donatı oranı, EUROCODE 8 | |

| <u>Simge</u> | <u>Adı</u> | <u>Birimi</u> |
|---------------------|-------------------|----------------------|
|---------------------|-------------------|----------------------|

| | | |
|----------|--|--|
| ρ_n | Perde gövdesindeki hacimsel yatay donatı oranı, ACI_318-02 | |
|----------|--|--|

| | | |
|-------------|--|--|
| ρ_{sh} | Perdede yatay gövde donatılarının perde gövdesi brüt enkesit alanına oranı | |
|-------------|--|--|

| | | |
|-------|--|--|
| ξ | Perde kalınlığı ile ilgili dış merkezlik | |
|-------|--|--|

| | | |
|-------|---------------|--|
| ν | Poisson oranı | |
|-------|---------------|--|



ŞEKİL LİSTESİ

| Şekil No | Adı | Sayfa |
|-----------------|---|--------------|
| Şekil 2.1 | Perde davranışı, çerçeve davranışı ve etkileşimleri | 8 |
| Şekil 2.2 | Perde tipleri | 10 |
| Şekil 2.3 | Kısa ve narin perde davranışı | 11 |
| Şekil 2.4 | Perdelerde karşılaşılan en kesit şekilleri | 12 |
| Şekil 2.5 | Yükseklikle değişen konsol perdeler | 14 |
| Şekil 3.1 | Perdelerde eğrilik | 18 |
| Şekil 3.2 | Perdelerde moment-eğrilik ilişkisi | 19 |
| Şekil 3.3 | Perdelerde ötelenme sünekliği | 20 |
| Şekil 3.4 | Perdelerde plastik dönme ve plastik mafsal boyu | 23 |
| Şekil 4.1 | Perdelerde göçme şekilleri | 25 |
| Şekil 4.2 | Perde uç bölgelerinde stabilite probleminin ortaya çıkışı | 26 |
| Şekil 4.3 | Düzlem dışı burkulma sebebiyle oluşan şekil değiştirmeler | 27 |
| Şekil 4.4 | Perde şekilde değiştirme dağılımları ve sarılma uzunluğu | 31 |
| Şekil 4.5 | Perde eğriliği, tepe deplasmanı ve basitleştirilmiş model | 32 |
| Şekil 4.6 | Sarılma bölgesinin düşey boyu | 34 |
| Şekil 5.1 | ACI_318-02'e göre perdelerde uç eleman gereksinimi | 36 |
| Şekil 5.2 | Eurocode 8'e göre perdelerde uç eleman gereksinimi | 37 |
| Şekil 5.3 | Eurocode 8'e göre kritik perde yüksekliği | 38 |
| Şekil 5.4 | A.B.Y.Y.H.Y.'e göre perde gövdesi ve perde uç bölgeleri | 41 |
| Şekil 6.1 | Altı katlı perdeli-çerçeve betonarme yapının planı | 44 |

| Şekil No | Adı | Sayfa |
|-----------------|--|--------------|
| Şekil 6.2 | C-C aksı (a-a kesiti) | 45 |
| Şekil 6.3 | Betonarme hesaba esas genişletilmiş moment ve normal kuvvet diyagramları | 48 |
| Şekil 6.4 | Perde kesiti üzerinde donatı düzeni | 49 |
| Şekil 6.5 | P01 perdesine ait karşılıklı etki diyagramı | 51 |
| Şekil 6.6 | P01 perdesine ait moment eğrilik ilişkisi | 52 |
| Şekil 6.7 | $1.0G + 1.0Q \mp 1.0E_x$ yük kombinasyonuna ait yatay deplasmanlar ve görelî kat ötelemeleri | 53 |
| Şekil 6.8 | Deplasman dayalı tasarıma göre perde birim şekil değıştirme dağılımı ve gerekli sarılma uzunluğu | 56 |
| Şekil 6.9 | Bir, iki ve üç boyutlu sonlu eleman örnekleri | 58 |
| Şekil 6.10 | Düzensiz geometriye haiz bir levhanın üçgen sonlu elemanlarla idealleştirilmesi | 59 |
| Şekil 6.11 | Düzlem gerilme hali | 61 |
| Şekil 6.12 | Üçgen ve dikdörtgen levha sonlu elemanlar | 63 |
| Şekil 6.13 | Üçgen ve dikdörtgen levha sonlu elemanlar uç serbestlikleri | 64 |
| Şekil 6.14 | Sonlu eleman düğüm noktası numaraları | 65 |
| Şekil 6.15 | Sonlu eleman numaraları | 65 |
| Şekil 6.16 | Koordinat sistemi | 65 |
| Şekil 6.17 | Perde elemana saplanan kirişler ve yerel koordinat eksenleri | 66 |
| Şekil 6.18 | Düğüm noktalarına etkitilen kesme kuvveti, moment ve normal kuvvetler | 69 |
| Şekil 6.19 | 8381 nolu düğüm noktasına ait deplasman değeri | 70 |
| Şekil 6.20 | 28 nolu sonlu eleman ve düğüm noktaları | 70 |
| Şekil 6.21 | 29 ve 58 nolu düğüm noktalarına ait deplasman değeri | 71 |

| Şekil No | Adı | Sayfa |
|-----------------|--|--------------|
| Şekil 6.22 | Sonlu eleman analizi sonu elde edilen birim şekil değiştirme grafiği | 71 |
| Şekil 6.23 | Düğüm noktalarına etkitilen değiştirilmiş kesme kuvveti, moment ve normal kuvvetler | 72 |
| Şekil 6.24 | Değiştirilmiş yükleme durumu için 8381 nolu düğüm noktasına ait deplasman değerleri | 74 |
| Şekil 6.25 | Değiştirilmiş yükleme durumu için 29 ve 58 nolu düğüm noktalarına ait deplasman değerleri | 74 |
| Şekil 6.26 | Sonlu eleman analizi sonucu değiştirilmiş yükleme durumuna göre elde edilen birim şekil değiştirme grafiği | 75 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| Çizelge No | Adı | Sayfa |
|-------------------|---|--------------|
| Çizelge 2.1 | Betonarme perde tanımları | 9 |
| Çizelge 2.2 | Davranış biçimine göre perde tanımı | 11 |
| Çizelge 3.1 | Perdelerde etkiliği eğilme rijitliği | 15 |
| Çizelge 4.1 | Yönetmeliklerdeki kritik perde yükseklikleri | 33 |
| Çizelge 4.2 | Yönetmeliklerdeki kesme kuvveti sınır formülleri | 35 |
| Çizelge 5.1 | Yönetmeliklerdeki donatı koşullarının karşılaştırılması | 42 |
| Çizelge 6.1 | Bina genel bilgileri | 43 |
| Çizelge 6.2 | Taşıyıcı eleman boyutları ve kat ağırlıkları | 44 |
| Çizelge 6.3 | Kat hizalarına etkileyen yatay kuvvetler | 46 |
| Çizelge 6.4 | Toplam devrilme momenti | 47 |
| Çizelge 6.5 | Perde taban momenti | 47 |
| Çizelge 6.6 | Kat hizalarına etkileyen düzeltilmiş yatay kuvvetler | 48 |
| Çizelge 6.7 | Betonarme hesaba esas kesit tesirleri | 51 |
| Çizelge 6.8 | Perdeye saplanan kirişlerin 1.0G+1.0Q+1.0E yüklemesi sonucu perdeye saplandıkları düğüm noktalarında oluşan kesit tesirleri değerleri | 67 |
| Çizelge 6.9 | Düğüm noktalarına etkitilen bileşke kuvvetler | 68 |
| Çizelge 6.10 | Hesaplanan değerlerin karşılaştırılması | 76 |

ÖNSÖZ

Lisans üstü eğitim yönetmeliğinde tezli yüksek lisans programının amacı, öğrencinin bilimsel araştırma yaparak bilgilere erişme, bilgiyi ve yorumlama yeteneğini kazanmasını sağlamaktır denilmektedir. Belirtilen bu amaç doğrultusunda yüksek lisans öğrenimim boyunca yakın ilgi ve değerli yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr.Mehmet TERZİ'ye gönülden teşekkür ediyorum.

Gerek lisans gerekse de lisans üstü öğrenim hayatım boyunca yardımlarını esirgemeyen, destekleyen ve beni eğiten saygı değer Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım esnasında bilgi ve düşünceleri ile bana destek olan İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlilerinden Sayın Yıldır AKKAYA'ya teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteklerini yanımda bulduğum, aileme de teşekkürü bir borç bilirim.

Balıkesir, 2005

Adem ÖZKAN

1. GİRİŞ

Günümüzde deprem ile ilgili tüm yönetmeliklerde benimsenen temel kriterler, dayanım, süneklik ve rijitliktir. Bu kriterler sağlandığında yapı deprem esnasında istenilen davranışı gösterebilecektir.

Bu kavramlardan dayanım yakından tanınan bir kavramdır. Dayanımın en güvenilir ölçütü taşıma gücüdür. Taşıma gücü hesabı yapılırken elemana etkiyen moment, aksel kuvvet, kesme kuvveti vb. gibi kuvvetler dikkate alınır.

Süneklik ise bir malzemenin veya yapı elemanının, yapının taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan büyük plastik deformasyon yapabilme özelliğidir. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar, bir betonarme yapının öngörülen şiddetli bir depremde elastik sınırlar içerisinde kalabilmesi ekonomik olarak sağlanamayacağını göstermiştir. Bu durumda depremde ayakta kalmanın tek yolu, ortaya çıkan enerjinin tüketilebilmesi ile mümkündür. Bu da sünekliğin çok önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Son olarak rijitlik ise deformasyona karşı gösterilen dirençtir. Deformasyon yer değiştirme veya dönme şeklinde olabilir. Basit olarak aynı yük altında daha az deformasyon gösteren eleman diğerinden daha rijittir. Yatay yükler altında rijitlik, elemanın eylemsizlik momenti ile doğru orantılı, boyu ile ters orantılıdır.

Perdeler, bahsedilen bu temel niteliklerin en uygun şekilde elde edilmesini sağlayabilecek bir yapı elemanıdır. Perdelerin rijitliklerinin oldukça büyük olması nedeniyle yapıya etkiyen yatay yüklerin önemli bir kısmını karşılarlar ve en kritik kesitleri olan taban kesitlerinde önemli eğilme momentleri meydana gelir. Bu eğilme momentlerini karşılamak üzere özenli bir şekilde düzenlenen perdeler, taşıyıcı sistemin toplam göçmesini önledikleri gibi, yapısal olmayan hasarların sınırlandırılmasında da etkili olurlar.

Sunulan bu tezde betonarme perdelerin kesit dizaynı, özellikle de uç bölge elemanlarının teşkili hakkında ayrıntılı bir inceleme sunulmuştur.

1.1 Konu İle İlgili Çalışmaların İncelenmesi

Son yıllarda betonarme perdeler için teknik olarak sağlam ve geniş çapta uygulanabilir tasarım hükümleri geliştirmek için önemli çabalar saf edilmiştir. Sebebi ise 1994'e kadar Amerikan deprem yönetmeliğinde perde özel uç bölgesi ihtiyacının belirlenmesinde kullanılan gerilme esaslı yöntemin, olması gerekenden çok daha fazla bir güvenlikte olması ve bunun sonucu olarak perde boyutlarının sürekli büyütülmesi ve bunun sonucunda perde temellerinin tasarımında çok büyük sıkıntılar ortaya çıkmasıdır.

Betonarme perdelerin uçlarındaki detaylandırma gereksiniminin hesabı için seksenli yılların sonundan doksanlı yılların ortalarına kadar yoğun bir şekilde çalışmalar sürdürülmüş ve neticesinde deplasmana dayalı dizayn yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemin deneysel sonuçlarla kanıtlanması ve SEAOC (Amerika Yapı Mühendisleri Birliği)'nin destekleriyle ilk olarak 1994 UBC yönetmeliğinde yerini aldı. Yöntem 1997 UBC de güncellenmiş ve halen kullanılmaktadır geçerlidir.

Türkiye'de ise 1997'den önceki deprem yönetmeliğimizde perde uç bölgeleriyle ilgili olarak herhangi bir tanım yapılmamış fakat "betonarme perde duvarların en kesitlerinin her iki ucunda perdenin plandaki büyük boyutunun %10 u boyutundaki bölgelerde düşey donatı aralığı yarıya indirilecektir" ibaresi yer almakta idi [1]. 1997 de yürürlüğe giren son deprem yönetmeliğimizde ise betonarme perdeler için daha geniş çaplı hükümlere yer verilmiştir. Öyle ki betonarme perde tanımını değiştirilmiş, uç bölgesi tanımı yapılmış ve donatılandırma ile ilgili detaylı hükümlere yer verilmiştir [2]. Fakat yönetmeliğimiz, Amerikan yönetmeliklerinde olduğu gibi betonarme perdelerin uç bölgesi ihtiyacı için ne gerilme esaslı ne de deplasmana dayalı tasarım ile ilgili hüküm içermemektedir. Perdenin uç bölgesi ihtiyacı tamamen perde kesitinin boyut özelliklerine göre belirlenmektedir.

Konu ile ilgili olarak 1980'lerden günümüze kadar perde dizayn hükümleri ile ilgili özellikle uç bölge ihtiyacını belirlemek için yapılan çalışmalar kronolojik sıra ile aşağıda sunulmuştur.

- (Paulay, T., 1986) Çok katlı betonarme yapıların tasarımında yatay kuvvetleri karşılamada betonarme perdelerin kullanılmasının, deprem etkilerinden dolayı meydana gelen hasarların sınırlandırılmasında çok önemli faydaları olduğunu göstermiş. Yapıdaki güç tükenmesinin eğilme şeklinde meydana gelmesi için gevrek olan güç tükenmelerinin yani diyagonal basınç veya çekme kırılmalarının, basınç altında betonun parçalanmasının, düğüm noktalarının sıyrılmasının ve boyuna donatılarının ani şekilde burkulmalarının önlenmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. İstenmeyen bu güç tükenme durumlarının önlemesini sağlamak için betonarme perdelerin potansiyel plastik mafsal bölgeleri için özel detaylandırma gerekliliğini vurgulamıştır [3].
- (Moehle, J.P. and Wallace, J.W. 1989) 5. Şili deprem ve deprem mühendisliği konferansında betonarme perdelerin sünekliği ve detaylandırma gereksinimleri hakkında bilgiler verilmiş ve perdeler için deplasmana dayalı dizayn yönteminin ilk temelleri atılmıştır [4].
- (Wallace, J. W., and Moehle, J. P. ,1992) Deprem etkilerine maruz bir yapı içerisindeki perdelerin uç bölge ihtiyacının belirlenmesi için bir analitik prosedür sunmuşlar. Prosedür yapının deplasman kapasitesi ile deplasmanların oluşturduğu etkilerin karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bağ kirişli perdeler için oldukça basit ifadeler bulunmuş. Bulunan bağıntılar laboratuvar gözlemlerinden ve üst düzey deprem çalışmalarıyla karşılaştırılarak doğrulanmıştır [5].
- (Moehle, J. P., 1992) Deprem kuvvetlerine maruz yapılarda hasarları meydana getiren ana sebebin deprem etkilerinin oluşturduğu deplasmanlar olduğunu vurgulamıştır. Yapının sonuç dizaynında, beklenen yapısal deplasmanları esas alan bir dizayn yaklaşımı geliştirmiştir.

Bu dizayn yaklaşımı sayesinde hem deplasman etkilerini kontrol edebilmekte hemde yapısal ve yapısal olmayan elemanların detaylandırılmasında büyük kolaylıklar sağlamıştır. Öne sürdüğü deplasmana dayalı dizayn yaklaşımının daha basit ve etkili olduğunu göstermek için geleneksel yöntemlerle karşılaştırarak doğrulamıştır [6].

- (Paulay, T. and Priestley, M. J. N., 1992) Betonarme ve yığma yapıların sismik dizaynı adı altında yayınladıkları kitapta betonarme perdelerin uç bölge ihtiyacının, perde enkesitine ait birim şekil değiştirme dağılımından saptanabileceğini göstermişlerdir [7].
- (Wallace, J. W, 1994) Betonarme perdelerin sismik dizaynı için yeni bir metot sunmuştur. Dikdörtgen ve kanatlı perde tipleri için uç bölgelerindeki özel detaylandırma gereksinimini elde etmek için bir analitik yaklaşım yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemde yapının beklenen deplasman değerine karşılık perde kesitinin birim şekil değiştirme dağılımı hesaplanmıştır. Hesaplanan birim şekil değiştirme dağılımına dayanılarak perde için sarılma bölgesi ihtiyacı belirlenmiştir. Sunulan analitik yöntemin doğruluğu Japonya'da üretilen birebir ölçekli bir yapının deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılarak sağlanmıştır [8].
- (Wallace, J. W, 1994) Betonarme perdelerin uç bölge ihtiyacı için geliştirdiği analitik yöntemi 15. Amerika Uluslararası Deprem Mühendisliği Konferansı'nda sunmuştur ve aynı yıl 10. Avrupa Deprem Mühendisliği Konferansı'nda da sunmuştur [9,10].
- (UBC, 1994) Betonarme perdeler için deplasmana dayalı tasarım hükümleri ilk defa yönetmelikte yer almıştır [11].
- (Wallace, J. W, 1995) Betonarme perdelerin sismik dizaynı için yeni kod formatı adı altında bir çalışma sunmuştur. Çalışma betonarme perdeler için uç bölge ihtiyacını belirlemede deplasmana dayalı tasarım yönteminin basit bir şekilde nasıl uygulanabileceğini göstermektedir.

Önerilen kod formatı o yıllarda perdeler için uygulanan kod formatının yerini alabilecek nitelikte olduğunu savunmuştur [12].

- (Wallace, J. W. and Thomsen, J. H., 1995) Betonarme perdelerin sismik dizaynı için sunulan yeni kod formatı çalışmasının sayısal uygulamasını sunmuşlardır [13].
- (Taylor, C.P. : Thomsen, J.H. and Wallace, J.W. 1996) 1. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansında betonarme perdeler için deplasmana dayalı dizayn prosedürünün deneysel verilerini sunarak prosedürün uygunluğunu göstermişlerdir [14].
- (ACI-318, 1999) Amerikan Beton Şartnamesi olan ACI-318'e betonarme perdelerin uç bölge ihtiyacının belirlenmesinde deplasmana dayalı yöntemin kullanılacağı hükmü yer almıştır. Deplasmana dayalı yöntemi oldukça basit bir formül yardımıyla boyutlama yapan mühendislere uygulamaktadır [15].
- (Wallace, J.W. and Orakcal, K., 2002) ACI_318-99'da betonarme perdeler için ön görülen uç bölge ihtiyacını belirleme prosedürünü tetkik ederek dizayn hükümlerinin oldukça güvenli bir şekilde sonuç verdiğini göstermişlerdir. Aynı zamanda şartnamenin eski versiyonu olan ACI_318-95 hükümlerinin eksiklerinin bu yeni getirilen yöntem ile kapatıldığını vurgulamışlardır [16].
- (ACI-318, 2002) Amerikan Beton Şartnamesi olan ACI-318'in yeni versiyonu yayınlanmış. Betonarme perdeler için dizayn hükümleri eski versiyon olan ACI_318-99'da bulunanlar ile aynı şekilde kalmıştır [17].
- (John H. Thomsen and John W. Wallace, 2004) Amerikan Beton Şartnamesi'nde bulunan deplasmana dayalı tasarım ile donatılan 4 değişik en kesitli perdenin dörtte bir ölçekli deney numuneleri hazırlanmış ve bu numunelere perdeler için kullanılabilir üst sınır olarak kabul edilen, perde yüksekliğinin %1.5'i değerinde deplasman yaptırılmıştır.

Daha sonra perde taban kesitindeki gerilme, birim kısalma ve asal eksen derinliği değerlerinin değişimine bakılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda yönetmeliğin sarılma ihtiyacını belirlemede kullanılabileceğinin varsaydığı 0.003'lük beton birim kısalmasına ait asal eksen derinliğinin, daha büyük kısalmalara ait asal eksen derinliğinden çok farklı olmadığı varsayımını doğrulamıştır. Deney numunelerine perde yüksekliğinin %1, %1.5 ve %2'lik üç değişik deplasman değeri yaptırılarak %1.5 den %2 ye doğru çıkan değerlerde perdelerin gevrek kırılma şeklinde güç tükettiğini gözlemlemişler ve %1.5'lik değer oldukça makul bir değer olduğunu saptamışlardır [18].

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada düşey taşıyıcı elemanlarda betonarme perde davranışının ve perde uç bölgelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışmanın kapsamını oluşturan konular şu şekilde özetlenebilir.

İlk etapta betonarme perdenin nicelik özelliklerine göre tanımları yapıp sınıflandırılmıştır. Bunun amacı düşey taşıyıcı eleman olarak perdenin, diğer düşey yapı elemanlarından ayıran özelliklerini ortaya çıkarmak ve aynı zamanda yapı içerisinde nicelik bakımından özelliklerinin değişmesi durumunda sahip olduğu sıfatları açıklamaktır.

İkinci bölümde perdenin maruz kaldığı yükler altında çözümlene yöntemleri ele alınmıştır. Bu bölümde tüm betonarme taşıyıcı elemanlar için temel alınan ana kriterlerin yani rijitlik, dayanım ve süneklik kavramları betonarme perdeler üzerinde incelenmiştir.

Üçüncü bölümde betonarme perdelerin boyutlandırılması konusu işlenmiştir. Bu bölümde perdelerin güç tüketme şekilleri, stabilitesi ve boyutlandırmanın en önemli faktörü olan perde uç bölgeleri konuları irdelenmiştir.

Dördüncü bölümde önceki bölümlerde açıklanan betonarme perdeler kazandırılması gereken tanım, çözümlene ve boyutlandırma konularının Amerika,

Avrupa ve Türkiye yönetmeliklerinde ne şekilde uygulandığının açıklanmasına yer verilmiştir. Bu bölümde yönetmeliklerde ön görülen hükümler özetlenerek karşılaştırılmıştır.

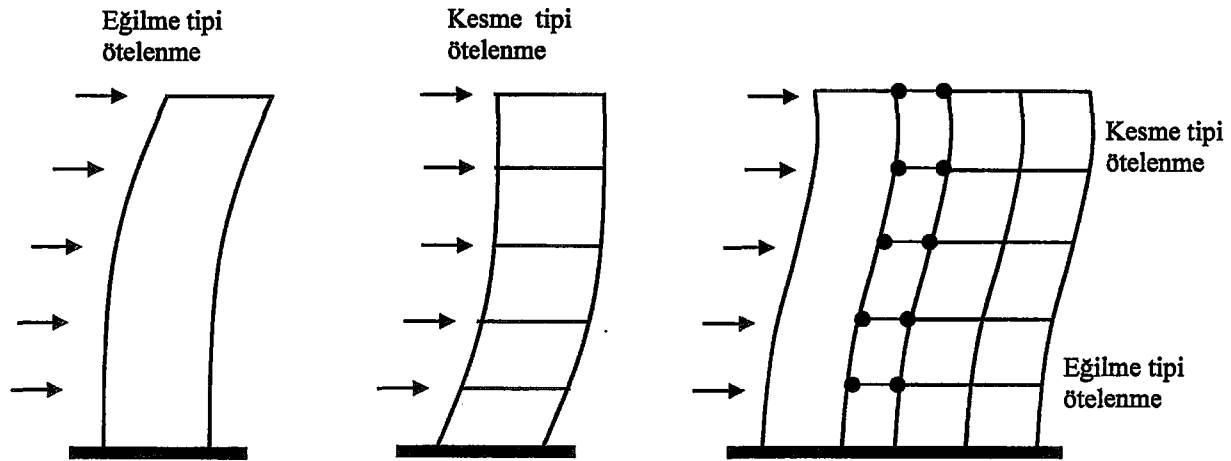
Beşinci bölümde taşıyıcı sistem bünyesinde yönetmelik hükümlerine göre betonarme perde tanımına haiz bir yapı elemanı bulunduran, bir konut binasının statik ve betonarme hesapları yapılmıştır. Perde elemanı A.B.Y.Y.H.Y. ve TS 500 yönetmeliklerinin tüm gerekliliklerini yerine getirecek şekilde boyutlandırılıp donatılandırılmıştır. Daha sonra bu perde elemanın uç bölge ihtiyacını ve tanımını belirlemek için basitleştirilmiş deplasmana dayalı hesap yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü yapılmıştır. Hesaplar sonucunda bulunan değerler karşılaştırılmıştır.

Son bölümde ise betonarme perdelerin, moment taşıma kapasitelerinin tayinini için şekil değiştirme uygunluk analizi yani taşıma gücü yönteminin kullanılması ve sarılma bölgeleri ihtiyacının tayini için ise deplasmana dayalı tasarım yönteminin kullanılması durumundaki sonuçlar ele alınmıştır. Betonarme perdeler için dizayn hükümlerini, bahsi geçen hesap yöntemleri doğrultusunda uygulayan diğer yönetmeliklere karşın A.B.Y.Y.H.Y.'in düşey taşıyıcı elemanları en kesit boyutlarına göre perde veya kolon olarak sınıflandırması ve elemanın kesit özelliğine göre uç bölge ihtiyacını belirlemesi hususları yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar ışığında karşılaştırılarak incelenmiştir.

2. BETONARME PERDELERİN NİCELİKLERİNE GÖRE TANIMLANMASI ve SINIFLANDIRILMASI

2.1 Genel Tanım

Perdeler genel olarak davranışları sebebiyle diğer düşey taşıyıcı elemanlardan ayrılırlar. Sözü edilen davranış ise yatay yükler altında oluşan eğilme biçimidir. Çerçevesel yapılarda yatay yükler altında ötelenme kat rijitliğine bağlı olarak kesme kuvvetinin en büyük olduğu alt katlarda başlayarak, yükseklikle birlikte katlar arasındaki ardışık ötelemeler gittikçe azalmaktadır (Şekil 2.1.b). Buna karşılık ise perde elemanlarda, eğilme momentinin davranışa etkili olması sebebiyle katlar arasındaki ardışık ötelemelerde giderek bir artma söz konusudur (Şekil 2.1.a). Yani perde elemanlar yatay yükler altında konsol kirişe benzer bir davranış biçimi sergilerler. Şekil 2.1.c'de ise beraber kullanıldıkları durumdaki davranışını göstermektedir.



