

9409.

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARININ
PROJELENDİRİLMESİNDE KULLANILAN ÇEŞİTLİ
YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Y. C.
Yükseköğretim Kurulu
Değerlendirme Merkezi

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Metin HÜSEM

MAYIS - 1990

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARININ
PROJELENDİRİLMESİNDE KULLANILAN ÇEŞİTLİ
YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

İnş.Müh. Metin HÜSEM

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İnşaat Yüksek Mühendisi"
Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01.06.1990

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 28.06.1990

Tez Danışmanı : Doç.Dr.İng. Ahmet DURMUŞ

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Aydın DUMANOĞLU

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Ragıp ERDÖL

Enstitü Müdürü : Doç.Dr. Temel SAVAŞKAN

Mayıs - 1990

TRABZON

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında bir yüksek lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının projelendirilmesinde kullanılan çeşitli yapısal çözümlene yöntemlerinin karşılaştırılması konusundaki bu değerli çalışmayı bana önererek diğer önemli görevlerine rağmen çalışmamı başlangıcından sonuna kadar aralıksız takip edip, çalışmam boyunca bana araştırma zevki ve bilimsel düşünce disiplini aşılama için uğraşan, tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Yönetici Hocam Sayın Doç.Dr.İng. Ahmet DURMUŞ'a şükran ve saygılarımı sunmayı çok zevkli bir görev sayarım.

Burada, öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar kendilerine minnettar olduğumu da belirtmek isterim.

Tezimin hazırlanmasında yakın ilgi ve desteklerini gördüğüm laboratuvar arkadaşlarıma ve özellikle sınıf arkadaşım İnş.Müh. Metin KEFELİOĞLU'na teşekkür ederim.

Çalışmamı büyük bir fedakarlık göstererek özenle daktilo eden ve bugüne kadar çok sayıda bilimsel çalışmanın yayın aşamasına gelişinde çok emeği geçen araştırma teknisyeni sayın Temel TOSUN'a samimi teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince beni sabır ve şefkatle destekleyen ailemizin tüm fertlerine, özellikle anneme ve babama minnettar olduğumu belirtir, çalışmamın ülkemize yararlı olmasını gönülden dilerim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-------|
| ÖNSÖZ | iii |
| SEMBOLLER LİSTESİ | vii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | viii |
| ÇİZELGELER LİSTESİ | xii |
| TANIMLAR LİSTESİ | xiv |
| KISALTMALAR LİSTESİ | xv |
| BİRİMLER LİSTESİ | xvi |
| SAYISAL UYGULAMALAR LİSTESİ | xvii |
| ÖZET | xviii |
| SUMMARY | xix |
| BÖLÜM 1. GİRİŞ | 1 |
| BÖLÜM 2. BETONARME SIVI DEPOLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER | 4 |
| 2.1. Giriş | 4 |
| 2.2. Sıvı Depolarının Tanımı | 4 |
| 2.3. Sıvı Depolarının Görevleri | 4 |
| 2.4. Sıvı Depolarının Sınıflandırılması | 5 |
| 2.5. Sıvı Depolarının Yerinin Belirlenmesi | 6 |
| 2.6. Sıvı Depolarının Hacminin Belirlenmesi | 6 |
| 2.7. Sıvı Depoları Ekonomik Kotunun Belirlenmesi | 7 |
| 2.8. Sıvı Depoları İnşa Malzemesinin Seçimi | 7 |
| 2.9. Sıvı Depolarında Biriktirilecek Sıvıların Özellikleri | 7 |
| 2.10. Sıvı Depolarının Projelendirilmesinde Dikkate Alınacak Yük ya da Yük Etkileri | 7 |
| BÖLÜM 3. DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARI | 9 |
| 3.1. Giriş | 9 |
| 3.2. Dikdörtgen Kesitli Betonarme Sıvı Depo Tipleri ve Konstrüksiyon Esasları | 9 |
| 3.3. Dikdörtgen Kesitli Betonarme Sıvı Depolarının Davranışları ve Yapısal Çözümleme Yöntemleri | 11 |
| 3.4. Dikdörtgen Kesitli Depoların Üstünlükleri ve Sakıncaları | 11 |
| BÖLÜM 4. DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARININ YATAY VE DÜŞEY ŞERİTLER YÖNTEMİNE GÖRE YAPISAL ÇÖZÜMLEMESİ | 17 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1. Giriş | 17 |
| 4.2. Yatay Şeritler Yöntemi | 18 |
| 4.3. Düşey Şeritler Yöntemi | 22 |
| BÖLÜM 5. DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARININ AMERİKAN STANDARDINDAKİ YÖNTEME GÖRE YAPISAL ÇÖZÜMLEMESİ | 32 |
| 5.1. Giriş | 32 |
| 5.2. Moment Katsayıları | 32 |
| 5.3. Kesme Kuvveti Katsayıları | 44 |
| BÖLÜM 6. DİKDÖRTGEN KESİTLİ SIVI DEPOLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE YAPISAL ÇÖZÜMLEMESİ | 61 |
| 6.1. Giriş | 61 |
| 6.2. Sonlu Elemanlar Yönteminin Temel İlkeleri | 61 |
| 6.3. Sonlu Elemanlar Yönteminde Plak Problemleri İçin Dikdörtgen Elemanların Kullanılması | 63 |
| BÖLÜM 7. PLAKLARIN PLASTİK MAFSAL ÇİZGİLERİ TEORİSİNE GÖRE HESABI | 80 |
| 7.1. Giriş | 80 |
| 7.2. Plaklarda Sınır Durumlar ve Göçme Şekilleri | 80 |
| 7.3. Eğilme Dayanımının Tükenmesiyle Oluşan Göçme | 81 |
| 7.3.1. Betonarme Plakların Davranışı | 81 |
| 7.3.2. Göçme Sınır Durumuna Göre Hesapta Kullanılan Yöntemler | 82 |
| 7.4. Plastik Mafsallı Çizgileri Teorisi | 99 |
| 7.4.1. Teorinin İlkeleri | 99 |
| 7.4.2. Mümkün Olabilecek Göçme Mekanizmasının Araştırılması | 101 |
| 7.4.3. Virtüel İş Yönteminin Uygulanması | 102 |
| 7.4.4. Rijit Elemanlar Denge Yöntemi (Düğüm Noktası Kuvvetleri Yöntemi) | 105 |
| 7.4.5. Plastik Mafsallı Çizgileri Teorisi Konusunda Özel Durumlar | 122 |
| 7.5. Dikdörtgen Kesitli Betonarme Sıvı Depolarının Plastik Mafsallı Çizgileri Teorisine Göre Yapısal Çözümlemesi | 122 |
| 7.5.1. Yapısal Çözümlemede İzlenen Yol | 122 |
| 7.5.2. Dikdörtgen Kesitli Betonarme Sıvı Depolarının Çeşitli Yük ve Mesnet Koşulları İçin Yapısal Çözümlemesi | 125 |