Şekil 2.1 (a) Perde tipi eğilme, (b) Çerçeve tipi eğilme, (c) Perde-çerçeve etkileşimi

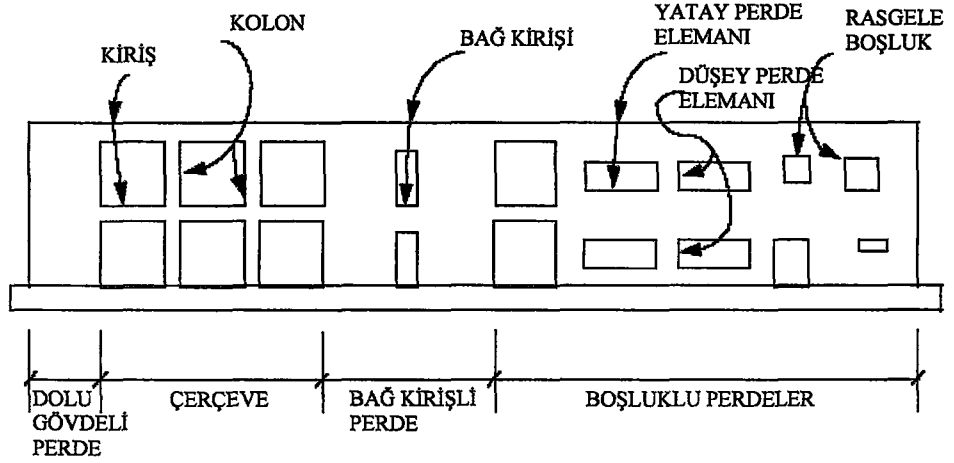
Dünyadaki deprem yönetmeliklerinde ise betonarme perdeler, kimi plandaki en kesit boyutlarına göre kimi ise yapı içerisindeki görevleri bakımından tanımlanmışlardır. Çizelge 2.1’de bunlar özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 Betonarme perde tanımları

| Yönetmelikler | Tanım |
|--------------------------|---|
| A.B.Y.Y.H.Y.- Türkiye | Planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı sistem elemanıdır [2]. |
| FEMA-356 | Betonarme yapılarda kullanıldıklarında esas olarak yatay yükleri karşılamada hizmet vermesi amacıyla oluşturulan düzlemsel düşey elemanlardır (Düşey diyafram elemanı olarak da tabir edilir) [19]. |
| ACI_318-02 | Deprem etkilerinin oluşturduğu kesme kuvvetleri, momentler ve eksenel kuvvetlerin kombinasyonlarını karşılaması için düzenlenen yapı elemanlarıdır [17]. |
| IBC 2000 | Düzlemine paralel olan yatay yükleri karşılaması için tasarlanan yapı elemanlarıdır [11]. |
| EUROCODE 8 | Diğer yapısal elemanlarla mesnetlenmiş (genellikle yatay) ve en kesit olarak uzunluğunun kalınlığına oranı 4’den büyük olan elemanlardır [20]. |

2.2 Geometrik Özelliklerine Göre Perdelerin Sınıflandırması

Betonarme perdeler boy kesit özelliklerine göre yapının çeşitli bölümlerinde değişik biçimlerde konum alabilirler. Boy kesit özelliği olarak açıklanmak istenen durum, perdenin kendi bünyesinde oluşturulan kısmi boşluklar yada dolu gövdeli olarak ayrı ayrı teşkil edilip birbirlerine kirişlerle bağlanması anlamındadır. Şekil 2.2’de çeşitli durumlara göre bazı sınıflandırmalar yapılmıştır [21].

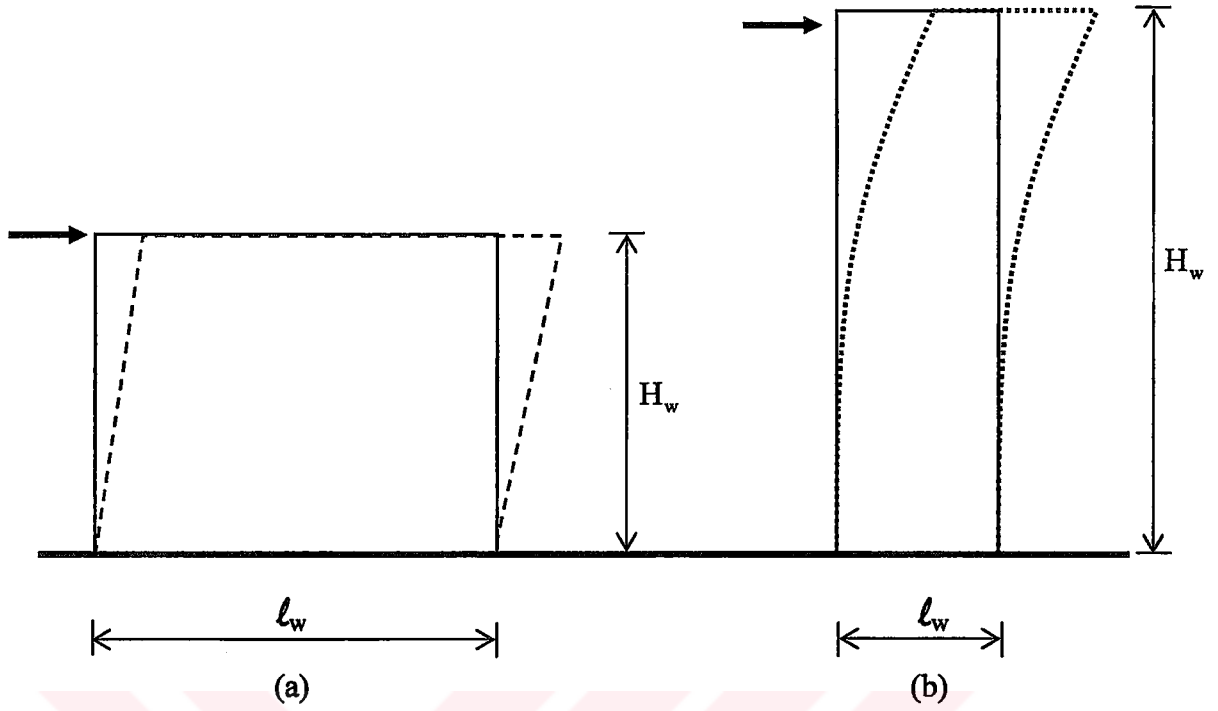


Şekil 2.2 Perde tipleri

- a) Dolu gövdeli perde : Önemli derecede yada hiç boşluk bulunmayan perdelerdir.
- b) Boşluklu perde : Önemli ölçüde boşluklara sahip perdelerdir. Boşluklar rasgele veya düzenli bir biçimde dağılmış olabilirler.
- c) Bağ kirişli perde : Boşluklu perde tipinin özel bir durumudur. İki veya daha fazla perdenin birbirlerine bağ kirişleriyle bağlanmasıyla oluşan sistemdir.

2.3 Davranış Biçimlerine Göre Dolu Gövdeli Perdelerin Sınıflandırılması

Dolu gövdeli perdeler narin (eğilme momentinin etkili olduğu) ve kısa (kesme kuvvetinin etkili olduğu) perdeler olarak iki kısma ayrılırlar. Bu ayrım tüm yönetmeliklerde H_w / l_w (yükseklik/boy) oranına göre belirlenmiştir. Şekil 2.3’de her iki perdenin de davranışı izlenebilir.



Şekil 2.3 (a) Kısa perde, (b) Narin perde

Yönetmeliklerdeki kısa ve narin perde tanımları Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 Davranış biçimine göre perde tanımı

| Yönetmelik | Davranış biçimine göre tanım |
|--------------|--|
| ACI_318-02 | $H_w / l_w \geq 2$ ise narin $H_w / l_w \leq 1.5$ ise kısa perde olarak düşünülür. |
| ATC-40 | $H_w / l_w \geq 4$ ise narin $H_w / l_w \leq 2$ ise kısa perde olarak düşünülür. |
| FEMA 356 | $H_w / l_w \geq 3$ ise narin $H_w / l_w \leq 1.5$ ise kısa perde olarak düşünülür. |
| IBC 2000 | ACI hükümlerine uyulur. |
| A.B.Y.Y.H.Y. | Böyle bir sınıflandırma yoktur. |
| EUROCODE 8 | $H_w / l_w \geq 2$ ise narin $H_w / l_w \leq 2$ ise kısa perde olarak düşünülür. |

2.4 En Kesit Şekillerine Göre Perdelerin Sınıflandırılması

Perde kesitleri dikdörtgen olduğu gibi; I, L, H, Y, U, T gibi şekillerde de ortaya çıkabilir. Bazı tipik perde kesit şekilleri Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Bu perdelerin minimum kalınlıkları, beton işlenebilirliği, yerleştirilmesini sağlamak ve yangın riskini aza indirmek için yönetmelikler tarafından belirlenmiştir.

Deprem kuvvetleri önemli olmaya başladığında, kayma dayanımını ve stabiliteyi sağlamak için kalınlığı artırmak gerekebilir. Ancak, perde kesitinin iki ucunda gerilmeler büyük olacağı için, donatı perde uç bölgelerinde yoğunlaştırılır ve buralarda kalınlığın artırılması ile perde uç elemanları oluşturulur. Perde ucuna diğer doğrultuda başka bir perdenin birleşmesi durumunda, uç elemanı bu perde içinde oluşturulabilir.



Şekil 2.4 Perdelerde karşılaşılan en kesit şekilleri

Şekil 2.4. b, c ve d’de görüldüğü gibi uç elemanlı perdeler, kirişlerin perdelerine mesnetlenmelerini kolaylaştırdıkları gibi eğilme donatılarının yerleştirilmesinde de kolaylık sağlar. Ayrıca uç elemanlar perdenin yanal burkulma stabilitesini artırırlar ve potansiyel plastik mafsallarda bulunan basınca maruz betonun daha iyi sarılmasını sağlarlar. Böylelikle, plastik mafsal bölgelerinde sıkışan betonun erken dağılması önlenmiş olur.

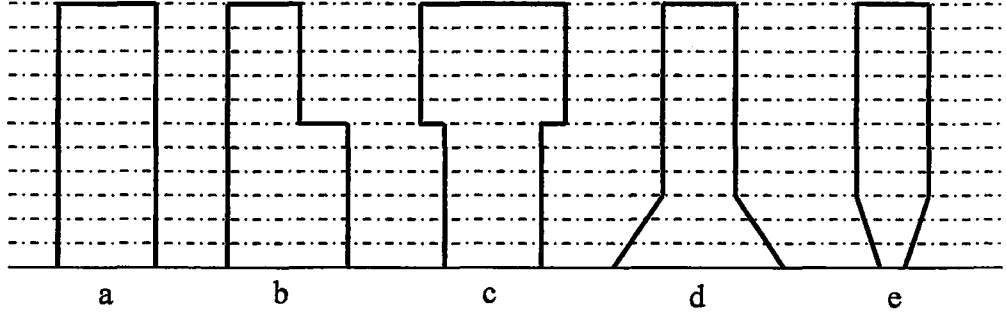
Perdelerin birbiriyle dik açıyla birleşmeleri sonucunda kanatlı perde şekilleri oluşur. Bu tip perdelerin binanın iki ana doğrultusunda dayanım göstermesi gerekir. Böyle perdeler genellikle büyük dayanım sağlarlar.

Kanatlar basınçta olduğu zaman oldukça sünek davranırlarken, özellikle Şekil 2.4. e, f ve g'de gösterilen T ve L kesitli perdelerde, kanatları çekmeye zorlandığında oldukça sınırlı süneklığe sahiplerdir. Kanatlı perde tiplerinin kullanılması durumunda boyutlama yapan mühendisin çalışan kanat genişliğini hesaplaması gereklidir. Yönetmeliklerde çalışan kanat genişliğinin nasıl bulunacağı belirtilmiştir.

2.5 Yükseklik Etkisi İle Perdelerdeki Değişiklikler

Normal yükseklikteki binalarda, özellikle apartman tipi yapılarda, perdenin en kesiti yükseklikle değişmeyecektir. Şekil 2.5'de gösterildiği gibi basit prizmatik şekillerde perdeler olacaktır. Yatay kuvvetlere dayanım talebi, yüksek binaların üst katlarında azalacaktır. Bu sebeple perde boyutları, özellikle perde kalınlığı, uygun bir şekilde azaltılabilir.

Bölüm 2.3'de bahsedildiği üzere perdeler kısa ve narin perde olarak sınıflandırılmaktadır. Kısa perdelerin, yüksek kirişlere benzetilerek incelenmesi uygundur. Eğilme momenti ve kesme kuvveti birbiri ile etkileşimde olduğu için ayrı ayrı göz önüne alınması mümkün değildir. Kısa perdelerde oluşan eğilme momenti küçük olduğu için düşey eğilme donatısını kesit boyunca düzgün dağıtmak uygun olur [7]. Perdenin eğilme ve kayma dayanımları yüksek olduğu için davranışı elastik bölgede kalır. Genellikle 0.0025 lik bir donatı oranı yeterli olur [7]. Kısa perdeler yük kat seviyelerinde birleştikleri kat döşemelerinden iletilir. Yükseklik kısa olduğu için yük temele, oluşan eğik beton basınç çubukları ile iletilir. Eğik basınç çubuğunun dengesinin sağlanması için düşey ve yatay donatılara ihtiyaç görülür. Bu tür kısa perdelerde altta bulunan iş derzinin, kaymanın meydana gelebileceği hassas kesit olduğu söylenebilir [7].



Şekil 2.5 Yükseklikle değişen konsol perdeler

Perde kesitlerinin boyu, perde kanatlarının genişliği bina yüksekliği boyunca sabit iken perdenin kalınlığı bazen kanatlarının kalınlığı da dahil olmak üzere üst katlarda azaltılabilir. Rijitlikteki azalmayı, birbirlerini etkileyen perdeler olması durumunda, hesaba dahil etmek gerekir. Kademeli yada sürekli olarak konsol perde boyunun değiştiği durumlarda, rijitlikte daha şiddetli değişiklikler görülür. Örnek olarak Şekil 2.5. b, c, d ve e gösterilebilir. Şekil 2.5. d'de görüldüğü gibi gittikçe incelen perdeler yapısal olarak yeterince etkilidir. Ancak, potansiyel plastik mafsallık bölgelerinin boylarını ve yerlerini tanımlamada dikkatli olmak gerekir. Böylelikle kritik bölgelerin detaylandırılması doğru bir şekilde yapılabilir. Şekil 2.5.e'deki gittikçe kalınlaşan perde sisteminin yapısal açıdan etkili olmadığı açıktır. Bazen mimari açıdan bu form tercih edilebilir. Bu tipteki yapılarda süneklik talebi oldukça fazla olacaktır.

3. BETONARME PERDELERİN ÇÖZÜMLENMESİ

Bölüm 1’de açıklandığı üzere betonarme yapı ve yapı elemanları için istenilen üç ana nitelik vardır. Bunlar rijitlik, dayanım ve süneklik idi. Tüm betonarme taşıyıcı elemanlara kazandırılmak istenen bu nitelikler betonarme perdeler için nasıl uygulanacağı bu bölümde açıklanacaktır.

3.1 Rijitlik

Perde sistemlerin statik hesabında genellikle brüt kesitlerin rijitliğinden hareket edilirse de, katlar arası yerdeğiştirme hesabında kesitte eğilme momentinin etkili olması nedeniyle çatlama meydana gelebileceği göz önüne alınarak rijitliğin %40-50 oranında hesaba katılması uygundur [7]. Üst katlarda eğilme momenti etkisi azalacağı için bu oran çoğaltılabilir. Bazı yönetmeliklere göre perdeler için etkili eğilme rijitliği değerleri şunlardır;

Çizelge 3.1 Perdelerde etkili eğilme rijitliği

| Yönetmelik | Etkili Eğilme Rijitliği, EI | |
|--------------|-----------------------------|---------------------|
| | Çatlamamış kesitlerde | Çatlamış kesitlerde |
| ACI_318-02 | 0.70EI | 0.35EI |
| ATC-40 | 0.80EI | 0.50EI |
| FEMA 356 | 0.80EI | 0.50EI |
| EUROCODE 8 | EI | EI |
| A.B.Y.Y.H.Y. | EI | EI |
| IBC 2000 | ACI hükümlerine uyulur. | |

Bu çalışmada A.B.Y.Y.H.Y. kriterlerine uyularak rijitlik için EI değeri esas alınacaktır.

3.2 Dayanım

Deprem etkisinde bir yapı, genel durumda, üç sınır durumu göz önüne alınarak boyutlandırılır. Bunlar, kullanılabilirlik sınır durumu, hasarın sınırlandırılması sınır durumu ve yapının göçmesinin sınır durumu [22]. Birincisinde, sık oluşacak depremler için yapıda kullanım durumunu etkileyecek çatlak ve sehimlerin ortaya çıkmaması istenir. Bunun için, bu büyüklükteki deprem etkisi altında, taşıyıcı sistem elastik davranacak şekilde boyutlandırılır [22]. İkinci sınır durumunda, orta şiddetteki depremleri yapının takviye kabul edebilecek hasarla karşılaşması esas alınır. Bu durumda, kesitlerin yeterli dayanıma sahip olmaları gerekir. Bu dayanım hesaplanırken malzemenin elastik olmayan davranışı göz önüne alınır. Ancak, taşıyıcı sistemin plastik davranış altında çözümlenmesi zahmetli olduğu için deprem yükü azaltılması kullanılarak elastik çözüm yapılır [22]. Üçüncü sınır durumda ise, yapının göçme durumu kontrol edilir. Buna göre statik hesaplara esas olan orta şiddetteki depremden daha büyük bir deprem durumunda hasar kabul edilebilir, fakat göçmenin kontrolü esastır. İstenilen türden göçme durumu ortaya çıkması için taşıyıcı sistem elemanlarının kapasiteleri kontrol edilerek, zayıf kesitin istenilen yerde oluşması sağlanır [22].

3.3 Süneklik

Büyük bir deprem yapıyı büyük şekil değiştirmelere zorladığında; büyük hasarları minimuma indirmek ve orta dirençli binalarda hayati tehlikeyi önlemek için yapının başlangıçta sahip olduğu dayanımın büyük bir bölümünü koruma yeteneğine sahip olması istenir. Bu şekil değiştirmeler elastik sınırın çok ötesinde olabilir. Yapıyı oluşturan, plastik şekil değiştirme yaparak direnç gösteren malzemenin yada elemanın yeteneği süneklik ile adlandırılır. Süneklik, büyük şekil değiştirmeler yapabilme yeteneğini ve enerji yutabilme kapasitesini içine alır.

Birinci derece deprem bölgelerinde yapılan yapılarda, her türlü deprem etkileri altında perdeler sünek olarak eğilme kırılması oluşturmalarıdır [22].

Süneklik, toplam şekil değiştirmenin elastik şekil değiştirmeye oranı olarak ifade edilir [7].

$$\mu = \frac{\Delta}{\Delta_y} > 1 \quad (3.1)$$

Denklemdaki Δ toplam Δ_y ise akma anındaki yerdeğiştirmeyi, dönmeyi veya eğriliği ifade eder.

Betonarme taşıyıcı sistemlerde iki tür süneklik mümkündür.

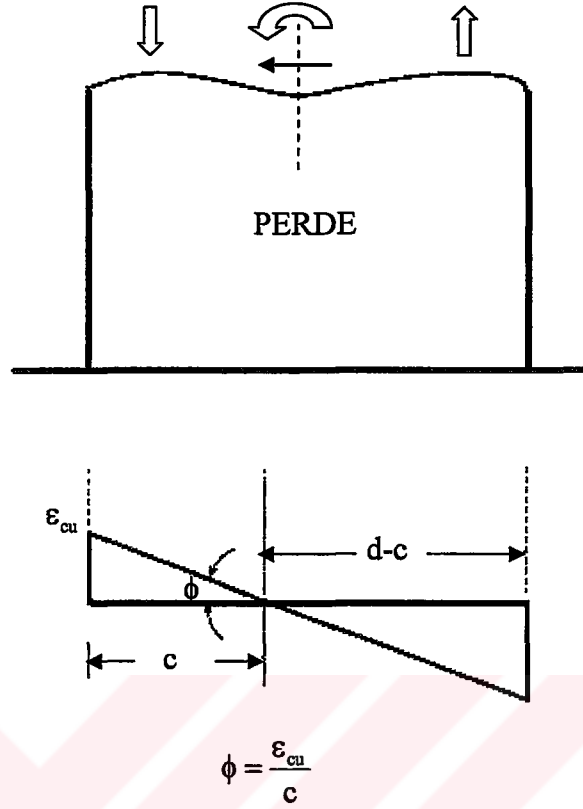
a) Eğilme Sünekliği (Eğrilik Sünekliği)

b) Ötelenme Sünekliği (Yerdeğiştirme Sünekliği)

Eğilme sünekliği taşıyıcı elemanın kesit özellikleri ile ilgilidir. Ötelenme sünekliği ise yapının eleman kesitleri kadar plan özellikleri, boy kesit özellikleri, açıklıkları, yükseklikler ve mesnet şartlarının oluşturduğu ötelenme rijitliği ile ilgilidir. Süneklik kavramlarının idraki için eğrilik tanımının ve ifadelerinin bilinmesi gerekir.

3.3.1 Eğrilik

Eğrilik birim deformasyon dağılımının oluşturduğu açıdır. Bu açı perde kesitinde oluşan eğrilik olarak tanımlanır (ϕ).



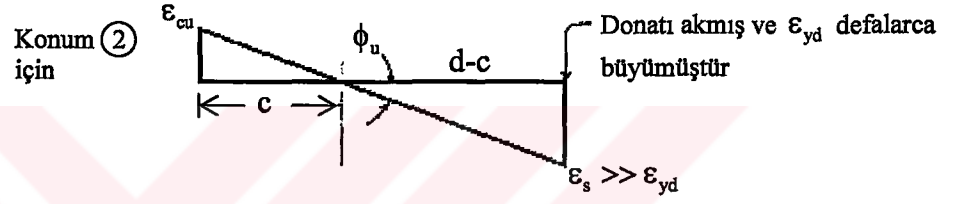
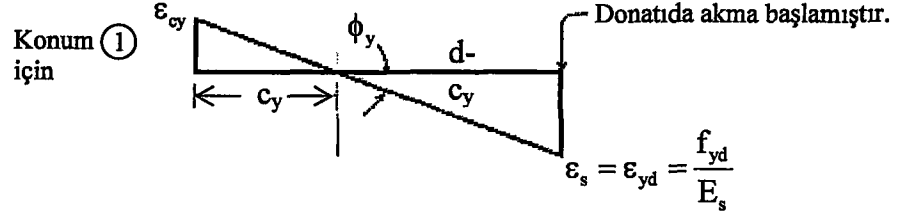
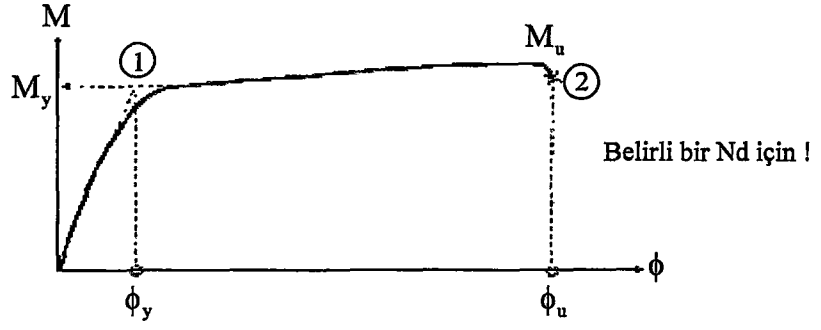
Şekil 3.1 Perdelerde eğrilik

3.3.2 Eğilme Sünekliği

Eğilme sünekliğinin tanımlanabilmesi için çekme donatısının akmasına tekabül eden ϕ_y (akma eğriliği) ve basınç altında betonun ezilmesine tekabül eden ϕ_u (beklenen max. eğrilik) bilinmesi gerekir.

Eğilme sünekliği en anlaşılır şekilde $M-\phi$ ilişkisi üzerinde tanımlanır. Eğilme ve aksenal yük veya yalnız eğilme altındaki bir kesitin davranışı, en sağlıklı bir biçimde, gerçek malzeme davranışını temel alarak hesaplanmış veya deneysel verilerden elde edilmiş “Moment-Eğrilik” eğrilerinden izlenebilir [23].

Belirli bir aksenal yük altındaki betonarme kesitin moment-eğrilik eğrisini oluşturan, M_i ve ϕ_i değerleri, seçilen maksimum birim kısalma değerleri için yazılacak denge ve uygunluk denklemlerinden elde edilebilir [23].



Şekil 3.2 Perdelerde moment eğrilik ilişkisi

Konum 1 için eğrilik ifadesi ;

$$\phi_y = \frac{\epsilon_{cy}}{c_y} = \frac{\epsilon_{yd}}{d - c_y} \quad (3.2)$$

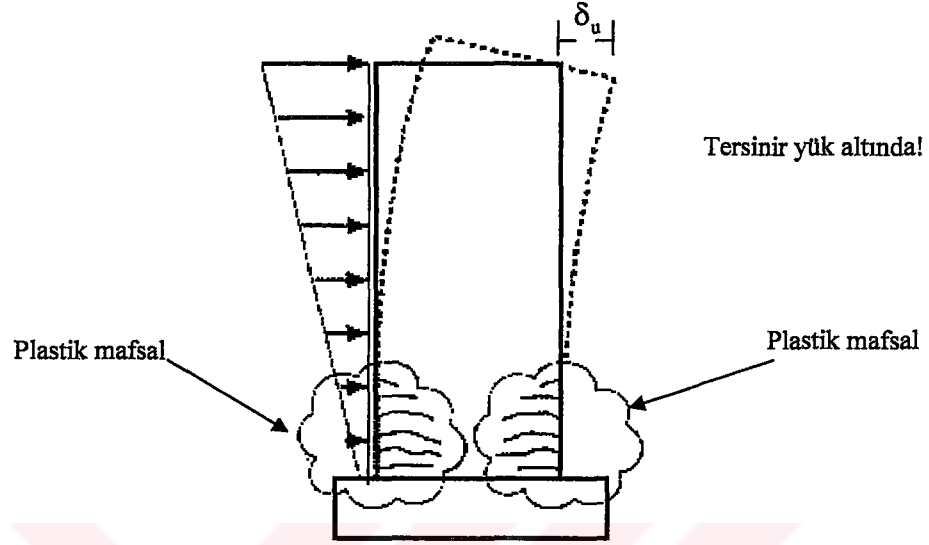
Konum 2 için eğrilik ifadesi ;

$$\phi_u = \frac{\epsilon_{cu}}{c} \quad (3.3)$$

Eğilme sünekliği ifadesi bu iki durum için bulunan eğriliklerin oranı olarak tanımlanır [7]. Buna göre ;

$$M_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (3.4)$$

3.3.3 Ötelenme (Yer Değiştirme) Sünekliği



Şekil 3.3 Perdede ötelenme sünekliği

Adım adım artan deprem kuvveti altında, maksimum momentler perde tabanında oluşur. Sünek betonarme perdelerde, perde tabanındaki kesit içinde maksimum çekmeye çalışan boyuna donatılar akma sınırına ulaşır (Şekil 3.2 Konum 1). Bu anda perde tepe düzeyinde oluşan öteleme değeri δ_y olur.

Ancak, perde deprem etkisi altında zorlanmaya devam eder. Elasto-plastik donatı, sabit akma gerilmesi altında uzamaya devam eder. Perde tabanında plastik mafsals oluşmuştur (Şekil 3.3). Perde üstündeki öteleme de büyümeye devam eder. Tersinir deprem kuvvetleri altında, büyüyen ötelenme nihayet δ_u değerine ulaşır. Perdenin uç bölgelerinde beton ezilmeleri ve boyuna donatının burkulması başlar. Perdenin moment kapasitesi tükenmiş olur. Bu bilgiler ışığında perdelerin ötelenme sünekliği ifadesi şu şekilde yazılır [7] ;

$$\mu_{\delta} = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{(\delta_y + \delta_p)}{\delta_y} \quad (3.5)$$

δ_u : Plastik mafsals oluştuktan sonra oluşan toplam perde ötelenmesi (nihai yerdeğiştirme)

$$\delta_u = \delta_y + \delta_p \quad (3.6)$$

δ_y : Perde kesitinde çekmeye çalışan uçtaki donatının akmasına tekabül eden perde ötelenmesi

$$\delta_y = \frac{11}{40} \times \phi_y \times H_w^2 \quad (3.7)$$

δ_p : Plastik yerdeğiştirme

$$\delta_p = \theta_p \times (H_w - \frac{1}{2} \ell_p) \quad (3.8)$$

θ_p : Plastik mafsals boyunda görülen plastik dönme

ℓ_p : Plastik mafsals boyu

H_w : Perdenin düşey boyu

$$\theta_p = \phi_p \times \ell_p = (\phi_u - \phi_y) \times \ell_p \quad (3.9)$$

$$\delta_p = (\phi_u - \phi_y) \times \ell_p \times (H_w - \frac{1}{2} \ell_p) \quad (3.10)$$

olur.

(3.6) denkleminde δ_y ve δ_p değerleri yerine konulduğunda;

$$\delta_u = \frac{11}{40} \phi_y \times H_w^2 + (\phi_u - \phi_y) \times \ell_p \times (H_w - \frac{1}{2} \ell_p) \quad (3.11)$$

3.3.4 Eğilme Sünekliği İle Ötelenme Sünekliği Arasındaki İlişki

Ötelenme sünekliği ifadesi ;

$$\mu_{\delta} = \frac{(\delta_y + \delta_p)}{\delta_y} = 1 + \frac{\delta_p}{\delta_y} \quad \text{'den} \quad (3.12)$$

$$\mu_{\delta} = 1 + \frac{40}{11 \times H_w^2} \times \left(\frac{\phi_u}{\phi_y} - 1 \right) \times \ell_p \times \left(H_w - \frac{1}{2} \ell_p \right) \quad (3.13)$$

olur.

(3.12) denkleminde $\frac{\phi_u}{\phi_y}$ ifadesi yerine μ_{ϕ} yazılıp çekilirse

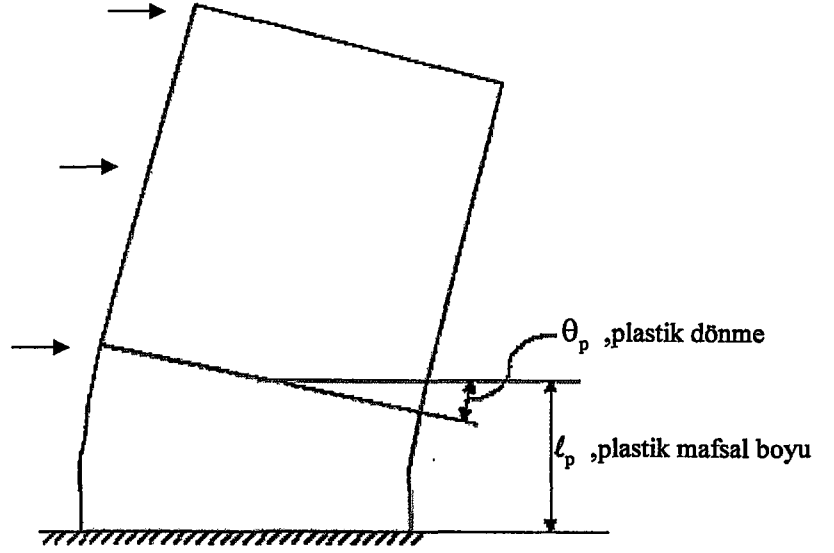
$$\mu_{\phi} = \frac{11}{40} \times \frac{H_w^2 \times (\mu_{\delta} - 1)}{\ell_p \times \left(H_w - \frac{1}{2} \ell_p \right)} \quad (3.14)$$

olur.

Görüleceği gibi, μ_{ϕ} ve μ_{δ} arasındaki ilişki kurulmuştur. Ancak ilişkinin anlamlı bir şekilde değerlendirilebilmesi için plastik mafsallı boyunun (ℓ_p) ne olduğu bilinmesi gerekir [7].

3.3.5 Betonarme Perdelerde Plastik Mafsallı Boyu

ℓ_p plastik mafsallı boyu, perde tabanındaki moment ve normal kuvvetin yoğunluğu ve ℓ_w perde boyu ile ilişkilidir [7].



Şekil 3.4 Betonarme perde de plastik dönme ve plastik mafsal boyu

Büyük bir doğrulukla bilinmesi zor olan plastik mafsal boyu perdeler için teknik literatürde aşağıdaki sınırlar içerisinde verilmiştir [7].

$$0.3 < \frac{l_p}{l_w} < 0.8 \quad (3.15)$$

Eksenel yük düzeyi yüksek perdelerde l_p/l_w oranı 0.8'e doğru yaklaşır. Ancak pratikte perdelerin çoğunlukla eksenel yük düzeyi düşüktür. Bu durumda,

$$\frac{l_p}{l_w} \cong 0.3 - 0.5 \quad \text{kabul edilebilir.} \quad (3.16)$$

3.3.6 Süneklik Talebi

Betonarme bir yapının süneklik kriterleri esas alınarak çözümlenmesi oldukça zordur. Fakat literatürde makul bir ölçü olarak süneklik kriteri olarak yapının eğilme ve ötelenme sünekliği değerleri aşağıda sunulmuştur [24].

Süneklik talebi olarak,

a) Ötelenme sünekliği :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\delta_u}{\delta_y} = 4-5 \quad (3.17)$$

b) Eğilme sünekliği:

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y} = 10-15 \quad (3.18)$$

olması istenir [11].

Örnek 1)

Kat yüksekliği ve perde boyu 3 m olan 5 katlı bir betonarme yapının deprem kuvvetleri etkisinde ötelenme sünekliğinin 4 olması istenilmektedir. Bunun sağlanması için eğilme sünekliği ne olmalıdır?

$$\ell_w = 3 \text{ m}$$

$$H_w = 3 \times 5 = 15 \text{ m}$$

$$\mu_s = 5$$

$$\ell_p = 0.5 \times \ell_w = 0.5 \times 3 = 1.5 \text{ m}$$

$$\mu_{\phi} = ?$$

Denklem (3.14)'e göre

$$\mu_{\phi} = \frac{11}{40} \times \frac{15^2 \times (5-1)}{1.5 \times (15 - 0.5 \times 1.5)} = 11.58$$

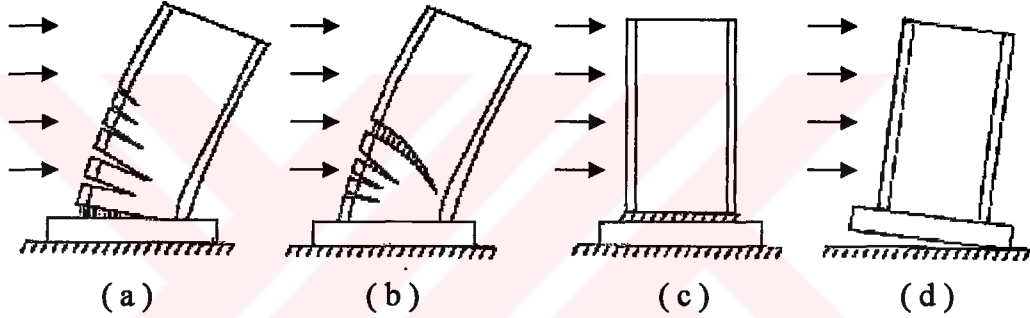
$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y} = 11.58$$

Perde kesiti öyle tasarlanmalıdır ki $\mu_{\phi} = 11.58 \cong 12$ sağlansın. Yoksa kesit tasarımı değiştirilmelidir.

4. BETONARME PERDELERİN BOYUTLANDIRILMASI

4.1 Perdelerde Göçme Şekilleri

Yatay kuvvet etkisi altında perdelerde oluşabilecek hasarlar, moment ve kesme kuvvetinin maksimum olduğu perde-temel birleşim düzeyinin hemen üstünde oluşması beklenir. Perdelerde genelde 4 tür kırılma ve göçme biçimi oluşur [25].



Şekil 4.1 Perdelerde göçme şekilleri

a) Eğilme kırılması : Perdenin en büyük moment kısmındaki elastik ötesi şekil değiştirmeler artarak kesit göçmesi oluşmasıdır. Bu sünek türden bir göçmedir.

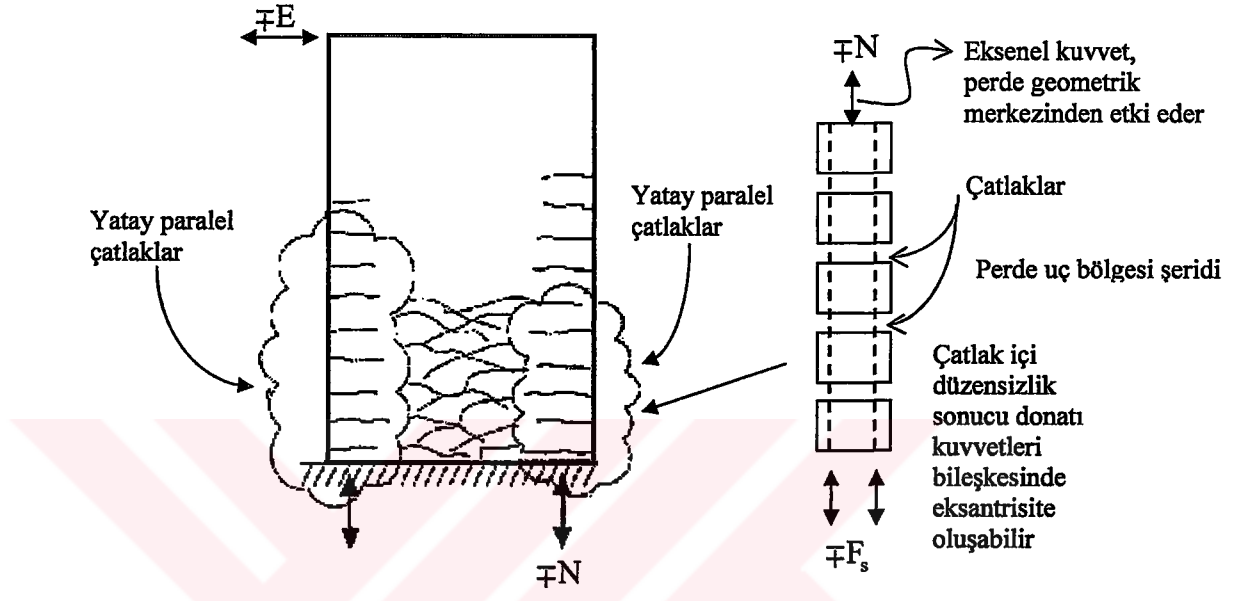
b) Eğik asal çekme kırılması : Kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği köşegensel çekme sebebiyle oluşan kırılmadır.

c) Perde-temel birleşiminde kayma : Kesme kuvvetine maruz perde-temel birleşiminde (iş derzlerinde) yeterli filiz donatısının bulunmadığı durumda oluşur. Perde rijit kütle hareketi yaparak yatay düzlem üzerinde kayar.

d) Toptan göçme : Ani olarak ortaya çıkan bu göçmenin sebebi temelde devrilme momentinin karşılanmaması sebebiyle oluşur.

4.2 Perdelerin Stabilitesi

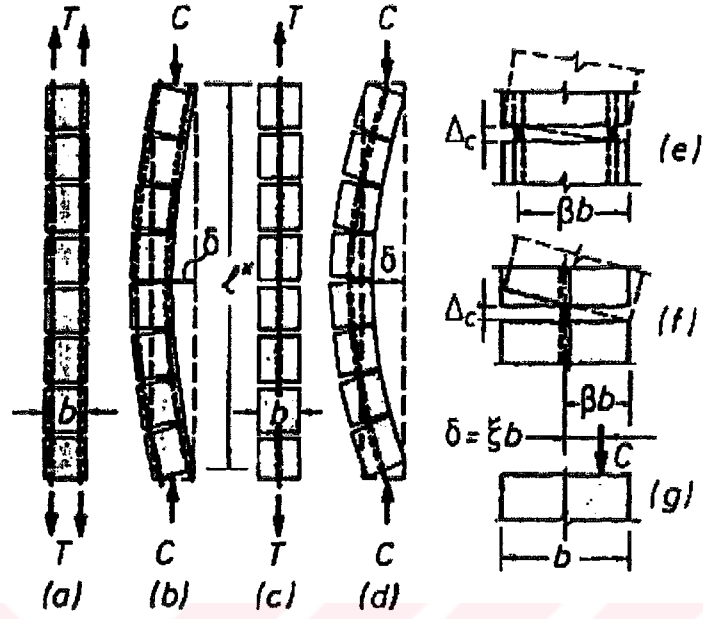
Eğer perde kalınlığı küçük ise, perde tersinir yüke maruz kaldığında düzlem dışı burkulma sebebiyle stabilite bozukluğu tehlikesi ortaya çıkar [7,24].



Şekil 4.2 Perde uç bölgelerinde stabilite probleminin ortaya çıkışı

Bu konu ile ilgili olarak Euler burkulmasının geleneksel prensiplerine dayanan tavsiyeler ile yol gösterilir [7]. Potansiyel plastik mafsallarda perde kalınlığını sınırlandırmak şarttır.

Büyük μ_ϕ eğilme sünekliğinde, ilgili çekme şekil değiştirmeleri, kesitin uç kenarındaki perde uç elemanlarını zorlar. Bu aşamada plastik bölgede kesitin kalınlığı boyunca yatay çatlaklar meydana gelir. İdealize edilmiş formda Şekil 4.3.a ve c'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Düzlem dışı burkulma sebebiyle oluşan şekil değiştirmeler

Bu perdeler b genişliğinde ve perdenin birisinde her iki kenarında düşey donatı bulunurken, diğerinin ortasında donatı bulunmaktadır.

Perde yer değiştirmelerinin yön değiştirmesi esnasında yüksüz durum meydana gelecektir. Bu anda çatlak genişlikleri büyük kalırken çubuklardaki çekme gerilmeleri sıfıra inecektir. Yatay kuvvetlerin yön değiştirmesi ve bağ kirişli perdede aksenal basıncın artışı çelik çubuklarda basınç gerilmeleri oluşturacaktır. Böyle bir durumda çatlaklar kapanana kadar perde kesitindeki iç basınç kuvvetinin tamamını yalnızca düşey donatı tarafından taşınması gerekecektir. Bu durumda perdenin b kalınlığı içinde etkiyen C eğilme basınç kuvvetinin yeri düşey donatı merkezi ile çakışmayabilir (Şekil 4.3. b ve d). Dış merkezlik, bir kenar boyunca yatay çatlakları birleştiren beton blokların dönmesiyle meydana gelir (Şekil 4.3. e ve f). Böylelikle perdenin bir yüzünde çatlak kenarları arasında temas olduğunda önemli düzlem dışı eğrilikler meydana gelir (Şekil 4.3. b ve d). Bir perde şeridinin merkezindeki eğilme momenti ($M=\delta.c$) çatlaklar tamamen kapanmadan önce ve perde kesitinin eğilme dayanımına ulaşmadan önce perdenin göçme burkulmasına sebep olabilir [7].

Gerçekte olayın Şekil 4.3’de sunulan idealize edilmiş halden daha karmaşık olduğu kesindir. Yerinden oynamış küçük beton parçacıkları ve çatlak yüzeylerinin birbirine uymaması, geniş çatlakların kapanmamasına sebep olabilir. (δ) düzlem dışı yer değiştirmenin başlaması, öncelikle çatlak genişliğine ve perdenin kalınlığınca yerleştirilen düşey donatının düzenlenmesine bağlıdır. Çatlak genişliği düşey çubukları zorlayan ε_m maksimum çekme şekil değiştirmesine bağlıdır. Çeşitli prensipler ve sınır deney sonuçları kullanılarak, b_c kritik perde kalınlığına ait yol gösterici ifade aşağıda verilmiştir [7].

Şekil 4.3’deki modellerden ve temel prensiplerden yararlanılarak stabilite bozukluğunun,

$$b \leq b_c = \ell^* \times \sqrt{\frac{\varepsilon_{sm}}{8 \times \xi \times \beta}} \quad (4.1)$$

olduğunda ortaya çıkacağı gösterilebilir [7]. Burada ξ perde kalınlığı ile ilgili dış merkezliği tanımlar (Şekil 4.3. g), β verilen çatlak genişliği için, açısız dönmenin miktarını verir.

Çökme anında akma şekil değiştirmelerini aşan çelik şekil değiştirmeleri perde tabanından itibaren ℓ_w kadar yükseklikte yayıldığı varsayılabilir ve beklenen eğilme sünekliğine uygun olarak hesap edilen ε_{sm} maksimum çelik şekil değiştirmeleri, tabandan itibaren ℓ_w miktarındaki bu yüksekliğin yarısında meydana gelecektir. Bu kabuller ile burkulma boyu $\ell^* = 0.5 \times \ell_w$ olacaktır. ε_{sm} maksimum şekil değiştirmelerinin μ_ϕ eğilme sünekliğinin bir fonksiyonu olarak düşünülebilir. Deneysel incelemeler δ yer değiştirmesinin küçük olduğu durumlarda çatlakların tamamen kapanıp yok olmasının yada azalmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Ancak eğilme sünekliğinin artmasıyla artan δ yer değiştirmeleri tamamıyla telafi edilemez ve tekrarlı yükler altında düzlem dışı yer değiştirmeler düzenli olarak artar. Kritik yer değiştirmenin başlangıcı $\delta = b/3$ olarak bulunmuştur. $\xi = 1/3$ alınarak plastik mafsallık bölgesinde bulunan ve perde kesitinin basınca maruz olan uç bölgesinin kritik kalınlığı aşağıdaki gibi hesaplanır [7].

$$b_c = 0.017 \times \ell_w \times \sqrt{\mu_\phi} \quad (\beta = 0.8) \quad (4.2)$$

$$b_c = 0.022 \times \ell_w \times \sqrt{\mu_\phi} \quad (\beta = 0.5) \quad (4.3)$$

Burada β Şekil 4.3 e ve f'de tanımlanmıştır. Perde de kullanılan düşey donatı iki kenarında da var ise $\beta = 0.8$ olarak alınır. Dikkat edilirse, kritik perde kalınlığı perde de istenilen süneklik oranının bir işlevidir. Bölüm 3.3'de anlatılan süneklik ilişkilerinden yerdeğiştirme sünekliği (μ_s) ile kritik perde kalınlığı arasında da ilişki kurulabilir.

Burkulma boyunun, h_1 birinci kat yüksekliğinin %80 nini aşmayacağı kabul edilerek (4.2) formülünden minimum perde kalınlığını saptamada ℓ_w nun $1.6h_1$ den daha büyük alınmaması gerekir. Ayrıca her zaman için b nin $h_1/16$ dan daha az olmaması tavsiye edilir [7].

Örnek 2)

30 katlı bir binadaki perde boyu 1.75 m, kat yüksekliği 3m dir. Yerdeğiştirme sünekliği 5 olması istenilirse kritik perde kalınlığı ne olur?

$$\ell_w = 1.75 \text{ m}$$

$$H_w = 3 \times 30 = 90 \text{ m}$$

$$\mu_s = 5$$

$$\ell_p = 0.5 \times 1.75 = 0.875 \text{ m}$$

$$b_c = ?$$

Denklem (4.2)'yi kullanarak kritik perde kalınlığı bulunabilir. Bunun için denklemde yer alan μ_ϕ ifadesinin bilinmesi gerekir. μ_ϕ ifadesi ise denklem (3.14) den kolaylıkla hesaplanabilir. Buna göre;

$$\mu_{\phi} = \frac{11}{40} \times \frac{90^2 \times (5-1)}{0.875 \times (90 - 0.5 \times 0.875)} = 113.70$$

olarak bulunur.

Denklem (4.2)'den

$$b_c = 0.017 \times 1.75 \times \sqrt{113.70} = 0.32 \text{ m}$$

olarak bulunur.

$$32 \text{ cm} > \frac{h_1}{16} = \frac{300}{16} = 18.75 \text{ cm}$$

$$l_w = 175 < 1.6 \times h_1 = 1.6 \times 300 = 480 \text{ cm}$$

4.3 Perde Uç Bölgeleri

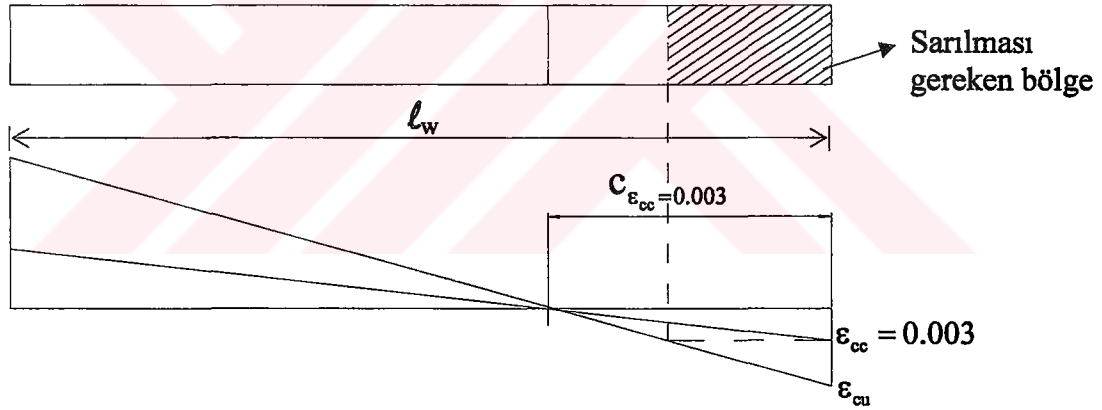
Perdeye etkiyen yatay kuvvetler, perde uç bölgelerinde büyük basınç kuvvetlerinin bununla paralel olarak da büyük birim şekil değiştirme değerlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Perdelerde yatay kuvvetler etkisinden dolayı oluşan bu kritik bölgelerde, betona sargı donatısı ile ilave bir süneklik kazandırılarak bu bölgelerde meydana gelen büyük enerjilerin yutulması sağlamalıdır [7,23]. Başka bir deyişle perde kritik uç bölgelerinde özel detaylandırma ile perdeye süneklik ve bunun beraberinde dayanım kazandırılarak maksimum gerilmelere karşılık olan beton basınç birim kısalma değeri büyütülmelidir.

4.3.1 Sarılma Bölgesi İhtiyacının Belirlenmesi

Perde kesitinin moment kapasitesi şekil değiştirme uygunluk analizinden yani taşıma gücüne dayanılarak hesaplanır [1-22]. Sarılma bölgesinin ihtiyacının tayini ise deplasmana dayalı tasarım ile belirlenebilir [5-18].

Deplasmana dayalı tasarım 1980'lerin sonunda ve 1990'ların başında (Moehle ve Wallace 1989; Wallace ve Moehle 1992) ileri sürülmüş ve o zamanlardaki yapı yönetmeliklerinde detaylandırma hükümlerine bir alternatif olmuştur[4-6]. Bu yaklaşımın ayrıntılı tanımı, Wallace tarafından (1994) sunulmuş ve Wallace ve Thomsen (1995) tarafından ek detaylarla sağlanmıştır [8-12]. Yöntemin deneysel doğrulaması Taylor (1996) ve John H. Thomsen and John W. Wallace (2004) tarafından sunulmuştur [13,17].

Sarılma bölgesinin tanımı, betonun seçilen maksimum basınç şekil değiştirmesinden daha fazla bir şekil değiştirmeye dayanamayacağı kabulüne dayanır [7-17]. Bu değer TS 500 ve Amerikan Şartnamelerinde 0.003 olarak kabul edilmektedir. Bu kabule göre sarılma bölgesinin ihtiyacının belirlenmesin nasıl hesaplanacağını Paulay ve Priestley Şekil 4.4'deki gibi göstermiştir [7].



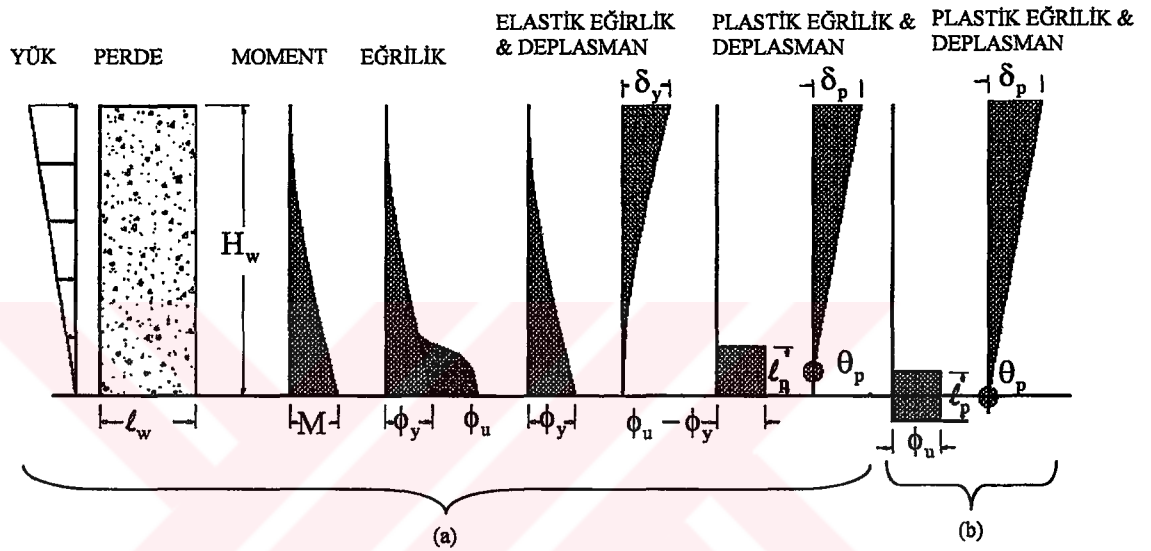
Şekil 4.4 Perde şekil değiştirme dağılımları ve gerekli sarılma uzunluğu

Şekil 4.4'deki gibi eğer 0.003'lük bir şekil değiştirme değeri aşıyorsa özel uç bölgeleri 0.003 değerini aşan yerlerde oluşturulmalıdır [7-18].

Şekil 4.4'de görüleceği üzere bu hesabın yapıldığı asal eksen derinliği mesafesi, seçilen maksimum birim kısalma değeri olan 0.003'lük değere istinaden bulunan mesafedir. Bu yaklaşım hesabı, perdeler için hesaplanan farklı maksimum uç basınç şekil değiştirme değerleri için asal eksen mesafesinin önemli ölçüde değişmediği varsayımına dayanır [7-18].

Bu varsayım deneysel çalışmalarla da desteklenmiştir [11,12,18] . Bu kabul sayesinde hesaplanan her bir nihai eğrilik değeri için asal eksen derinliğinin tekrar tekrar hesaplanmasına gerek kalmamaktadır.

Tarafsız eksen derinliği ve ϵ_{cu} değerlerinin belirlenmesinden sonra problemin çözümü için ϵ_{cu} değerinin belirlenmesi kalmaktadır.



Şekil 4.5 (a) Perde eğriliği, ve tepe deplasmanı (b) Basitleştirilmiş model

ϵ_{cu} 'nun belirlenmesi için Şekil 4.5'de gösterildiği üzere perde için basitleştirilmiş modeller kullanılır. Bu modellere göre şekil 4.5.a'daki model şekil 4.5.b'deki gibi basitleştirilir. Yani en üst deplasmanlara ait elastik deformasyonların katkısı ihmal edilip ve perdenin tabanındaki plastik deformasyonların ağırlık merkezi değiştirilmektedir [6-18].

Şekil 4.5.b esas alınarak üst uçtaki deplasman ile perde tabanındaki eğrilik arasındaki bağıntı denklem (4.4) ile verilmiştir [14-18].

$$\delta_u = \theta_p \times H_w \quad (4.4)$$

$$\theta_p = \phi_u \times \ell_p \quad (4.5)$$

$$\ell_p = \frac{\ell_w}{2} \quad (4.6)$$

$$\theta_p = \phi_u \times \frac{\ell_w}{2} \quad (4.7)$$

$$\delta_u = \phi_u \times \frac{\ell_w}{2} \times H_w \quad (4.8)$$

$$\phi_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{c} \quad (4.9)$$

$$\delta_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{c} \times \frac{\ell_w}{2} \times H_w \quad (4.10)$$

$$\varepsilon_{cu} = 2 \times \left[\frac{\delta_u}{H_w} \right] \times \left[\frac{c}{\ell_w} \right] \quad (4.11)$$

olarak bulunur.

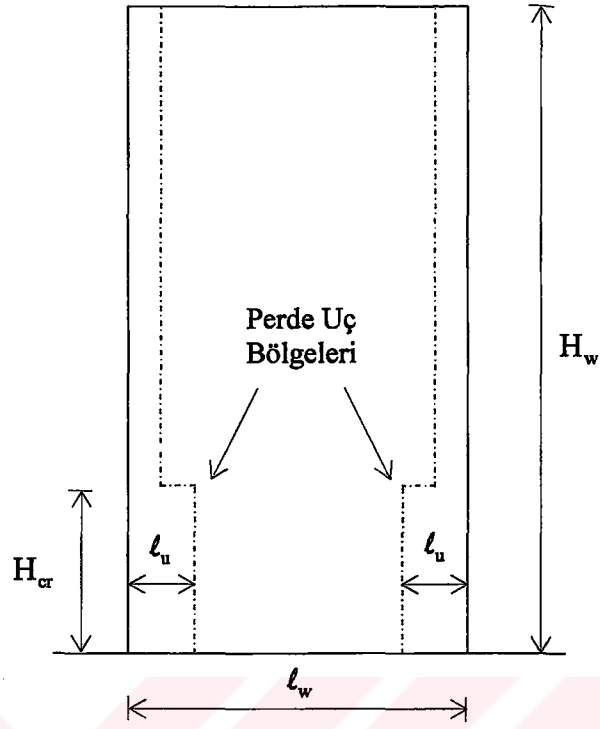
Elde edilen (4.11) bağıntısına göre tarafsız eksen derinliği ve perde tepe deplasmanı bilinen bir perde kesiti için belirlenen nihai eğrilik değeri bulunması sonucu, Şekil 4.4'de göre perdenin uç bölge ihtiyacı rahatlıkla belirlenebilir.

4.3.2 Sarılma Bölgesinin Düşey Boyu

Sargı bölgesi, perdenin mümkün olabilecek plastik mafsal bölgesi üzerinde bulunmalıdır. Bu amaçla sarılma bölgesinin düşey boyu ℓ_w perde boyuna eşit kabul edilebilir. Ancak H_w perde yüksekliğinin altıda birinden daha az olmaz. Ayrıca sarılma bölgesinin düşey boyu $2\ell_w$ değerini de aşmaması gerekir [7]. Şekil 4.6'da perde elemanın boy kesiti üzerinde sarılma bölgesinin düşey boyu gösterilmiştir. Dünyadaki yönetmeliklerde de bu boy sınırlandırılmıştır. Çizelge 4.1'de bu sınır değerler gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Yönetmeliklerdeki kritik perde yükseklikleri

| Yönetmelik | A.B.Y.Y.H.Y. | ACI_318-02 | EUROCODE 8 |
|-------------------------|---|--|---|
| Kritik Perde Yüksekliği | $H_{cr} \geq \ell_w$ $H_{cr} \geq H_w / 6$ | $H_{cr} \geq \ell_w$ $H_{cr} \geq M_u / 4V_u$ | $H_{cr} \geq \ell_w$ $H_{cr} \geq H_w / 6$ |



Şekil 4.6 Sarılma bölgesinin düşey boyu

4.4 Perdelerin Kesme Kuvveti Dayanımları

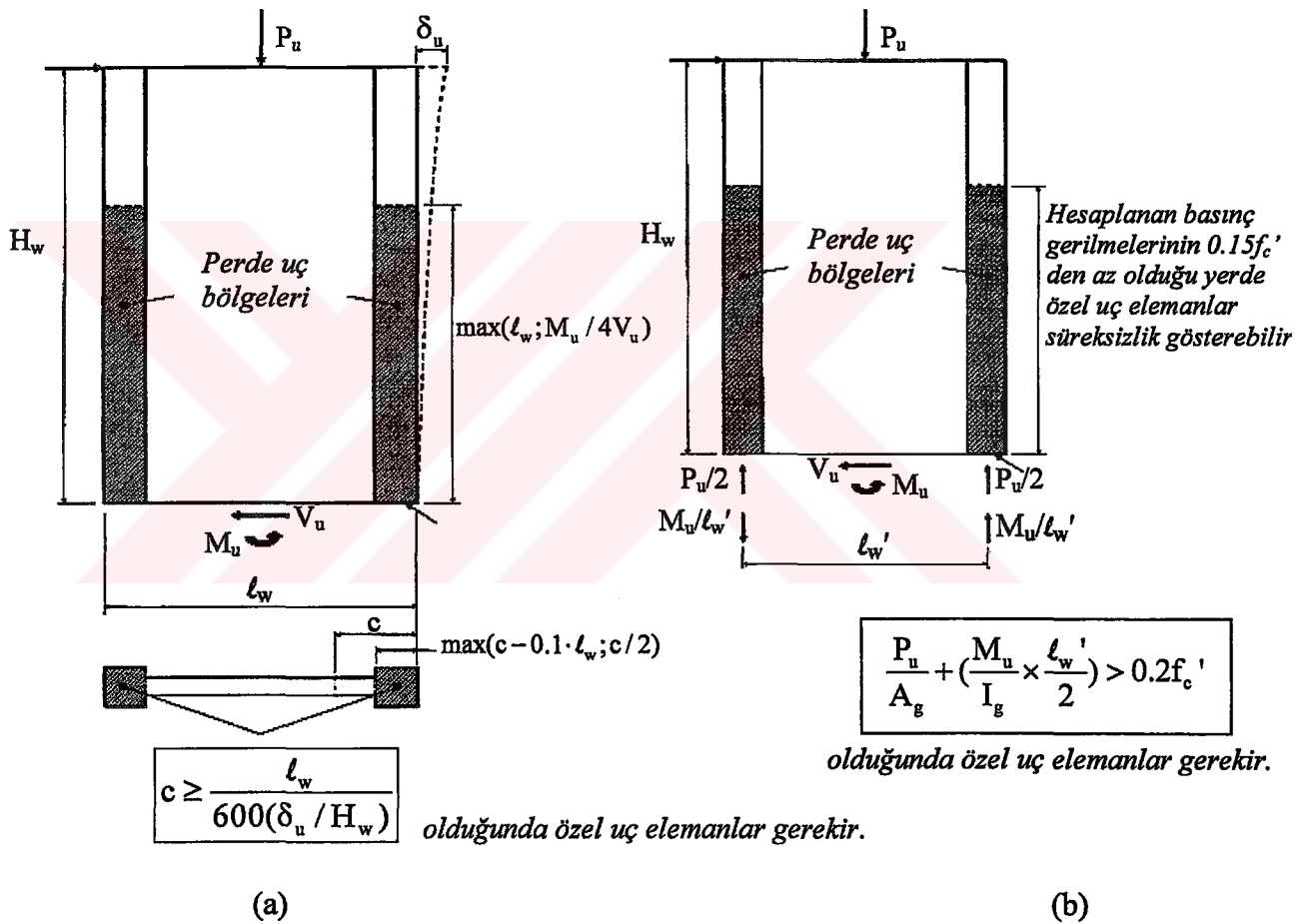
Kayma etkileri, perdelerin sünek davranışına ve çevrimsel davranış esnasında önemli derecede enerji dağıtımına engel olmamalıdır [7]. Bu nedenle dayanımı kayma etkilerinin kontrol etmesine izin verilmez. Enerji dağıtımının eğilme akmasıyla kontrol edilmesini sağlamak için deprem etkisi altında perdenin taşıyacağı maksimum kesme kuvveti değerinin sınırlandırılması gerekir. Bu sınır yönetmeliklerde çeşitli biçimlerde hesaplatılmaktadır. Çizelge 4.1'de bunlar özetlenmiştir.

Çizelge 4.2 Deprem yönetmeliklerindeki kesme kuvvetleri sınır formülleri

| Yönetmelik | Perdelerdeki Kesme Kuvvetinin Sınır Formülü |
|--------------|--|
| A.B.Y.Y.H.Y. | $V_d \leq A_{ch} \times (0.65 \times f_{ctd} + \rho_{sh} \times f_{yd}), V_d \leq 0.22 \times A_{ch} \times f_{cd}$ |
| ACI_318-02 | $V_d \leq A_{cv} \times (\alpha_c \times \sqrt{f'_c} + \rho_n \times f_y)$ <p>$H_w / l_w \leq 1.5$ için $\alpha_c = 3$, $H_w / l_w \geq 2$ için $\alpha_c = 2$ dir. H_w / l_w oranının 1.5 ile 2 arasındaki değerleri için α_c 'nin 3 ile 2 değerleri arasında lineer orantı yapılır.</p> |
| EUROCODE 8 | $V_{sd} \leq V_{rd2}$ $V_{rd2} = 0.4 \times (0.7 - f_{ck} / 200) \times f_{cd} \times b_w \times 0.8 \times l_w$ kritik bölgede $V_{rd2} = 0.5 \times (0.7 - f_{ck} / 200) \times f_{cd} \times b_w \times 0.8 \times l_w$ kritik bölge dışında ayrıca, $\alpha_s = \frac{M_{sd}}{V_{sd} \times l_w} \leq 1.3$ için, $V_{cd} = \left[\frac{0.25 \times (f_{ctk0.05})}{\gamma_c} \right] \times [1.2 + 40\rho_1] \times b_w \times 0.8 l_w$ olmak üzere, $V_{sd} \leq V_{rd3} = [\rho_h f_{yd} b_w 0.8 l_w (\alpha_s - 1.3) + \rho_v f_{yd} (1.3 - \alpha_s)] \times b_w 0.8 l_w + V_{cd}$ $2 > \alpha_s > 1.3$ için, $V_{sd} \leq V_{rd3} = V_{wd} + V_{cd} = \rho_h f_{yd} b_w 0.8 l_w + V_{cd}$ $\alpha_s > 2$ için kolonlara ait hükümler uygulanır. |

5. BETONARME PERDELER İÇİN YÖNETMELİKLERDE YER ALAN KONSTRÜKTİF KURALLAR

5.1 ACI_318-02 Hükümleri



Şekil 5.1 ACI_318-02'e göre perdelerde uç eleman gereksinimi

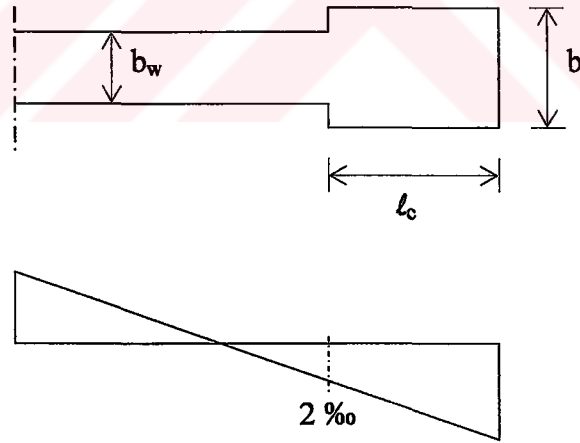
ACI 318_02'de perde elemanlarda uç eleman gereksinimleri Şekil 5.1. a ve b'ye göre belirlenir. Yapının temel tabanından itibaren perde tepe noktasına kadar tek bir enkesite sahip olan perdeler için özel uç elemanların gerekli olup olmadığının saptanmasında Şekil 5.a'daki hükümler uygulanır.

Denklemdaki δ_u / H_w ifadesi 0.007'den küçük alınamaz. Bu tanıma uymayan perde ve perde elemanları Şekil 5.1.b'ye göre uç eleman gereksinimleri belirlenir.

Şekil 5.1.b'deki hükümler perdede oluşan maksimum uç lif basınç gerilmelerinin $0.2f_c'$ geçtiği yerde özel uç eleman oluşturulması gerektiğine dayanır. Bu hükümleri uygulamak için hesaplanması gereken gerilme değerleri katsayı uygulanmış kuvvetler ile lineer elastik model ve brüt kesit özellikleri kullanılarak hesaplanmalıdır.

5.2 EUROCODE 8 Hükümleri

. Eurocode 8'de perdelerde uç eleman oluşturulmasının gerekli olup olmadığının saptanmasındaki kriter şu şekildedir: Perde de oluşan uç lif basınç şekil değiştirmelerinin 0.002'yi aşan bölgelerinde temel tabanından itibaren kritik bölge yüksekliği boyunca uç elemanlar oluşturulmalıdır.



Şekil 5.2 Eurocode 8'e göre perdelerde uç eleman gereksinimi

$$\begin{aligned} b_w &\geq 150 \text{ mm} \\ &\geq l_w/16 \\ &\geq H_s/20 \\ &\geq (q/60) \times l_w \end{aligned}$$

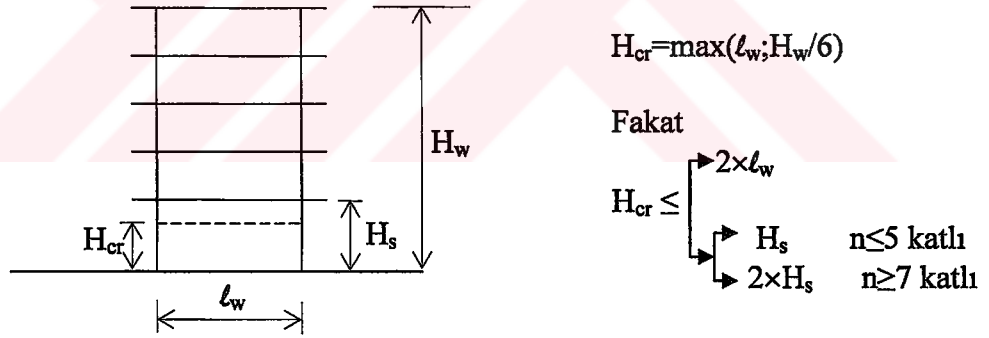
Eğer

$$l_c \geq \max \begin{cases} 2 \times b_w \\ 0.2 \times l_w \end{cases} \quad \text{ise} \quad b \geq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ H_s/10 \end{cases}$$

Eğer

$$l_c < \max \begin{cases} 2 \times b_w \\ 0.2 \times l_w \end{cases} \quad \text{ise} \quad b \geq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ H_s/15 \end{cases}$$

$$l_c \geq 0.15 \times l_w \\ \geq 1.5 \times b_w$$



Şekil 5.3 Eurocode 8'e göre kritik perde yüksekliği

5.2.1 Eurocode 8 Ek -A- Perde Uç Elemanlarının Ön Tasarımı

1) Aşağıdaki ifadeler sonuç analizinin gerçekleştirilmesinden önce süneklilikle ilişkili olan l_c ve w_{vd} ifadeleri için bir ön değerlendirme imkanı sunar.

2) Alınan q ve seçilen w_{vd} için, gerekli sarılma uzunluğu l_c aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\left(\frac{\ell_c}{\ell_w}\right)_{\text{gerekli}} = 0.1 + \ell_1 \times \left(\frac{q}{2.5}\right)^2 \times ((\mu_d + \nu_d) - 0.1) \quad (5.1)$$

3) Alınan q ve seçilen ℓ_c için, sargı donatısının gerekli mekanik donatı yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$(w_{wd})_{\text{gerekli}} = 0.1 + \ell_2 \times \left(\frac{q}{2.5}\right)^2 \times ((\mu_d + \nu_d) - 0.1) \quad (5.2)$$

4) Denklem (5.1) ve (5.2)' de kullanılan parametreler aşağıdaki gibi olduğu varsayılabilir.

$$\mu_d + \nu_d = \frac{\gamma_{sd} \times M_{sd}}{b_w \times \ell_w^2 \times f_{cd}} + \frac{N_{sd}}{b_w \times \ell_w \times f_{cd}} \quad (5.3)$$

$$\ell_1 = \begin{cases} 1.4 - 2.5 \times w_{wd} & \text{eğer } w_{wd} < 0.4 \\ 0.4 & \text{eğer } w_{wd} > 0.4 \end{cases} \quad (5.4)$$

$$\ell_2 = 1.8 - 2.6 \times (\ell_c / \ell_w) \quad (5.5)$$

$$\gamma_{sd} = 1.30 \quad (5.6)$$

5) $\mu_d + \nu_d$ değerinin 0.5' i aştığı nadir durumlarda sarılma uzunluğu ℓ_c değeri nadiren $0.3 \ell_w$ değerini aşar.

5.3 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Hükümleri

5.3.1 Enkesit Koşulları

5.3.1.1 - Aşağıda 5.3.1.2' de belirtilen özel durum dışında perde kalınlığı, kat yüksekliğinin 1/15'inden ve 200 mm'den az olmayacaktır. Ancak $H_w / \ell_w > 2.0$ olan perdelerde, aşağıda 5.3.2'de tanımlanan *kritik perde yüksekliği* boyunca perde kalınlığı, kat yüksekliğinin 1/12'sinden az olmayacaktır.

5.3.1.2 - Deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca sadece perdeler tarafından taşındığı binalarda, Denklem (5.7) ve (5.8) ile verilen koşulların her ikisinin de sağlanması durumunda perde duvar kalınlığı, binadaki en yüksek katın yüksekliğinin 1/20'sinden ve 150 mm'den az olmayacaktır.

$$\sum A_g / \sum A_p \geq 0.002 \quad (5.7)$$

$$V_t / \sum A_g \leq 0.5 f_{ctd} \quad (5.8)$$

Denklem (5.7) ve (5.8), bodrum katlarının çevresinde çok rijit betonarme perdelerin bulunduğu binalarda zemin kat düzeyinde, diğer binalarda ise temel üst kotu düzeyinde uygulanacaktır.

5.3.2 Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği

5.3.2.1 - $H_w / \ell_w > 2.0$ olan perdelerin planda her iki ucunda *perde uç bölgeleri* oluşturulacaktır (Şekil 5.4.). Perde uç bölgeleri, perdenin kendi kalınlığı içinde oluşturulabileceği gibi, perdeye birleşen diğer bir perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde de düzenlenebilir.

5.3.2.2 - Temel üstünden itibaren *kritik perde yüksekliği*, $2\ell_w$ değerini aşmamak üzere, aşağıda verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak biçimde belirlenecektir.

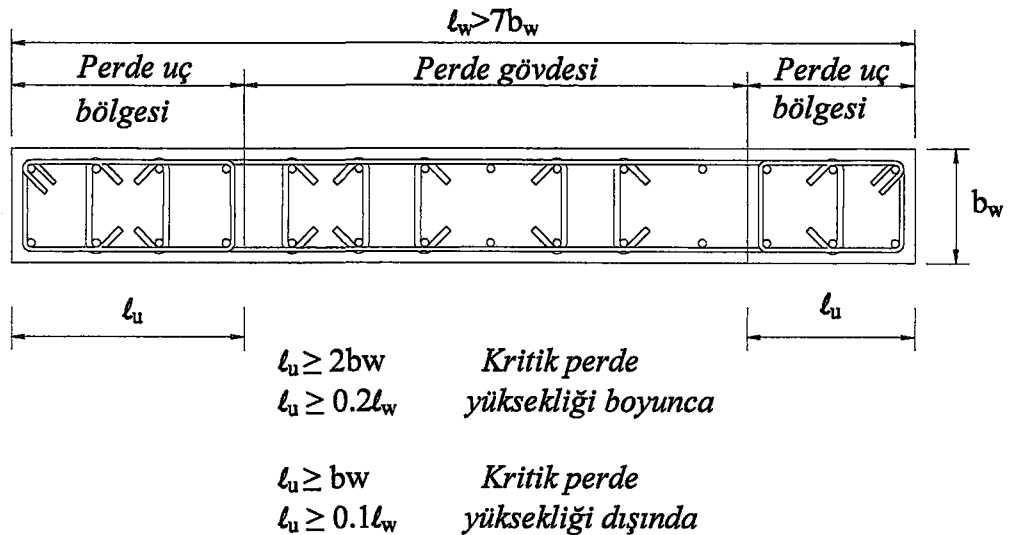
$$H_{cr} \geq l_w \quad (5.9)$$

$$H_{cr} \geq H_w / 6 \quad (5.10)$$

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, H_w ve H_{cr} büyüklükleri zemin kat döşemesinden itibaren yukarıya doğru göz önüne alınacaktır. Bu tür binalarda kritik perde yüksekliği, en az zemin katın altındaki ilk bodrum katının yüksekliği boyunca aşağıya doğru ayrıca uzatılacaktır.

5.3.2.3 - Dikdörtgen kesitli perdelerde, yukarıda tanımlanan *kritik perde yüksekliği* boyunca uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu, perdenin plandaki toplam uzunluğunun %20'sinden ve perde kalınlığının iki katından daha az olmayacaktır. Kritik perde yüksekliğinin üstünde kalan perde kesimi boyunca ise, perde uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu, perdenin plandaki toplam uzunluğunun %10'undan ve perde kalınlığından az olmayacaktır (Şekil 5.4).

5.3.2.4 - Perde uç bölgelerinin, perdeye birleşen diğer bir perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde düzenlenmesi durumunda; her bir perde uç bölgesinin enkesit alanı, en az dikdörtgen kesitli perdeler için 5.3.2.3'te tanımlanan alana eşit olacaktır.



Şekil 5.4 A.B.Y.Y.H.Y.'e göre perde gövdesi ve perde uç bölgeleri

5.4 Yönetmeliklerde Yer Alan Perde Donatı Koşullarının Karşılaştırılması

Betonarme perdelerde donatı koşullarına ilişkin hususlar dünyadaki tüm yönetmeliklerde belirli kısıtlamalar altında sunulmaktadır. Çizelge 5.1’de betonarme perdeler için A.B.Y.Y.H.Y., Eurocode 8 ve ACI_318-02 yönetmeliklerinde bulunan hükümler bir arada sunulmaktadır.

Çizelge 5.1 Yönetmeliklerdeki donatı koşullarının karşılaştırılması

| Sıra No | Donatının Konumu | Yönetmeliklerdeki Donatı Koşulları | | |
|---------|---------------------------------------|--|---|---|
| | | A.B.Y.Y.H.Y. | ACI_318-02 | EUROCODE 8 |
| 1 | Gövde Donatısı | $A_g = b_w \times (\ell_w - 2\ell_u) \times 0.0025$ | $\rho_{dış} = \rho_{iç} = 0.0025$ | $\rho_{dış} = \rho_{iç} = 0.002$ |
| 2 | Gövde Donatı Aralığı (Yatay ve Düşey) | $s \leq 200 \text{ mm}$ $s \leq b_w$ | $s \leq 450 \text{ mm}$ | $s \leq 200 \text{ mm}$ |
| 3 | Uç Bölge Donatısı | $A_{uç} \geq 0.002 \times b_w \times \ell_w$ $\text{min } 4\phi 14$ | $A_{min} = \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_{yd}} \times b_w \times \ell_u$ $A_{min} \geq 200 \times b_w \times \ell_u / f_y$ $\rho_{uç} \geq 0.01$ $\rho_{topl} \leq 0.06$ | $A_{uç} = 0.005 \times \ell_u \times b_w$ $\rho_{uç} \geq 0.01$ $\rho_{topl} \leq 0.04$ |
| 4 | Uç Bölge Etriye Aralığı | $50 \text{ mm} \leq s \leq 100 \text{ mm}$ $s \leq b_w / 2$ | $10 \leq s = 10 + \frac{35 + b_d}{3} \leq 15$ $s \leq \ell_u / 4$ $s \leq 30 \text{ mm}$ | $s \leq \ell_u / 4$ $s \leq 100 \text{ mm}$ $s \leq 5\phi_{boyuna}$ |

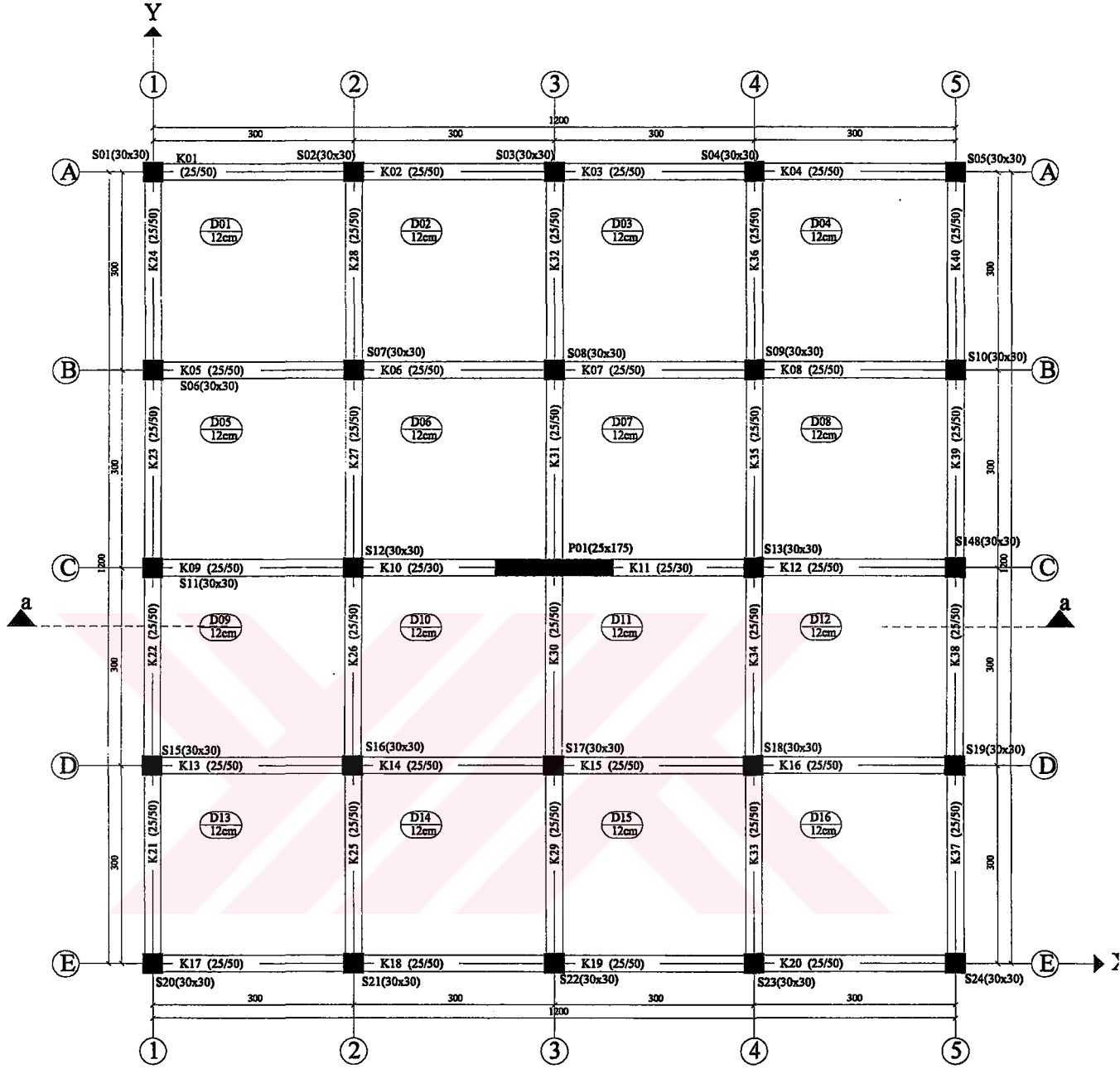
6. PERDELİ ÇERÇVE TAŞIYICI SİSTEMLİ BİR YAPININ BÜNYESİNDEKİ PERDE ELEMANIN UÇ BÖLGE İHTİYACININ BELİRLENMESİ

Bu bölümde taşıyıcı sistemi perdeli çerçeve olan bir yapının üç boyutlu statik analizi yapılacak. Daha sonra statik analizden elde edilen kesit tesirleri değerlerine göre bünyesinde bulunan perde elemanın betonarme kesit hesabı yapılacaktır. Perdenin kesit özelliklerine göre yatay yükler altında uç bölge ihtiyacı, deplasmana dayalı tasarım ve sonlu elemanlar analizi yöntemleriyle belirlenecektir.

6.1 Bina Genel Bilgileri ve Planı

Çizelge 6.1 Bina genel bilgileri

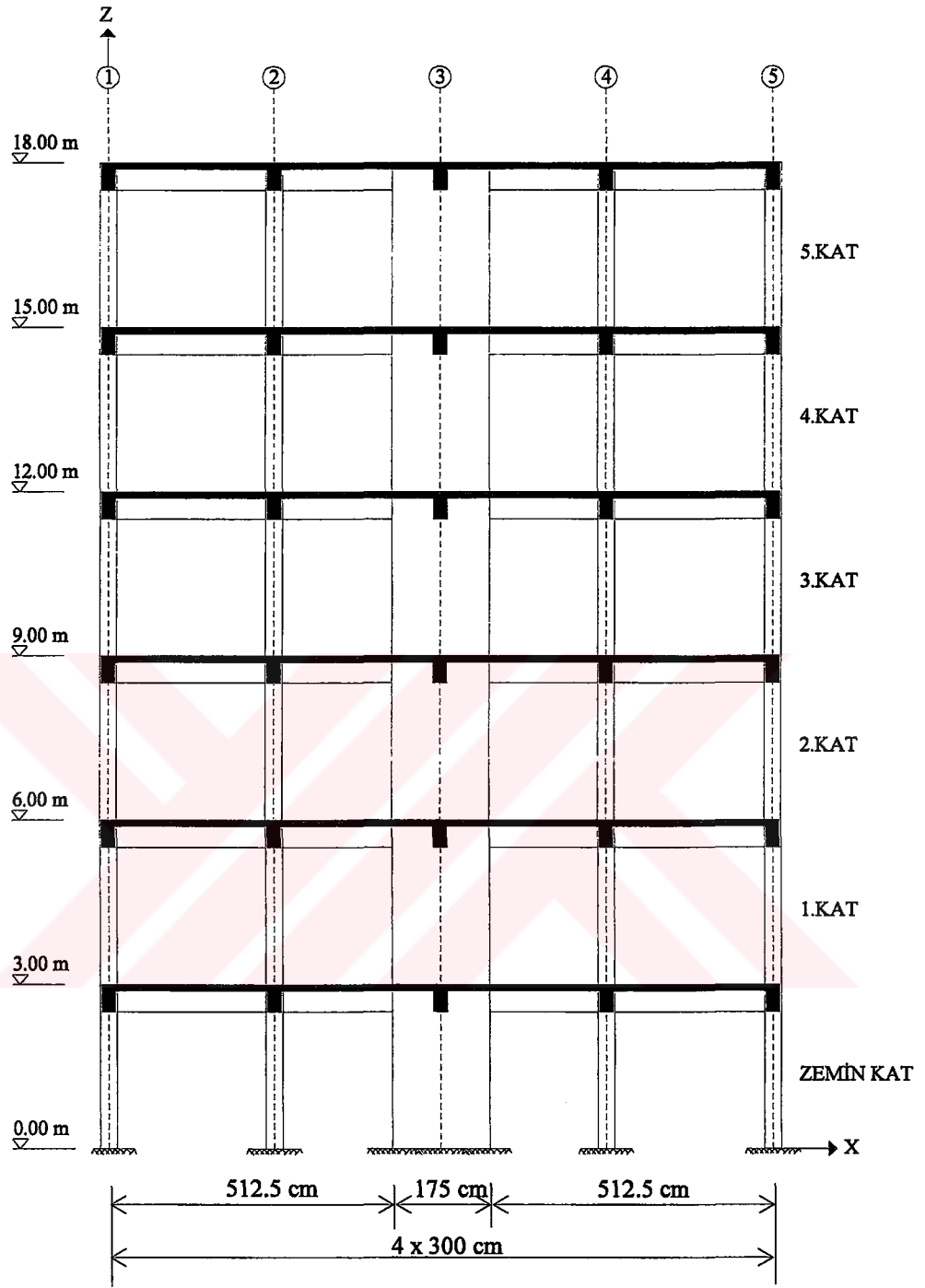
| Altı Katlı Perdeli-Çerçeve Betonarme Yapı | | | | |
|---|-----------------|-------|-----------------------------|-------|
| Deprem bölgesi | | | 1 | |
| Yerel zemin sınıfı | Z | | Z3 | |
| Yapı türü | | | Konut | |
| Taşıyıcı sistem süneklik düzeyi | | | Yüksek | |
| Kesit hesaplarında kullanılacak yöntem | | | Taşıma gücü | |
| Deprem yükü analiz yöntemi | | | Eşdeğer deprem yükü yöntemi | |
| Zemin emniyet gerilmesi | σ | | 15 t/m ² | |
| Bina önem katsayısı | I | | 1 | |
| Etkin yer ivmesi katsayısı | A_0 | | 0.40 | |
| Spektrum karakteristik periyotları | T_A, T_B (sn) | | 0.15 | 0.60 |
| Hareketli yük katılım katsayısı | n | | 0.30 | |
| Malzeme | Beton | Çelik | C 20 | S 420 |
| Taşıma gücü malzeme güvenlik faktörü | Beton | Çelik | 1.50 | 1.15 |



Şekil 6.1 Altı katlı perdeli-çerçeve betonarme yapının planı

Çizelge 6.2 Taşıyıcı eleman boyutları ve kat ağırlıkları

| Kat No | Kiriş boyutları (cm) | Kolon boyutları (cm) | Perde boyutu (cm) | Döşeme h_f (cm) | $W_i = (G_i + n \cdot Q_i)$ (t) |
|--------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|
| Z.Kat | 25/50 | 30x30 | 25x175 | 12 | 144.844 |
| 1 | 25/50 | 30x30 | 25x175 | 12 | 144.844 |
| 2 | 25/50 | 30x30 | 25x175 | 12 | 144.844 |
| 3 | 25/50 | 30x30 | 25x175 | 12 | 144.844 |
| 4 | 25/50 | 30x30 | 25x175 | 12 | 144.844 |
| 5 | 25/50 | 30x30 | 25x175 | 12 | 144.844 |



Şekil 6.2 C-C aksı (a-a kesiti)

6.2 Statik Hesap

Deprem yüküne etkili olan toplam bina ağırlığı [2] ;

$$W = \sum W_i = 851.065 \text{ t} \quad (6.1)$$

Binanın birinci doğal titreşim periyodu [2] ;

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t \times H_N^{3/4} \quad (6.2)$$

$$T_{1A} = 0.05 \times (18)^{3/4} = 0.585 \text{ sn} \quad (6.2.a)$$

Spektrum katsayısı [2] ;

$$T_A < T < T_B \text{ yani } 0.15 \text{ sn} < 0.585 \text{ sn} < 0.6 \text{ sn} \text{ olduğundan ;} \quad (6.3)$$

$$S(T) = 2.5 \text{ alınır.} \quad (6.4)$$

Etkin yer ivmesi katsayısı [2] ;

$$A_0 = 0.4 \quad (6.5)$$

Bina önem katsayısı [2] ;

$$I = 1 \quad (6.6)$$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı [2] ;

$$R=6 \text{ (Deprem yüklerinin tamamı boşluksuz perdelerle taşındığı bina)} \quad (6.7)$$

Toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti) [2] ;

$$V_t = A_0 \times I \times W / R \quad (6.8)$$

$$V_t = 141.844 \text{ t} \quad (6.8.a)$$

Deprem yükünün katlara dağıtılması [2] ;

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\sum W_j \times h_j} \times V_t \quad (6.9)$$

Çizelge 6.3 Kat hizalarına etkiyen yatay kuvvetler

| Kat No | Zemin | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $F_i(t)$ | 6.12 | 13.72 | 20.67 | 27.05 | 33.08 | 41.20 |

Perde ve kolonlu sistemlerde, R taşıyıcı sistem davranış katsayısı dolayısıyla R_a deprem yükü azaltma katsayısı, toplam taban devrilme momentinin perdeler tarafından karşılanması oranı α_m katsayısına bağlıdır [2].

$$R_{\min} = 6 \leq R = 10 - 4\alpha_m \leq R_{\max} = 7 \quad [2] \quad (6.10)$$

α_m = perde taban momentleri / toplam devrilme momenti [2]

$$\alpha_m = \frac{\sum M_p + \sum \sum M_k}{M_d} \quad (6.11)$$

Deprem yüklerinin toplam taban devrilme momenti ;

$$M_d = \sum F_i \times h_i \quad (6.12)$$

Çizelge 6.4 Toplam devrilme momenti

| Kat No | H (m) | F _i (t) | F _i .H _i (tm) |
|------------|-------|--------------------|-------------------------------------|
| Zemin | 3 | 6.12 | 18.25 |
| 1 | 6 | 13.72 | 82.34 |
| 2 | 9 | 20.67 | 186.03 |
| 3 | 12 | 27.05 | 324.60 |
| 4 | 15 | 33.08 | 496.20 |
| 5 | 18 | 41.20 | 741.65 |
| $\sum M_d$ | | | 1849.17 |

Çizelge 6.5 Perde taban momenti

| Perde | M _x (tm) | $\sum M_{\text{çkiriş}}$ | $\sum M_{\text{xt}}$ |
|-------|---------------------|--------------------------|----------------------|
| P01 | 283.01 | 190.04 | 473.04 |

$$\alpha_m = \frac{473.04}{1849.17} = 0.26 < 0.75 \text{ olduğundan } R = R_{\max} = 7 \text{ alınarak hesap tekrarlanır.}$$

R=7 alınarak yapılan statik hesap sonucu taban kesme kuvveti ve katlara dağılımı ;

$$V_t = 121.58t > 0.1 \times A_0 \times I \times W = 34.04t \quad (6.13)$$

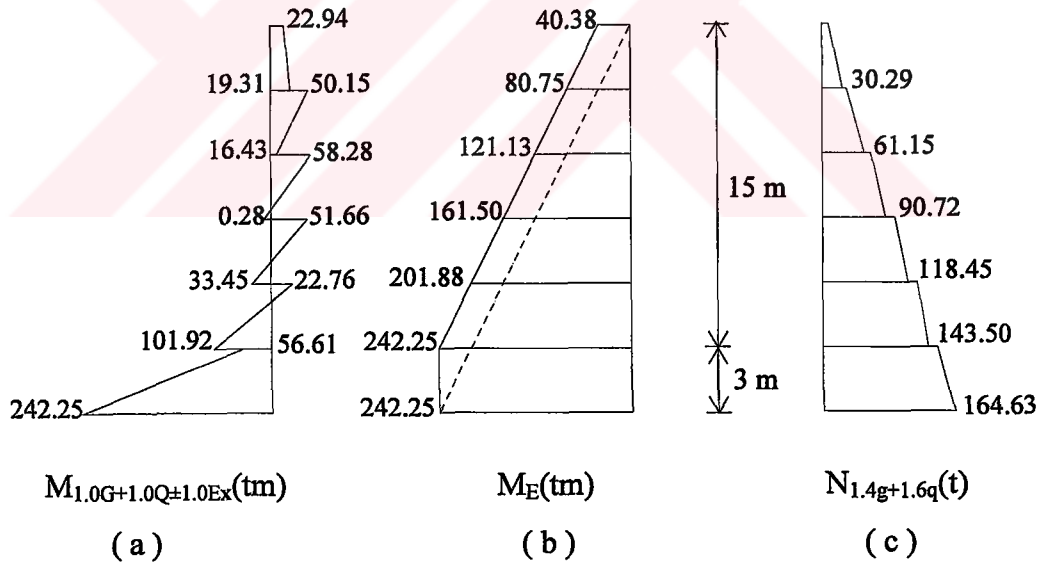
Çizelge 6.6 Kat hizalarına etkiyen düzeltilmiş yatay kuvvetler

| Kat No | Zemin | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F_i (t) | 5.19 | 11.70 | 17.83 | 23.33 | 28.34 | 35.19 |

$1.0G + 1.0Q \mp 1.0E_x$ yük kombinasyonuna göre üç boyutlu statik analiz sonucunda P01 perdesinde oluşan kesit tesirleri ;

$$M_{dx}=242.25 \text{ tm} \quad V_{\text{tabanx}} = 61.88 \text{ t} \quad N_{dx}=89.95 \text{ t} \quad (6.14)$$

Şekil 6.3'de deprem etkisinden oluşan moment diyagramı ile yönetmeliğe uygun genişletilmiş moment diyagramı ve düşey yüklerden perdede oluşan normal kuvvet değişimi gösterilmiştir. Perde kesitindeki etkili eğilme momentinin deprem etkisinden ve etkili normal kuvvet de düşey yüklerden oluşmuştur.



Şekil 6.3 (a) Perde deprem moment diyagramı ; (b) Genişletilmiş moment diyagramı ; (c) Perde normal kuvvet diyagramı

6.3 Perde Taban Kesitinin Betonarme Hesabı

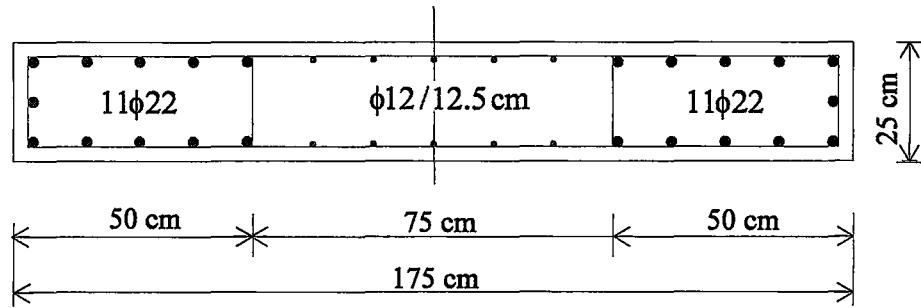
Eksenel yük ve eğilmeye maruz dikdörtgen kesitlerin taşıma gücüne göre betonarme hesabı için en kullanışlı yöntem, boyutsuz karşılıklı etki diyagramları şeklinde sunulan abaklar yardımı ile yapılır [23]. Abaklar donatı sınıfına göre ve donatının kesit içerisindeki düzenine göre kullanılmaktadır. Kesitteki donatı bilinmediğinden kesit üzerindeki donatı için bir varsayım yapılarak donatı sınıfına uygun abaklardan gerekli donatı yüzdesi okunacaktır.

P01 perdesinin betonarme kesit hesabında perde gövde donatısı da hesaba katılmış ve donatının simetrik dağıldığı kabul edilmiştir. Bu kabule uygun boyutlama tabloları kullanılarak gerekli donatı oranı bulunup bunun sonucunda gerekli donatı alanı hesaplanmıştır [23].

Gerekli donatı alanı hesaplandıktan sonra yönetmeliklerde ön görülen donatı düzenleme kurallarına uygun olarak, perde kesiti donatılacaktır.

$$\rho = 0.0215 \quad A_s = 94.06 \text{ cm}^2 \quad \text{Seçilen donatı : } 2 \times 1 \phi 22 (\text{uç}) + 2 \times 5 \phi 12 (\text{gövde})$$

Donatının kesit içerisindeki yerleşimi ;



Şekil 6.4 Perde kesitindeki donatı yerleşimi

6.3.1 Donatı Düzenleme ve Kesit Boyutlarına Ait Kriterlere Uygunluk

$$* \frac{b_w}{\ell_w} = \frac{25}{175} = \frac{1}{7} \text{ olduğundan P01 düşey taşıyıcı elemanı yönetmelik gereği}$$

perde elemandır [2].

$$* \frac{h_1}{12} = \frac{300}{12} = 25 \text{ cm olan minimum perde kalınlığı yeterlidir [2].}$$

$$* \frac{H_w}{\ell_w} = \frac{1800}{175} = 10.29 > 2 \text{ olduğundan perde yüksekliği boyunca perde uç}$$

bölgesi oluşturulacaktır [2].

$$* \begin{aligned} H_{cr} &\geq \ell_w = 175 \text{ cm} \\ H_{cr} &\geq H_w / 6 = 300 \text{ cm} \end{aligned} \text{ olduğundan perde tabanından itibaren 3 m}$$

yükseklikteki kritik mesafede perde uç bölgeleri oluşturulacaktır [2].

$$* \begin{aligned} \ell_u &\geq 0.2\ell_w = 35 \text{ cm} \\ \ell_u &\geq 2b_w = 50 \text{ cm} \end{aligned} \text{ olduğundan perdenin her iki ucuna 50 cm uzunluğunda}$$

ve kritik yükseklik boyunca uç bölgeleri oluşturulacaktır [2].

$$* \text{Gövde donatısı alanı [2], } 10\phi 12 (11.31 \text{ cm}^2) \geq b_w \times \ell_{\text{gövde}} \times 0.0025 = 4.69 \text{ cm}^2$$

$$* \text{Uç bölge donatısı alanı [2], } 11\phi 22 (41.81 \text{ cm}^2) \geq 0.002 \times b_w \times \ell_w = 8.75 \text{ cm}^2$$

$$* \text{Uç Bölgesi düşey donatı aralığı [27], } 11.2 \text{ cm} \geq 1.5 \times \phi = 3.3 \text{ cm}$$
$$\geq 4 \text{ cm}$$
$$\leq 20 \text{ cm}$$

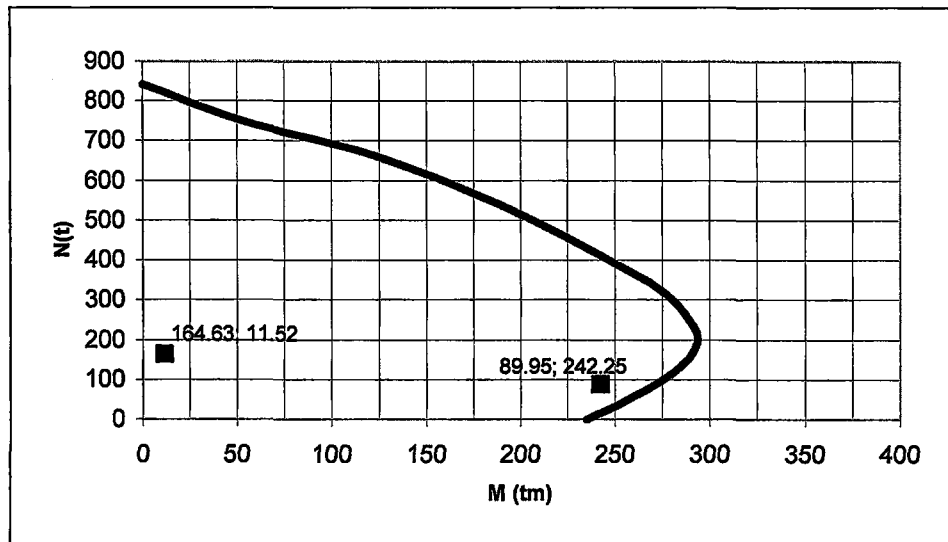
$$* \text{Gövde donatısı aralığı [2], } 12.5 \text{ cm} \leq 25 \text{ cm}$$

6.3.2 Betonarme Perdenin Taşıma Gücü

TS 500 Kısım 6.2 Yapı Güvenliği kısmında yer alan “Azaltılmış malzeme dayanımları kullanılarak hesaplanan taşıma gücü değerlerinin yük kombinasyonlarına göre hesaplanan değerlerden küçük olmadığı kanıtlanacaktır” ibaresine göre; Şekil 6.4’de görüldüğü üzere donatı abakları ve de yönetmeliklerdeki donatı düzenleme kurallarına uygun olarak dizayn edilen perde kesitinin, boyut, malzeme ve donatı düzeni tamamen belli olduğundan kesite ait denge ve uygunluk denklemlerinin çözülmesi sonucu perdenin güvenle taşıyabileceği maksimum moment değerleri hesaplanacak ve yönetmelik gereği istenilen kanıt sağlanacaktır. Çizelge 6.7’de düşey yükün ve momentin en kritik değerlere ulaştığı kombinasyonlara ait değerler verilmiştir.

Çizelge 6.7 Betonarme hesaba esas kesit tesirleri

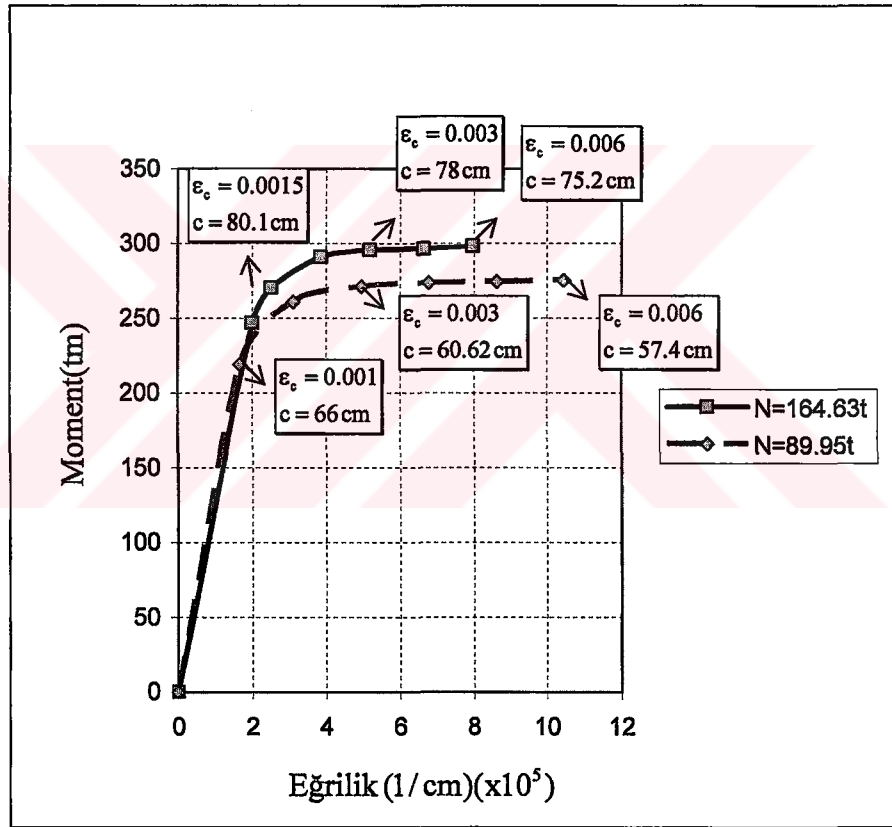
| Yük Kombinasyonu | N_d (t) | M_d (tm) | Tarafsız eksen mesafesi c (cm) | M_r (tm) |
|--------------------------|-----------|------------|----------------------------------|------------|
| 1.4G+1.6Q | 164.63 | 11.52 | 78 | 291.02 |
| 1.0G+1.0Q±E _x | 89.95 | 242.25 | 60.62 | 271.34 |



Şekil 6.5 P01 perdesine ait karşılıklı etki diyagramı

Kesite ait karşılıklı etki diyagramında gösterildiği üzere en kritik yük kombinasyonlarına ait M-N çiftleri perdeye ait karşılıklı etki diyagramının içinde kalmıştır.

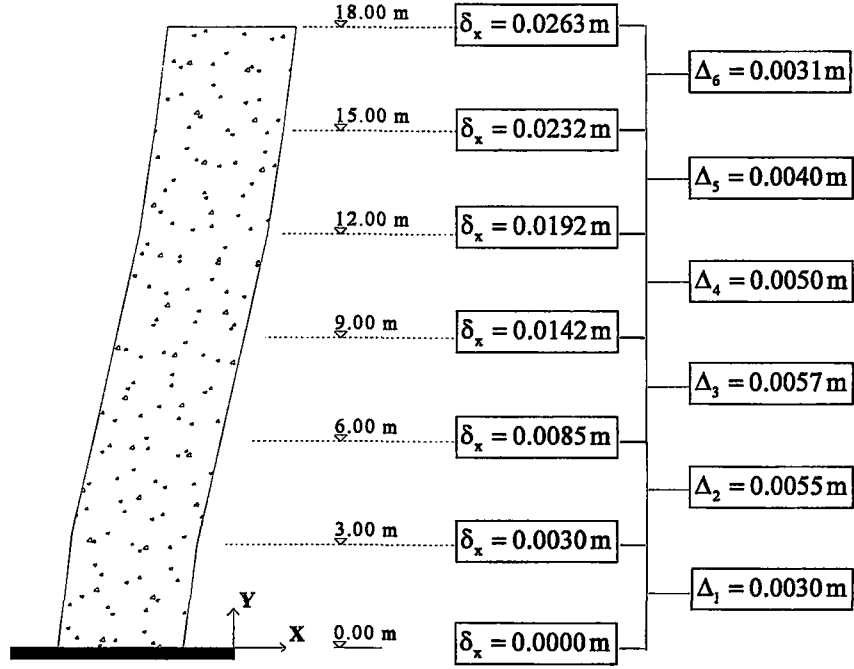
İki yük kombinasyonu halinde elemanın davranış olarak bir karşılaştırılması yapılacak olursa; aksenal yük düzeyinin yüksek olduğu durumda kesitin moment taşıma kapasitesi artmakta fakat sünekliği düşmektedir. Bu davranış moment-eğrilik ilişkisiyle daha detaylı ve anlaşılır bir biçimde görülebilir.



Şekil 6.6 P01 perdesine ait moment-eğrilik ilişkisi

6.3.3 Deprem Kuvvetleri Etkisinde Perdenin Davranışı

Deprem yükü altında betonarme perdenin davranışı kat deplasmanlarına göre incelenip eğilme biçimi olarak nasıl bir davranış sergilediği gösterilecektir. Şekil 6.7'de $1.0G + 1.0Q \mp 1.0E_x$ yük kombinasyonu sonucu kat hizalarında oluşan yanal ötelenmeler ve görelî kat ötelenmeleri gösterilmiştir.



Şekil 6.7 1.0G+1.0Q+1.0E_x yük kombinasyonuna ait yatay deplasmanlar ve görel kat ötelemeleri

Şekil 6.7’de görüldüğü üzere perdenin 3. katına kadar görel kat ötelemesi artmakta 3. kattan sonra ise görel kat ötelemesinde azalma olmaktadır. Bunu sebebi Bölüm 2.1’de açıklandığı üzere perde-çerçeve etkileşimidir. Perde konsol kiriş şeklinde eğilmeye çalışmak istemekte fakat üst katlarda perdenin yatay yerdeğiştirmesi çerçeve tarafından engellenmektedir. Bu nedenle alt katlarda iki sistem yatay yükün taşınmasında birbirlerine yardım ederken, üst katlarda perdeye etkiyen yük işaret değiştirmektedir.

6.3.3.1 Görel Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

A.B.Y.Y.H.Y. Kısım 6.10.1.2’de belirtilen “Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i’inci katındaki kolon veya perdelerde, Denk.(6.14) ile hesaplanan görel kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri (Δ_i)_{max} Denk.(6.15)’de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacaktır” ibaresine göre kat öteleme değerleri kontrol edilecektir.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 \quad (6.14)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \quad (6.15)$$

Buna göre;

$$(\Delta_i)_{\max} = \Delta_3 = 0.0057 \quad h_i = h_3 = 3.00 \text{ m} \quad R = 7$$

$$\frac{0.0057}{3} = 0.0019 \leq 0.0035 \quad (6.14.a)$$

$$\frac{0.0057}{3} = 0.0019 \leq \frac{0.02}{7} = 0.0029 \quad (6.15.a)$$

olduğundan A.B.Y.Y.H.Y. hükümleri gereği kat öteleme değerleri uygundur.

6.4 Perdenin Deplasmana Dayalı Tasarıma Göre İncelenmesi

Betonarme kesme perdeleri için deplasmana dayalı tasarımı Amerikan Yönetmeliği'nde (ACI 318-02) uygulanmaktadır. Bizim Deprem Yönetmeliğimiz olan A.B.Y.Y.H.Y'de perdeler için böyle bir dizayn tasarımı bulunmamaktadır. Fakat perde uç bölgesi oluşturulması için Bölüm 5.3.2'de açıklandığı üzere bir takım hükümler içermektedir. Bu hükümlerin uygunluğunu tespit etmek amacı ile Bölüm 4.3'de açıklanan hesap sistemine göre P01 perdesi incelenecektir. Buna göre ;

6.4.1 Veriler

1) Maksimum beton basınç şekil değiştirme değeri için TS 500'ün ön gördüğü $\epsilon_c = 0.003$ değeri alınır.

2) $\epsilon_c = 0.003$ değerine karşılık hesaplanan tarafsız eksen derinliği Çizelge 6.7 ve Şekil 6.6'dan 0.6062 m olarak okunur.

3) Yapıya etkiyen yatay yükler sonucunda perde tepe noktasında oluşan deplasman değeri 0.0263 m olarak Şekil 6.7'den okunur.

4) Plastik mafsal boyu $\ell_p = 0.5 \times \ell_w$ olarak alınır. Buna göre ;

$$\delta_u = 0.0263 \text{ m}, \quad c = 0.6062 \text{ m}, \quad \ell_w = 1.75 \text{ m}, \quad H_w = 18 \text{ m}, \quad \ell_p = 0.875 \text{ m}$$

6.4.2 Hesap

$$\varepsilon_{cu} = 2 \times \left[\frac{\delta_u}{H_w} \right] \times \left[\frac{c}{\ell_w} \right] \quad \text{formüllünden [14-18]}, \quad (6.15)$$

$$\varepsilon_{cu} = 2 \times \left[\frac{2.63}{1800} \right] \times \left[\frac{60.62}{175} \right] \quad (6.15.a)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.00101 \quad (6.15.b)$$

olarak bulunur.

6.4.3 Sonuç

$\varepsilon_{cu} = 0.00101 < \varepsilon_c = 0.003$ olduğundan P01 perdesi için özel uç bölgeleri oluşturmaya ihtiyaç olmadığı anlaşılmıştır. Fakat boyuna donatının ani bir şekilde burkulmasını önlemek için perde uçları uygun şekilde sarılması gerekir.

Anlaşılabacağı üzere deplasmana dayalı tasarım uygulaması bir çok kabul ve modelleme içermektedir. Fakat hesap için en büyük belirsizlik, tasarıma temel olan depremle ilgilidir. Deprem kuvvetlerinin belirsizliği yüzünden tasarıma esas olan yanal yer değiştirme değeri (δ_u) belirsizdir. Yapılan deneysel çalışmalar betonarme yapısal perdeler için yanal ötelemenin makul üst limiti olarak perde yüksekliğini %1.5 olabileceğini göstermiştir [5,14,18].

Bu çalışmada hesaplanan deprem kuvvetlerinin tasarlanandan daha büyük bir boyutta oluşabileceği düşünülerek, yani P01 perdesinin yanal öteleme değerini perdeler için yukarıda belirtilen yanal ötelenme üst sınırı olan $1.5H_w$ değerine ulaştıracak bir deprem kuvveti etkimesi durumunda perde uç bölge ihtiyacının ne olacağını tespiti amacıyla $\delta_u = 0.015 \times H_w = 0.27 \text{ m}$ değeri keyfi olarak değiştirilecektir. Buna göre denklem (4.11) kullanılarak;

$$\varepsilon_{cu} = 2 \times \left[\frac{27}{1800} \right] \times \left[\frac{60.62}{175} \right] \quad (6.16)$$

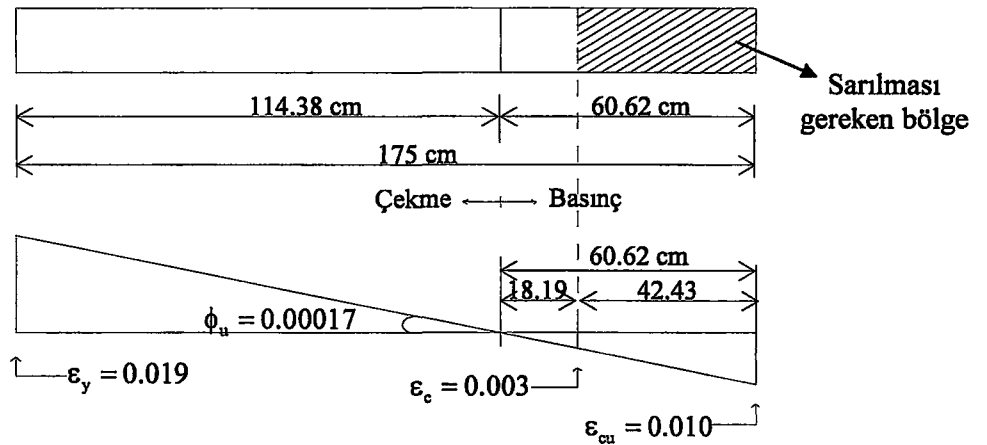
$$\varepsilon_{cu} = 0.01039 \quad (6.16.a)$$

olarak bulunur.

$\varepsilon_{cu} = 0.01039 > \varepsilon_c = 0.003$ olduğundan özel perde uç bölgeleri oluşturulması gereklidir.

6.4.4 Sargı Uzunluğunu Belirlenmesi

Sargı uzunluğu için Bölüm 4.3'de belirtildiği gibi 0.003 lük beton basınç şekil değiştirme değerine göre hesaplanan birim şekil değiştirme çizelgesi kullanılacaktır.



Şekil 6.8 Deplasman dayalı tasarıma göre perde birim şekil değiştirme dağılımı ve gerekli sargı uzunluğu

Yapılan hesap sonucu Şekil 6.7’de görüldüğü üzere P01 perdesinin $1.5H_w$ miktarı kadar bir tepe deplasmanı yaptığı taktirde 42.23 cm’lik perde uç bölgesi oluşturma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Şekil 6.4’de görüleceği üzere A.B.Y.Y.H.Y hükümlerine göre P01 perdesi için 50 cm’lik bir uç bölgesi ön görülmektedir. Sonuç olarak A.B.Y.Y.H.Y hükümleri P01 perdesi için oldukça iyi bir güvenlikte dizayn öngörmektedir.

6.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Perdenin İncelenmesi

Bu bölümde sonlu elemanlar yöntemi ile ilgili olarak kısa ve genel bir bilgi verilerek, betonarme perdeler için en çok kullanılan sonlu eleman tiplerinden levha sonlu elemanlar hakkında kısa bilgiler içermektedir [29]. Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemiyle hesap bilgisayar programı ile yapıldığından el ile çözüm yöntemleri hakkında detaylı bilgiye yer verilmemiştir [29]. Anlatılan genel bilgiler ışığında P01 perdesinin Sap2000 programı ile sonlu elemanlar çözümü yapılmıştır.

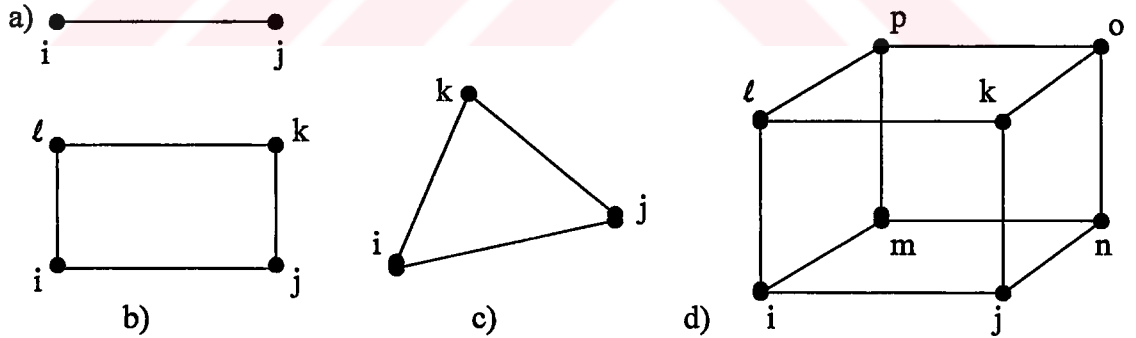
6.5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi çok güçlü ve çağdaş bir sayısal hesaplama yöntemidir. Son 40 yılda bilgisayarların hızlı gelişimine paralel olarak gelişen sayısal hesap yöntemleri içinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu sayısal yaklaşım yöntemi her ne kadar orijinal olarak yapı sistemleri için geliştirilmiş ise de dayandığı esasların genelliği dolayısıyla yöntem akışkanlar mekaniği, zemin mekaniği, uçak mühendisliği, nükleer mühendislik, kaya mekaniği, elektromanyetik alanlar, termal analiz ve daha sayabileceğimiz pek çok mühendislik ve fizik problemlerinin çözümünde araç olarak kullanılmaktadır.

Sayısal yöntemlerin pek çoğunda çözüm, bilinmeyen büyüklüklerin bölge içinde belirli bazı ayrı noktadaki yaklaşık değerlerinin bulunmasına yöneliktir (Örneğin bir kirişin belirli noktalarında çökme değerlerinin bulunması gibi). Yani çözüm, bölgedeki bu seçilmiş noktalardaki değerlerin bulunması işlemine indirgenmektedir. Bölgede belirli bir sayıda noktayı seçme işlemine *ayrıklaştırma* denir. Bir bölgeyi ayrıklaştırmanın yolu onu küçük parçalara, ünitelere, bölmektir.

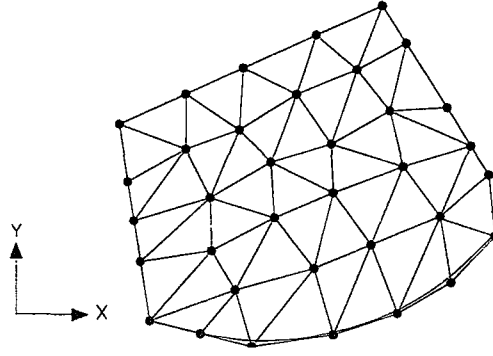
Bu küçük parçalar bir araya gelerek orijinal yapıyı temsil ederler. Böylece tüm yapıyı bir seferde çözmek yerine, bu küçük üniteler için çözüm yapıp bir araya getirilerek orijinal bölgeye ait çözüm elde edilebilmektedir. Bu suretle küçük parçalar için yapılan basit yaklaşımlar ile bölgenin tümü için kabul edilebilir sonuçlar elde etmek mümkün olabilmektedir. Ancak daha iyi sonuç elde etmek için orijinal yapıyı daha küçük ünitelere bölmek, yani daha çok sayısal veri işlemek gerekir ki, bu da mutlaka kapasiteli bilgisayarlar ve bilgisayar programları kullanımı gerektirir [29].

Sonlu elemanlar yönteminin esası çözüm aranan yapıyı, bölgeyi veya cismi çok sayıda küçük sonlu elemanlara, kısaca elemanlara, bölmektir. Bir, iki veya üç boyutlu olabilen bu elemanlar *düğüm* ya da *düğüm noktası* adı verilen noktalarda birbirlerine bağlanmaktadır. Örnek olmak üzere Şekil.6.9'da bir, iki ve üç boyutlu elemanlardan örnekler gösterilmiştir. Şekil.6.10'da ise düzensiz bir geometriye haiz bir levhanın üçgen sonlu elemanlarla ayrıştırılması, veya idealleştirilmesi, görülmektedir. Bu problemin sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü sonucunda aranan büyüklüklerin, örneğin x ve y doğrultusundaki yer değiştirmelerin, dolu yuvarlaklar ile gösterilen düğüm notalarındaki sayısal değerleri elde edilecektir.



Şekil 6.9 Bir, iki ve üç boyutlu sonlu eleman örnekleri

- a) Bir boyutlu çubuk eleman, b) İki boyutlu dikdörtgen eleman,
- c) İki boyutlu üçgen eleman, d) Üç boyutlu dikdörtgen prizma (tuğla) eleman



Şekil 6.10 Düzensiz geometriye haiz bir levhanın üçgen sonlu elemanlarla idealleştirilmesi

Eleman düğüm noktalarındaki aranan büyüklüklerin sayısal değerleri *düğüm nokta serbestlikleri* olarak adlandırılmaktadır. Aranan büyüklüğün eleman içindeki değişimi için seçimi kolay, matematik işlemlerin yapılması basit ve problemin fiziği ile uyumlu, yani davranışı yansıtan, sürekli fonksiyonlar, örneğin polinomlar, seçilmektedir. Bu fonksiyonlara elemanın yer değiştirme şeklini tanımladığı için genel olarak *şekil fonksiyonları* adı verilir. Seçilen fonksiyonların eleman içindeki davranışa katkıları, örneğin polinom seçilmesi halinde polinomun katsayıları, düğüm noktalarındaki aranan büyüklükler cinsinden tayin edilebilmektedir. Yani çözüm yapıp düğüm noktalarındaki bilinmeyenler elde edildikten sonra eleman içindeki değişim belirlenmiş demektir. Sonlu eleman içinde davranışı iyi bir şekilde temsil eden fonksiyonlar yardımıyla oluşturulan elemana ait özellikler orijinal yapı için bir araya getirildiğinde tüm yapıyı iyi bir yaklaşımla temsil edebilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi lineer ve lineer olmayan sistemlere, keza statik olduğu gibi dinamik problemlere de uygulanabilir. Yukarıda sayılan önemli üstünlükler yanında yöntemin genellikle kapasiteli bilgisayarlara ve özellikle amaca yönelik ya da genel bilgisayar programlarına (software) gereksinimi olduğu unutulmamalıdır.

6.5.1.1 Hesapta İzlenen Yol

Sonlu eleman analizinde izlenen yol aşağıdaki altı adımda özetlenebilir.

- 1) Çözüm aranan bölgenin ayrıklaştırılması (bölgenin sonlu elemanlara bölünmesi, eleman ağı teşkili, idealleştirme),
- 2) Şekil fonksiyonlarının seçimi (yapı problemlerinde yer değiştirme modeli),
- 3) Eleman davranış (rijitlik) matrisinin varyasyon ilkesi veya ağırlıklı artıklar yöntemlerinden biri ile çıkarılması,
- 4) Eleman denklemlerinin bir araya getirilmesi ve sınır koşullarının uygulanması
- 5) Tüm sistemin çözülerek bilinmeyenlerin (yapı problemlerinde genellikle yer değiştirmelerin) elde edilmesi,
- 6) Tasarım veya kontrol amacına yönelik olarak diğer büyüklüklerin düğüm nokta bilinmeyenlerinden hareketle hesabı (yapı mekaniğinde eleman şekil değiştirme ve gerilmelerinin hesabı)

6.5.1.2 İki Boyutlu Gerilme Analizi

Bu bölümde çok kullanılan iki boyutlu üçgen ve dikdörtgen sonlu elemanlardan bahsedilecektir. Ancak daha önce düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme kavramları kısaca açıklanacaktır.

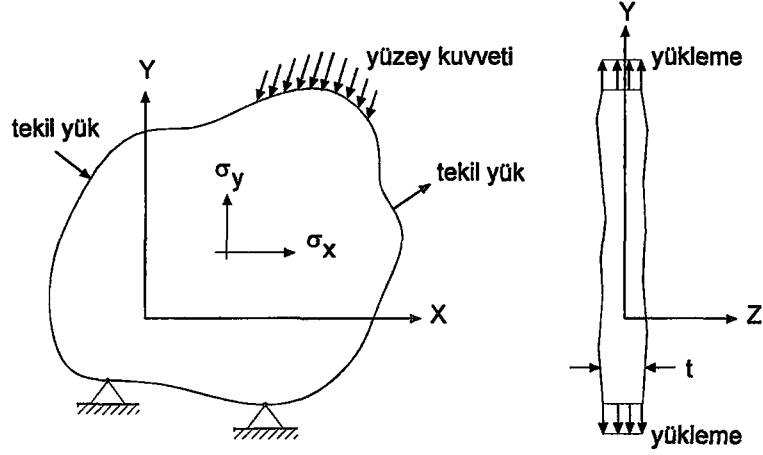
Düzlem gerilme ;

Düzlem gerilme halinde ince bir levha ortalama düzlemine paralel olarak yüklenmektedir. Bu halin tanımı

$$\sigma_{zz} = 0 \quad \sigma_{xz} = 0 \quad \sigma_{yz} = 0 \quad (\varepsilon_{zz} \neq 0) \quad (6.17)$$

olarak verilmektedir (Şekil 6.11). Burada z indisli gerilme bileşenleri düzlem dışı değerleri göstermekte olup hepsi sıfırdır.

Elemanda x ve y doğrultularında hacim kuvvetleri olabilir. Bu hale pek çok durumda rastlanabilir. Örneğin yatay yük taşıyan perde duvarlar, yüksek kirişler gibi.



Şekil 6.11 Düzlem gerilme hali (tüm yükler x-y düzleminindedir)

Elastik halde yazılan gerilme şekil değiştirme bağıntısında D elastisite matrisi malzemenin izotrop veya anizotrop olması hallerine bağlıdır. Burada sadece izotropik hal konu edilmiştir.

$$\sigma = D(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0 \quad (6.18)$$

D matrisi ve ε_0 vektörü düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme halleri için farklıdır.

Homojen izotrop malzeme için genelleştirilmiş Hooke kanunu

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} - \frac{\nu \times \sigma_{yy}}{E} + \varepsilon_{xx0} \quad (6.19a)$$

$$\varepsilon_{yy} = -\frac{\nu \times \sigma_{xx}}{E} + \frac{\sigma_{yy}}{E} + \varepsilon_{yy0} \quad (6.19b)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{G} \sigma_{xy} + \varepsilon_{xy0} \quad (6.19c)$$

olup burada ν Poisson oranı, E elastisite modülü, G ise kayma modülüdür. G ile E arasındaki ilişki (6.20) bağıntısı ile verilmiştir.

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (6.20)$$

Düzlem şekil değiştirme ;

Düzlem şekil değiştirme halinde düzlem dışı gerilmeler sıfır olur.

$$\varepsilon_{zz} = 0 \quad \varepsilon_{xz} = 0 \quad \text{ve} \quad \varepsilon_{yz} = 0 \quad (\sigma_{zz} \neq 0) \quad (6.21)$$

Örnek olmak üzere boylu boyunca giden bir istinat duvarı, bir baraj gövdesi düzlem şekil değiştirme şeklinde idealleştirilebilir. Burada da yükler yalnızca x-y düzleminde. Bu halde elastisite matrisi düzlem gerilme halinden farklıdır. Lineer, elastik ve izotropik malzeme için düzlem şekil değiştirme haline ait gerilme-şekil değiştirme bağıntıları Hooke kanunu yardımıyla aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\sigma_{xx} = (2G + \lambda)(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{xx0}) + \lambda(\varepsilon_{yy} - \varepsilon_{yy0}) + \sigma_{xx0} \quad (6.22a)$$

$$\sigma_{yy} = \lambda(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{xx0}) + (2G + \lambda)(\varepsilon_{yy} - \varepsilon_{yy0}) + \sigma_{yy0} \quad (6.22b)$$

$$\sigma_{xy} = G(\varepsilon_{xy} - \varepsilon_{xy0}) + \sigma_{xy0} \quad (6.22c)$$

Burada λ Lamé sabiti (6.23) ifadesiyle verilmiştir.

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (6.23)$$

σ , ε , σ_0 ve ε_0 'ın yukarıdaki tanımları kullanılarak elastisite matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$D = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (6.24)$$

Sıcaklık değişimi hali için ilkel Şekil değiştirme vektörü

$$\varepsilon_0 = \left[(1+\nu)\alpha_1 \Delta T \quad (1+\nu)\alpha_1 \Delta T \quad 0 \right]^T \quad (6.25)$$

olur.

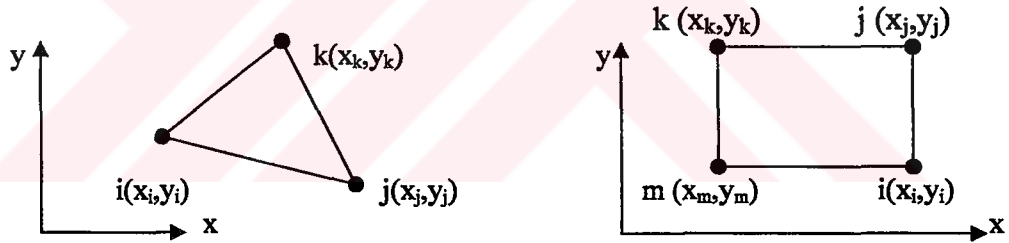
Düzlem dışı σ_{zz} gerilmesi sıfırdan farklı olup düzlem Şekil değiştirme hali için

$$\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) + \sigma_{zz0} - E\varepsilon_{zz0} \quad (6.26)$$

bağıntısı ile verilir. Burada ε_{zz0} sıcaklık değişmesi halinde $\alpha_1 \Delta T$ olarak alınacaktır.

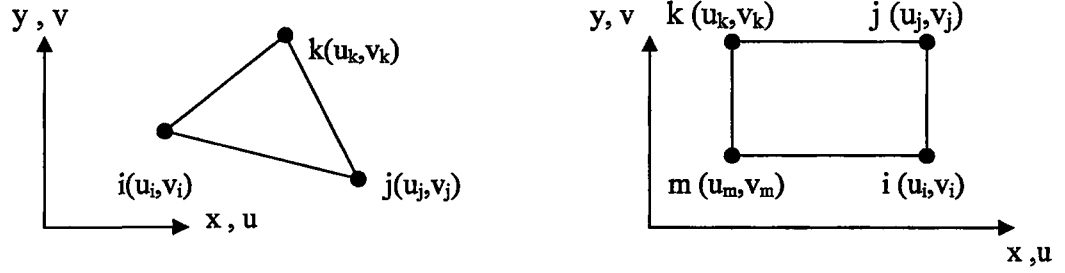
Levha sonlu elemanlar;

Düzlem gerilme analizi yapmak amacıyla genellikle üçgen ve dikdörtgen sonlu elemanlar kullanılır (Şekil.6.12).



Şekil 6.12 Üçgen ve dikdörtgen levha sonlu elemanlar

Eleman uç serbestlikleri Şekil 6.13'de gösterilmiştir. Őekilden de görülebileceği üzere uç serbestlikleri her bir düğüm noktasında x ve y doğrultularındaki yer değiştirmelerden ibarettir.



Şekil 6.13 Üçgen ve dikdörtgen levha sonlu elemanlar uç serbestlikleri

Bu durumda üçgen levha elemanda toplam 6, dikdörtgen levha elemanda ise toplam 8 serbestlik bulunmaktadır.

Şekil değiştirmeler düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ile bulunmakta olup düzlem gerilme haline ait durum şu şekildedir ;

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad \varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (6.27)$$

Levha problemlerinde öncelikle problemin türü, düzlem gerilme ya da düzlem şekil değiştirme, belirlenmelidir. Sonuçta düğüm notalarındaki yer değiştirmeler ve bunlardan hareketle şekil değiştirme ve gerilmeler hesaplanır. Bu değerler birim boyu gelen kuvvetler olarak bulunur. Kalınlığa bölünerek gerilme hesaplanır. Bu gerilmeler x ve y yönündeki normal gerilmeler ile kayma gerilmeleri olup buradan asal gerilmelere mekaniğin bilinen bağıntıları yardımıyla geçilir.

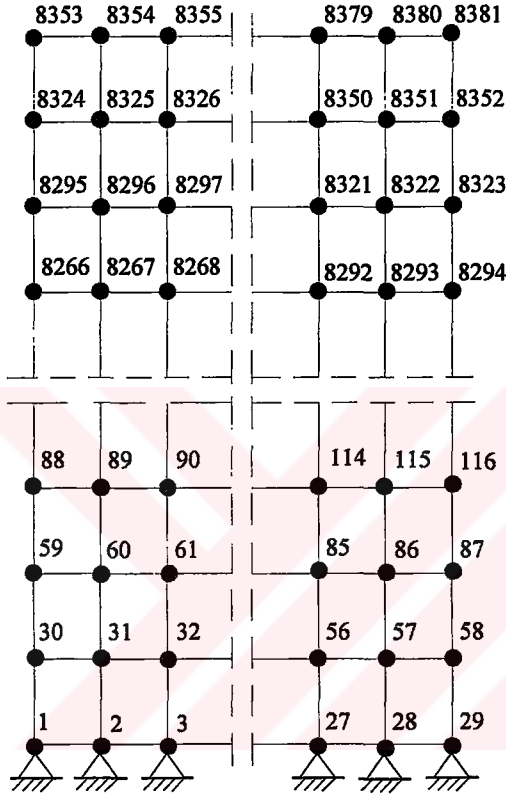
Levha elemanları kullanarak aksenal simetrik yüklü cisimlerin gerilme analizi yapılabilir. Dönel simetri dolayısıyla açıdan bağımsız olan durum 3 boyutlu yerine 2 boyutlu analize olanak sağlar.

6.5.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Perde Elemanın Çözümü

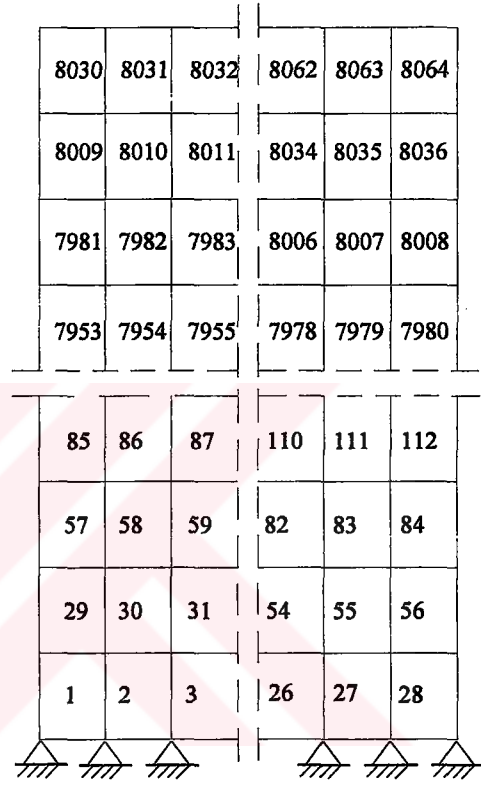
P01 perdesi, yapılan üç boyutlu statik hesap sonucunda bulunan kesit tesirlerine göre, iki boyulu ortamda sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilecektir. Sonlu elemanlar ile çözüm için Sap2000 paket programı kullanılmıştır.

6.5.2.1 Veriler

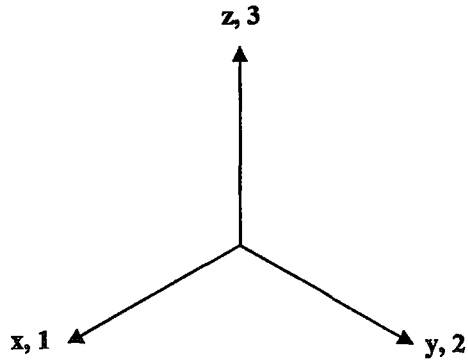
P01 perdesinin sonlu elemanlar analizi için 28x288 dikdörtgen levha (düzlem gerilme) sonlu ağı kullanılmıştır. Buna göre ;



Şekil 6.14 Sonlu eleman düğüm noktaları



Şekil 6.15 Sonlu eleman numaraları



Şekil 6.16 Koordinat sistemi

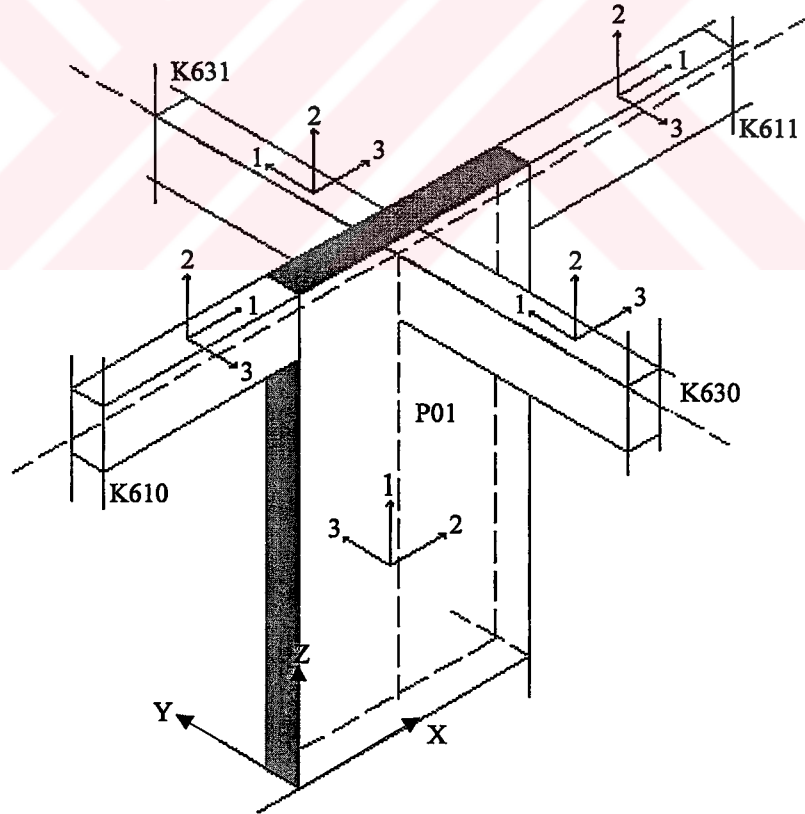
Sonlu elemanlar analizine ait veriler kısaca özetlenecek olursa ;

$$E = 28 \cdot 10^5 \text{ t/m}^2 \quad \nu = 0.20 \quad \text{Levha kalınlığı; } 0.25 \text{ m} \quad \text{Yük birimi ; t,m}$$

Perdenin sonlu elemanlar analizi z-x düzleminde yapılacaktır.

6.5.2.2 Yükleme Durumu

Perdeye Şekil 6.17’de görüldüğü üzere üç boyutlu sistemde her iki yönde kirişler saplanmıştır. Perdeyi üç boyutlu sistemden düzlem sisteme alarak, sonlu elemanlar analizini yapabilmek için her iki yönde saplanan bu kirişlerde oluşan kesit tesirleri perdeye etkilerek üç boyutlu sistemdeki perde davranışı düzlem sistemde de elde edilecektir.



Şekil 6.17 Perde elemana saplanan kirişler ve yerel koordinat eksenleri

Ele alınan yapı üç boyutlu sistemde çözülmürken Şekil 6.17’de görüldüğü üzere kiriş ve perde eksenlerinden geçen çubuklar şeklinde idealleştirilmiştir.

Şekil 6.1 ve 6.2'den anlaşılacağı üzere perdeye her kat seviyesinde ve her iki yönde kirişlerin saplanmasıyla Şekil 6.17'de gösterilen düğüm noktaları oluşmuştur. Bu düğüm noktalarını oluşturan kirişlerin perdeye saplandıkları noktalardaki kesit tesirleri ise Çizelge 6.8'de sunulmuştur.

Çizelge 6.8 Perdeye saplanan kirişlerin 1.0G+1.0Q+1.0E yüklemesi sonucu perdeye saplandıkları düğüm noktalarında oluşan kesit tesirleri değerleri

| Kiriş No (Global X yönünde) | Kesit Tesirleri | | | Kiriş No (Global Y yönünde) | Kesit Tesirleri | | |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | M ₃₋₃ (tm) | N ₁₋₁ (t) | T ₂₋₂ (t) | | M ₁₋₁ (tm) | T ₂₋₂ (t) | T ₃₋₃ (t) |
| K110 | -20.04 | 11.23 | -11.96 | K130 | -2.62 | -2.86 | 1.39 |
| K111 | -20.03 | 6.31 | 6.93 | K131 | -2.62 | -2.70 | 1.39 |
| K210 | -24.77 | 11.89 | -14.87 | K230 | -3.34 | -3.51 | 0.24 |
| K211 | -24.76 | 0.82 | 8.50 | K231 | -3.34 | -3.43 | 0.24 |
| K310 | -22.85 | 13.77 | -14.39 | K330 | -3.13 | -4.00 | -0.91 |
| K311 | -22.83 | -3.10 | 7.07 | K331 | -3.13 | -3.88 | -0.91 |
| K410 | -18.35 | 16.83 | -12.53 | K430 | -2.58 | -4.34 | -1.65 |
| K411 | -18.34 | -5.25 | 4.59 | K431 | -2.58 | -4.18 | -1.65 |
| K510 | -13.43 | 20.64 | -10.41 | K530 | -1.99 | -4.59 | -2.20 |
| K511 | -13.42 | -6.21 | 2.00 | K531 | -1.99 | -4.39 | -2.20 |
| K610 | -9.77 | 20.84 | -8.25 | K630 | -1.71 | -4.50 | -3.61 |
| K611 | -9.75 | -12.41 | 0.01 | K631 | -1.71 | -4.26 | -3.61 |

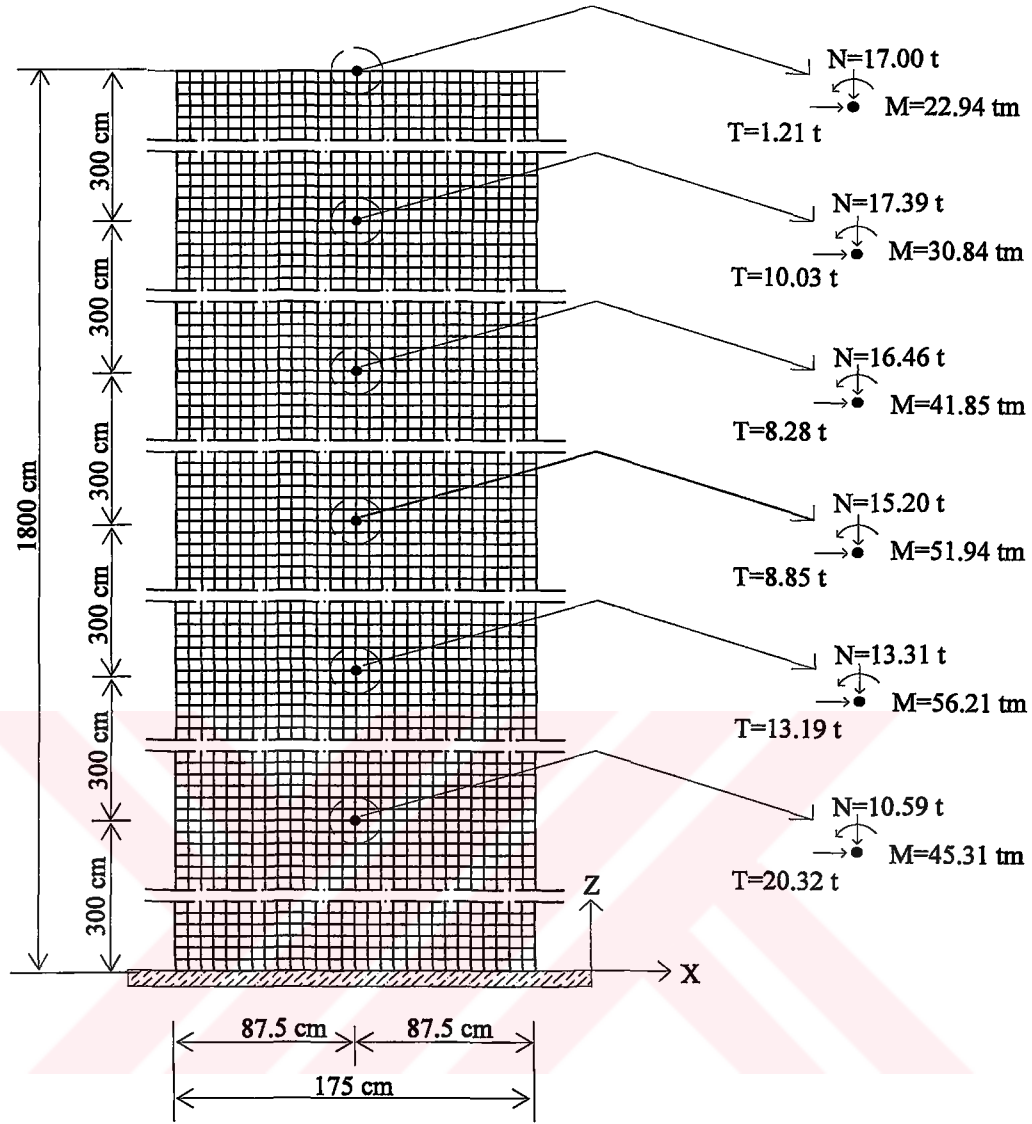
Çizelge 6.8'deki kesit tesirlerinin işaretleri şu şekildedir; normal kuvvet, çubuklarda çekme meydana gelmesi durumunda pozitif, kesme kuvveti, aşağıdan yukarı olduğu durumda pozitif, moment ise global z-x düzleminde y eksenini etrafında saat yönünde oluşması durumunda pozitifdir alınmıştır.

Düzlem sistemde sonlu eleman ağı ile oluşturulan perdenin davranışını üç boyutlu sistemdekiyle denk kılabilmek için, her kat seviyesinde ve perde elemanın ortasında oluşan düğüm noktalarına birleşen kirişlerin Çizelge 6.8’de sunulan kesit tesirleri perdeye etkitilecektir. Bu düğüm noktalarına etkitilen kesit tesirlerinin bileşke değerleri Çizelge 6.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9 Düğüm noktalarına etkitilen bileşke kuvvetler

| Kat No | Saplanan Kiriş No | Bileşke Kuvvetler | | |
|--------|---------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | M_{y-y} (tm) | N_{z-z} (t) | T_{x-x} (t) |
| Zemin | K110-K111-K130-K131 | -45.31 | -10.59 | 20.32 |
| 1 | K210-K211-K230-K231 | -56.21 | -13.31 | 13.19 |
| 2 | K310-K311-K330-K331 | -51.94 | -15.20 | 8.85 |
| 3 | K410-K411-K430-K431 | -41.85 | -16.46 | 8.28 |
| 4 | K510-K511-K530-K531 | -30.84 | -17.39 | 10.03 |
| 5 | K610-K611-K630-K631 | -22.94 | -17.00 | 1.21 |

Çizelge 6.9’da sunulan bileşke kuvvetlerin düzlem sistemde sonlu eleman ağı ile oluşturulan perde elemana etkitildiği yönler ve düğüm noktaları Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



Şekil 6.18 Düğüm noktalarına etkitilen kesme kuvveti, moment ve normal kuvvetler

6.5.3 Sonuç

6.5.3.1 Tepe deplasmanı

Perdenin tepe noktasındaki deplasman değeri için 8064 nolu elemanın 8381 nolu düğüm noktasının genel koordinat sistemine göre x doğrultusundaki yerel koordinat sistemine göre 1 doğrultusundaki yerdeğiştirme değeri okunur.

| Joint Displacements | | | |
|---------------------|---------|----------|----------|
| Joint ID | 1 | 2 | 3 |
| 8381 | | | |
| Trans | 0.02606 | 0.00000 | -0.00166 |
| Rotn | 0.00000 | -0.03868 | 0.00000 |

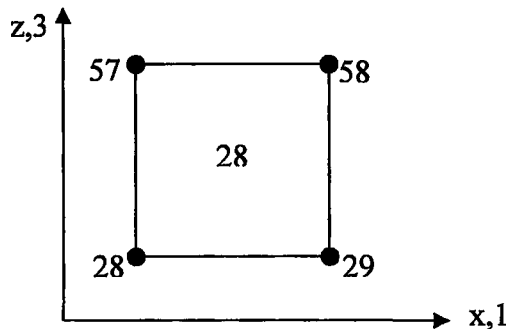
Şekil 6.19 8381 nolu düğüm noktasının deplasman değerleri

Şekil 6.19'da görüldüğü üzere perdenin yatay ötelenme değeri $\delta_u=0.02606$ dir. Yapını üç boyutlu analizi sonucu bulunan perde tepe deplasman değeri ise 0.02630 m idi. Görüldüğü gibi sonuçlar birbirine çok yakındır. Böylelikle yapının üç boyutlu analizi sonucu P01 perdesinde oluşan moment, taban kesme kuvveti, normal kuvvet ve tepe deplasman değerleri iki boyutlu sonlu elemanlar ortamında elde edilmiş oldu. Bundan sonraki adım da ise belirtilen kesit tesirleri ve deformasyonlarına haiz perdenin en kritik kesiti olan taban kesitindeki birim şekil değiştirme durumuna bakılacaktır.

6.5.3.2 Birim Şekil Değiştirme Grafiğinin Oluşturulması

Perde tabanındaki birim şekil değiştirme değerlerinin bulunması için perde tabanında bulunan sonlu elemanların genel ekseninde z yerel ekseninde 3 doğrultusundaki yerdeğiştirme değerleri okunmasıyla buradan hareketle de birim kısalmalar elde edilecektir.

Perde sonlu eleman ağındaki en kritik eleman olan 28 nolu eleman için birim kısalmanın elde edilişi şu şekildedir ;



Şekil 6.20 28 nolu sonlu eleman ve düğüm noktaları

Birim kısalma değeri için ;

$$\epsilon_{28} = \frac{\Delta u}{l_{28}} = \frac{u_{29} - u_{58}}{l_{28}} \quad \text{formülü kullanılmıştır.} \quad (6.28)$$

| Joint Displacements | | | |
|---------------------|---------|---------|---------|
| Joint ID 29 | 1 | 2 | 3 |
| Trans | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Rotn | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |

| Joint Displacements | | | |
|---------------------|-----------|-----------|------------|
| Joint ID 58 | 1 | 2 | 3 |
| Trans | 2.814E-05 | 0.00000 | -6.172E-05 |
| Rotn | 0.00000 | 5.010E-04 | 0.00000 |

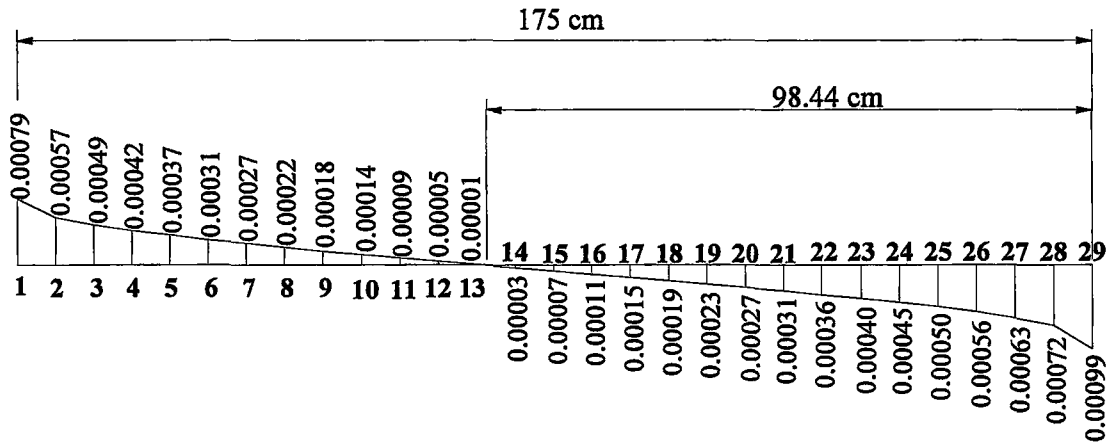
Şekil 6.21 29 ve 58 nolu düğüm noktalarına ait deplasman değerleri

Şekil 6.21’de gösterilen düşey yerdeğiştirme değerlerine göre birim kısalma değeri;

$$\epsilon_{28} = \frac{0 - 0.00006172}{0.0625} = 0.00099 \quad \text{olarak bulunur.} \quad (6.28a)$$

Buradaki (-) işareti basıncı temsil etmektedir.

Aynı şekilde perde tabanında bulunan tüm sonlu elemanlar için aynı işlem yapılarak P01 perdesine ait birim şekil değıştirme grafiğı çizilir.



Şekil 6.22 Sonlu eleman analizi sonucu elde edilen birim şekil değıştirme grafiğı

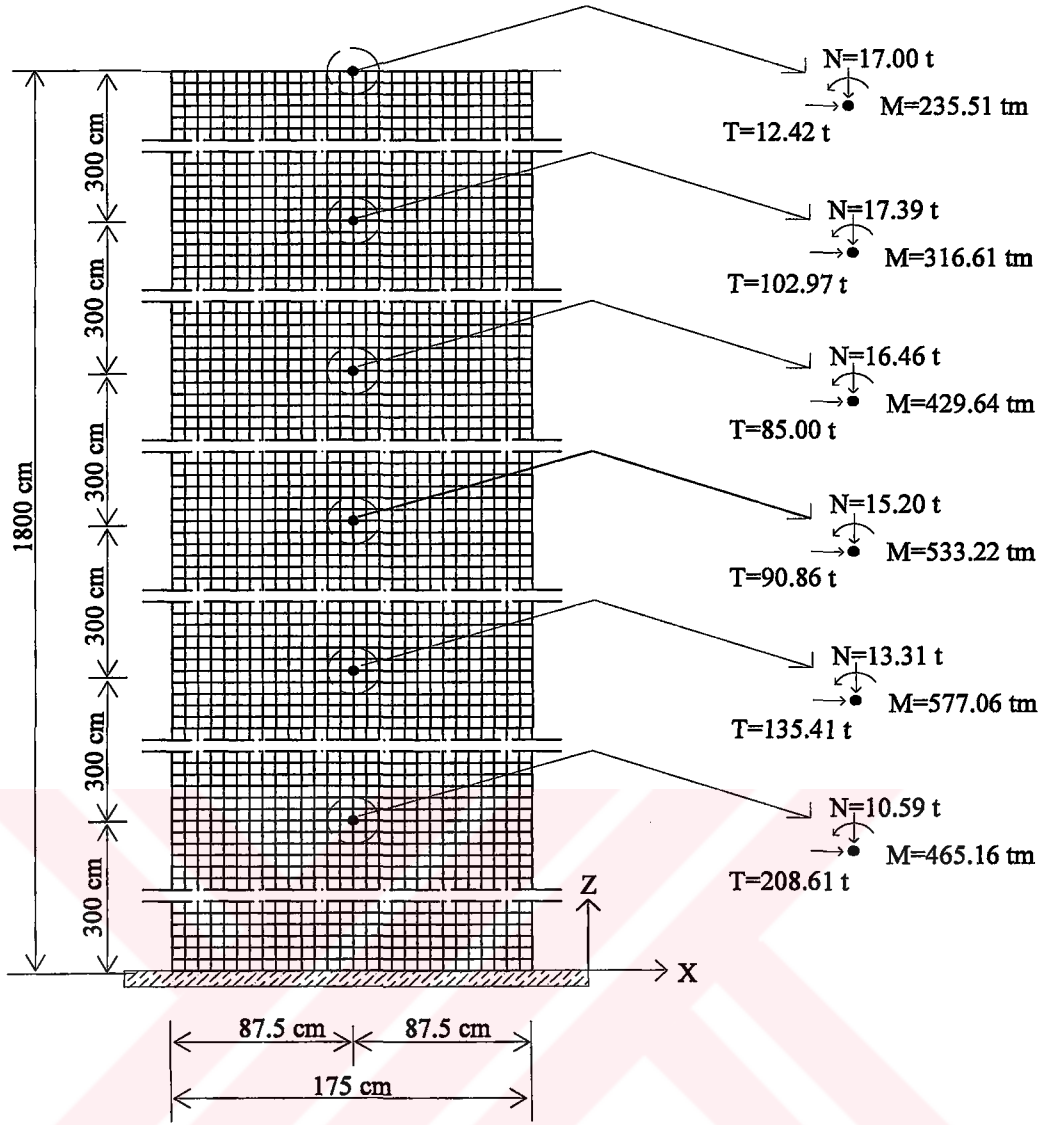
Şekil 6.22’de görüldüğü üzere P01 perdesinin sonlu elemanlar analizi sonucu elde edilen birim şekil değiştirme değerlerinin maksimumu olan 0.00099 değeri yönetmelikte beton için ön görülen maksimum değer olan 0.003 değerinden küçüktür. Bu sebeple, P01 perdesinin en kritik bölgesi olan uç bölgelerinin ilave sargı donatısı gereksiniminin oluşmadığı anlaşılmaktadır.

6.5.4 Perde Uç Deplasmanın %1.5H_w Olduğu Durumu İçin Sonlu Elemanlar Analizi

Bölüm 6.4’dekine benzer şekilde sonlu elemanlar analizi içinde keyfi olarak perde uç deplasmanını %1.5H_w değerine eşit kılacak deprem kuvvetlerinin yapıya etkidiğinin varsayımıyla, perde tabanında oluşacak birim kısalma değerleri kontrol edilecektir.

Bu çalışmada lineer elastik hesap ve malzemenin izotropik olduğu varsayıldığından üç boyutlu statik hesapta ve düzlem sistemde perde eleman için bulunan tepe deplasman değerini %1.5H_w seviyesine çıkaracak kuvvetler, doğru orantı ile rahatlıkla bulunabilir [22].

Yapıya etkiyen deprem kuvvetleri altında perde eleman, 0.0263 m lik bir deplasman değerine sahipken %1.5H_w= 0.015×18=0.27 m lik bir deplasmana ulaşması için moment ve kesme kuvveti değerleri $0.27/0.0263 = 10.266$ kat artırılmıştır. Değiştirilen kuvvetler Şekil 6.23’de gösterilmiştir.



Şekil 6.23 Düğüm noktalarına etiketlenmiş değiştirilmiş kesme kuvveti, moment ve normal kuvvetler

6.5.4.1 Sonuç

6.5.4.1.1 Tepe deplasmanı

Perdenin tepe noktasındaki deplasman değeri için 8064 nolu elemanın 8381 nolu düğüm noktasının genel koordinat sistemine göre x doğrultusundaki yerel koordinat sistemine göre 1 doğrultusundaki yerdeğiştirme değeri okunur.

| Joint Displacements | | | |
|---------------------|---------|----------|----------|
| Joint ID | 1 | 2 | 3 |
| 8381 | | | |
| Trans | 0.26761 | 0.00000 | -0.00954 |
| Rotn | 0.00000 | -0.39710 | 0.00000 |

Şekil 6.24 Değiştirilmiş yükleme durumu için 8381 nolu düğüm noktasının deplasman değerleri

Şekil 6.24'de görüldüğü üzere perdenin yatay ötelenme değeri $\delta_u=0.26761$ m dir. Görüldüğü gibi sonuç $\%1.5H_w$ değeri olan 0.27 m ye çok yakındır. Böylelikle P01 perdesinin tepe deplasman değerinin $\%1.5H_w$ olması durumundaki beton birim kısalma değerleri bulunabilir. Bundan sonraki adım da ise yine Bölüm 6.5.3.2'ye benzer şekilde perdenin en kritik kesiti olan taban kesitindeki birim şekil değiştirme durumuna bakılacaktır.

6.5.4.1.2 Birim Şekil Değiştirme Grafiğinin Oluşturulması

Perde tabanındaki birim şekil değiştirme değerlerinin bulunması için perde tabanında bulunan sonlu elemanların genel eksende z yerel ekseninde 3 doğrultusundaki yerdeğiştirme değerlerinin okunmasıyla buradan hareketle de birim kısaltmalar elde edilecektir. Örnek olarak en kritik sonlu eleman olan 28 nolu eleman için hesap şu şekildedir;

| Joint Displacements | | | |
|---------------------|---------|---------|---------|
| Joint ID | 1 | 2 | 3 |
| 29 | | | |
| Trans | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Rotn | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |

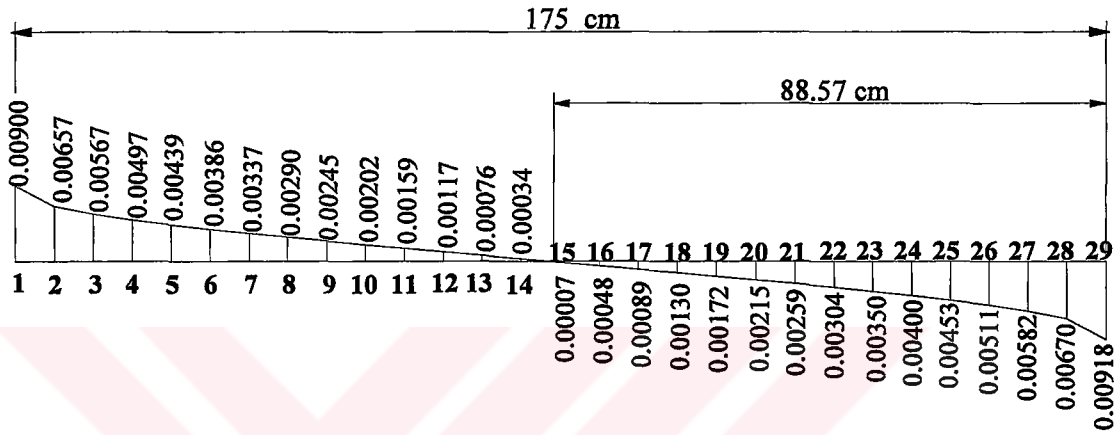
| Joint Displacements | | | |
|---------------------|-----------|---------|------------|
| Joint ID | 1 | 2 | 3 |
| 58 | | | |
| Trans | 2.614E-04 | 0.00000 | -5.740E-04 |
| Rotn | 0.00000 | 0.00474 | 0.00000 |

Şekil 6.25 Değiştirilmiş yükleme durumu için 29 ve 58 nolu düğüm noktalarına ait deplasman değerleri

Şekil 6.25’de gösterilen düşey yerdeğiştirme değerlerine göre birim kısalma değeri;

$$\epsilon_{28} = \frac{0 - 0.0005740}{0.0625} = 0.00918 \quad \text{olarak bulunur}$$

Aynı şekilde perde tabanında bulunan tüm sonlu elemanlar için aynı işlem yapılarak P01 perdesine ait birim şekil değıştirme grafiği çizilir.



Şekil 6.26 Sonlu eleman analizi sonucu değiştirilmiş yüklemeye durumuna göre elde edilen birim şekil değiştirme grafiği

Şekil 6.26’da görüldüğü üzere P01 perdesinin sonlu elemanlar analizi sonucu elde edilen birim şekil değiştirme değeri maksimumu olan 0.00918 değeri yönetmelikte beton için ön görülen maksimum değeri olan 0.003 değerinden daha büyük bir değeri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple P01 perdesinin en kritik bölgesi olan uç bölgelerinin ilave sargı donatısı gereksinimi oluşmaktadır.

Şekil 6.26’da görüleceği üzere 0.003 değeri 22’nci düğüm noktasında oluşmaktadır. 22’nci düğüm noktasından sonra kritik değeri olan 0.003 değeri aşılmaktadır. Buna karşılık P01 perdesinin sonlu elemanlar analizi sonucu uç bölge ihtiyacının boyutu 22’nci elemandan başlanarak perdenin sonuna kadar olacağı görülmektedir. Buna göre perde için gerekli uç bölge uzunluğu ;

i.) Sonlu eleman yatay boyu ; 0.0625 m

ii) 22 nci düğüm noktasından itibaren perde uçuna kadar olan eleman adedi ; 7 adet

Gerekli uç eleman boyutu ; $7 \times 0.0625 = 0.4375$ m olarak bulunur.

6.5.5 Hesap Değerlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 6.10 Hesaplanan değerlerin karşılaştırılması

| Hesap yöntemi | Beton uç basınç şekil değiştirme (ϵ_c) | Perde uç bölgelerinin uzunluğu (l_u) cm | Perde tepe deplasmanı (δ_u) cm |
|--|---|---|---|
| Taşıma Gücü (A.B.Y.Y.H.Y ve TS 500'e göre üç boyutlu statik analiz) | 0.00115 | 50 | 2.63 |
| Deplasman dayalı tasarım | 0.00101 | - | 2.63 |
| Tepe deplasmanını %1.5H _w yapan kuvvetler ile deplasmana dayalı tasarım | 0.01039 | 42.43 | 27.00 |
| Sonlu elemanlar yöntemi ile tasarım | 0.00099 | - | 2.61 |
| Tepe deplasmanını %1.5H _w yapan kuvvetler ile sonlu elemanlar tasarımı | 0.00918 | 43.75 | 26.76 |

*Taşıma gücüne ait beton uç basınç şekil değiştirme değeri perde boyuna donatısının ilk akmayı gerçekleştirdiği an oluşan beton uç basınç şekil değiştirmesidir.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada düşey taşıyıcı elemanlardan betonarme perdeler incelenmiştir. İnceleme sonucunda betonarme perdeleri diğer düşey taşıyıcı elemanlardan ayıran en büyük özelliğinin, etkiyen yükler altında davranış biçimi olduğu anlaşılmıştır. Düzemine paralel olarak etkiyen yükler altında büyük bir atalet momenti, bunun mukabilinde büyük eğilme rijitliğine sahip olması sebebiyle eğilme davranışı biçimi olarak diğer düşey taşıyıcı elemanlardan ayrıldığı gözlenmiştir.

Betonarme perdelerin incelemesi yapılırken tüm taşıyıcı elemanlarda ve sistemde, tasarım için amaç edinilen temel kriterler rijitlik, dayanım ve süneklik kavramları doğrultusunda ilerlenmiştir. Belirtilen ana kriterleri sağlamak ve istenmeyen güç tükenme(göçme) durumlarının oluşmasını önlemek yada göçme oluşacaksa da sünek türden olmak üzere, istenilen yerde zayıf kesitin oluşmasını sağlayarak bir anlamda göçmeyi kontrol altına alabilmek için perdelerin çözümleme yöntemleri araştırılmıştır. Ayrıntılı inceleme sonucunda sözü edilen hedeflere ulaşarak perdeyi tasarlayanın en önemli yolunun, perde uç bölgelerinin detaylı bir şekilde teşkil edilip donatılandırılması olduğu saptanmıştır. Bu sebeple perde tasarımında, bu çalışmada ve daha önce yapılan tüm çalışmalarda olduğu gibi perde uç bölgeleri odak noktası haline gelmiştir.

Çalışma sonucu perde uç bölgelerinin kesit tasarımını tamamen kontrol ettiği hususu gözlemlenmesi sonucu dünyadaki deprem yönetmeliklerinin konu ile ilgili hükümleri araştırılmıştır. Araştırma sonucu uç bölgelerinin hassasiyeti bu çalışmada ve diğer çalışmalarda olduğu gibi yönetmeliklerde de perde tasarımında odak noktası haline getirildiği gözlemlenmiştir. Amerika, Avrupa ve Türkiye yönetmeliklerinin karşılaştırılması sonucu ortaya çıkan ortak noktalar ve farklılıklar şu şekildedir;

a) Betonarme perde tanımını, Avrupa ve Türkiye yönetmelikleri elemanın enkesit özelliklerine göre yapmaktadır. Fakat Amerikan yönetmeliği perde tanımını yapı içerisinde aldığı görev yönünden yapmaktadır.

b) Tüm yönetmelikler perdelerin moment taşıma kapasitesinin şekil değiştirme uygunluk analizinden yani taşıma gücü yönteminden elde edilmesini şart koşmaktadır.

c) Perde uç bölgesi ihtiyacının belirlenmesinde ise üç yönetmelik birbirinden farklı yöntemler kullanmaktadır. Türk yönetmeliğinde perde uç bölgesi ihtiyacı ve boyutları tamamen perde elemanın kesit özelliklerine göre belirlenip boyutlandırılmaktadır. Avrupa yönetmeliğinde uç bölge ihtiyacı hem perde kesitine ait birim şekil değiştirme dağılımı üzerinden hem de kesite etkiyen moment, normal kuvvet, mekanik donatı yüzdesi ve yapı davranış katsayısına bağlı olarak sunulan formüllerden elde edilmektedir. Amerikan yönetmeliğinde ise perde uç bölgesi ihtiyacı için iki adet yöntem sunulmuştur. Biri deplasmana dayalı yöntem diğeri ise gerilmeye dayalı yöntemdir. Deplasmana dayalı yöntemi sabit en kesitli ve dolu gövdeli perdelerde, gerilme esaslı yöntemi ise diğer perde tiplerinde uygulanması yönünde sunmaktadır.

d) Perde uç bölgesinin kritik düşey boyu için tüm yönetmelikler hemen hemen aynı kriterleri öngörmektedir. Sadece Amerikan yönetmeliğinde perde kesitinin tasarım momenti ve kesme kuvvetine bağlı bir ifadenin de göz önüne alınmasını istemektedir.

e) Yönetmeliklerde betonarme perdeler için donatı hükümleri arasında çok önemli bir farklılık bulunmamaktadır. Fakat göze çarpan en önemli fark Amerikan ve Avrupa yönetmeliklerinin boyuna donatı miktarı için kullanılabilir minimum miktar yanında maksimum üst değer sınırı getirmiştir. Türkiye yönetmeliğinde ise sadece minimum alt sınır değeri ön görülmüştür.

Betonarme perdeler için yapılan çalışmaların özellikle uç bölgelerinin teşkili konularının sayısal olarak izlenip A.B.Y.Y.H.Y. hükümlerinin tetkiki amacı ile bünyesinde yönetmelik hükümlerine göre asgari olarak betonarme perde tanımına uyacak bir düşey taşıyıcı eleman bulunduran bir konut yapısı ele alınarak statik ve betonarme hesapları yapılmıştır. Hesaplar A.B.Y.Y.H.Y. ve TS 500 dizayn hükümleri çerçevesinde yürütülmüştür. Perde eleman için elde edilen sonuç tasarımı, basitleştirilmiş deplasmana dayalı tasarım ve sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapılması vasıtasıyla tetkik edilerek karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen değerlere göre aşağıdaki sonuçlara erişilmiştir.

1) Yönetmelik hükümlerine göre perde minimum enkesit boyutları, ele alınan yapı için taşıma gücü yönünden 6 kata kadar geçerliliğini korudu. 6. kattan sonra perde kesitinin boyutlarının kesit tesirlerinden dolayı büyütülmesi gerektiği anlaşılmıştır.

2) Ele alınan perdeli çerçeve taşıyıcı sistemli yapıda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen deplasman değerleri perde-çerçeve etkileşimini sayısal olarak göz önüne getirmiştir. Çalışmanın önceki bölümlerinde ifade edildiği gibi perde deprem yükleri altında konsol kiriş gibi eğilmeye çalışmak istemekte fakat üst katlarda perdenin yatay yerdeğiştirmesi çerçeve tarafından kısıtlanmakta olduğu sayısal sonuçlarla elde edilmiştir.

3) Yönetmelik hükümlerince ön görülen deprem kuvvetleri altında perde elemanda oluşan tepe deplasmanına göre basitleştirilmiş deplasmana dayalı tasarım yöntemi uygulanması sonucu perde elemanı için uç bölge ihtiyacı gerekliliği oluşmamıştır. Beklenenden daha büyük bir deprem kuvveti etkimesiyle perde tepe deplasman değerinin $1.5 H_w$ 'ya ulaşması durumunda ise A.B.Y.Y.H.Y. hükümlerince ön görülen perde uç bölgesi boyutunun yeterli olduğu saptanmıştır.

4) Yönetmelik hükümlerince ön görülen deprem kuvvetleri altında perde elemanın tabanında oluşan birim kısalma değerleri, sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanması sonucu perde elemanı için uç bölge ihtiyacı gerekliliği oluşmamıştır. Beklenenden daha büyük bir deprem kuvveti etkimesiyle perde tepe deplasman değerinin $1.5 H_w$ 'ya ulaşması durumu için hesap tekrarlanmış bu durumda da A.B.Y.Y.H.Y. hükümlerince ön görülen perde uç bölgesi boyutunun yeterli olduğu saptanmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] 1975 Deprem Yönetmeliği, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, (1975).
- [2] 1997 Deprem Yönetmeliği, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, (1998).
- [3] Paulay, T., "The Design of Ductile Reinforced Concrete Structural Walls For Earthquake Resistance", Earthquake Spectra, (1986), EERI, Vol. 2, No. 4, pp 783-823.
- [4] Moehle, J.P. and Wallace, J.W. "Ductility and Detailing Requirements of Shear Wall Buildings." Proceedings,, 5th Chilean Conference on Seismology and Earthquake Engineering Santiago,Chile, (1989), pp. 131-150.
- [5] Wallace, J. W., and Moehle, J. P., "Ductility and Detailing Requirements of Bearing Wall Buildings" Journal of Structural Engineering, (1992), 118(6),1625-1644.
- [6] Moehle, J. P., "Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes ", Earthquake Spectra, (1992), EERI, Vol. 8, No. 3, pp 403-428.
- [7] Paulay, T. and Priestley, M. J. N., Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, Wiley ,(1992).
- [8] Wallace, J. W, "New Methodology for Seismic Design of RC Shear Walls", Journal of Structural Engineering, ASCE, (1994), Vol. 120, No. 3, pp 863-884.
- [9] Wallace, J. W., "Displacement-Based Design of RC Structural Walls", Proceedings, Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Chicago, Illinois, Vol.II: 191-200 (July 1994b).
- [10] Wallace, J. W., "A Displacement-Based Methodology for Seismic Design of RC Structural Walls" ,Proceedings, 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria, Vol. 3, pp. 1539-1544 (August/September 1994c).
- [11] ICBO, International Building Code, International Conference of Building Officials, Whittier, California, (2000).

- [12] Wallace, J. W, "Seismic Design of RC Structural Walls: Part 1: A New Code Format", Journal of Structural Engineering, ASCE, (1995), Vol. 121, No. 1, pp 75-87.
- [13] Wallace, J. W. and Thomsen, J. H., "Seismic Design of RC Structural Walls: Part II:Applications", Journal of Structural Engineering, ASCE, (1995), Vol. 121, No. 1, pp 88-101.
- [14] Taylor, C.P. , Thomsen, J.H. and Wallace, J.W., "Experimental Verification of Displacement-Based Design Procedures For Slender RC Structural Walls", Proceedings, 1th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, (1996), June 23-28 122.
- [15] ACI, Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318-99, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, (1999).
- [16] Wallace, J.W. and Orakcal, K. "ACI-318-99 Provisions for Seismic Design of Structural Walls", ACI Structural Journal, American Concrete Institute, July-August (2002).
- [17] ACI, Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318-02, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, (2002).
- [18] John H. Thomsen and John W. Wallace "Displacement-Based Design of Slender Reinforced Concrete Structural Walls—Experimental Verification", Journal of Structural Engineering, ASCE, 10.1061(ASCE)0733-9445(2004)130:4(618).
- [19] FEMA, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Report ,FEMA 356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C, (2000).
- [20] EUROCODE 8 , Earthquake Resistant Design of Structures, 1998.
- [21] ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Report ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, California ,(2000).
- [22] Celep, Z. ve Kumbasar, N. , Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Sema Matbaacılık, İstanbul, (2004).
- [23] Ersoy, U. , Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Cilt I, Evrim Yayıncılık, İstanbul, (1987).

- [24] Atımtay, E., Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Cilt 2, Ankara, (2000).
- [25] Celep, Z. ve Kumbasar, N., Betonarme Yapılar, Sema Matbaacılık, İstanbul, (1998).
- [26] Saylan, Ş., Betonarme (Taşıma Gücü Yöntemiyle Betonarme Kesitlerin Hesabı), Balıkesir, (1993).
- [27] TS 500, "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2000).
- [28] TS 498, "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1987).
- [29] Aydoğan, M., "Taşıyıcı Elemanlarda Sonlu Elemanlar Yöntemi", Yapı Tasarımı Kurs Notları, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, (2003).
- [30] Özmen, G., Orakdoğan, E., Darılmaz, K., Örneklerle Sap2000, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2002).
- [31] Çağatay, İ.H., Güzeldağ, S., Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98) Sap2000N Uygulamaları, Birsen Yayınevi, Adana, (2002).
- [32] Nilson, A.H., Winter, G., Design of Concrete Structures, McGraw-Hill Book Co., Singapore, (1991).
- [33] Aka, İ., Keskinel, F., Arda, T.S., Betonarme Yapı Elemanları, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1992).
- [34] Çakıroğlu, A., Çetmeli, E., Yapı Statiği, Beta Yayıncılık, Cilt I, İstanbul, (1990).
- [35] Çakıroğlu, A., Çetmeli, E., Yapı Statiği, Beta Yayıncılık, Cilt II, İstanbul, (1991).
- [36] Akkaya, Y., Deprem Kuvvetlerine Karşı Betonarme Perdelerin Davranışı ve Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1997).
- [37] Altun, T.B., Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Perde Sistemli Yüksek Bir Yapının Projelendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2000).