| | |
|--|-----|
| BÖLÜM 8. DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARININ PROJELENDİRİLMESİNDE KULLANILAN ÇEŞİTLİ YAPISAL ÇÖZÜMLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI | 129 |
| 8.1. Giriş | 129 |
| 8.2. Yapısal Çözümleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması | 129 |
| | |
| BÖLÜM 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 136 |
| | |
| KAYNAKLAR | 140 |
| | |
| EK-A. BAZI PLAKLARIN ÇEŞİTLİ MESNET KOŞULLARI VE YÜKLEME ŞEKİLLERİNE AİT HESAP BAĞINTILARI | 142 |
| | |
| EK-B. HİDROSTATİK YÜK ETKİSİNDEKİ DEPO CİDARLARININ MAFSAL ÇİZGİLERİ TEORİSİNE GÖRE YAPISAL ÇÖZÜMLEMESİ İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI | |
| | |
| ÖZGEÇMİŞ | |

SEMBOLLER LİSTESİ

- a : Dikdörtgen depo enkesiti kısa kenarı
b : Dikdörtgen depo enkesiti uzun kenarı
E : Elastisite modülü
F : Kuvvet
H : Depo derinliği
h : Depodaki sıvı derinliği
I : Eylemsizlik (Atalet) momenti
K : Katsayı, rijitlik, düğüm noktası kuvveti
k : Katsayı, rijitlik, uç kuvveti
M : Eğilme momenti
m : Plastik mafsalsal çizgisindeki birim moment
 m_n : Plastik mafsalsal çizgisine dik doğrultudaki eğilme momenti
 m_t : Plastik mafsalsal çizgisindeki burulma momenti
P : Toplam yük, plastik mafsalsal çizgileri teorisine göre hesaplanan göçme yükü
p : Parametre, toplam yükün şiddeti
t : Depo cidarlarının kalınlığı
V : Kesme kuvveti
 α : açı, katsayı
 β : b/a oranı, dönme eksenine plastik mafsalsal çizgisi arasındaki açı
 γ : Depolanan sıvının birim ağırlığı
 δ : Yerdeğiştirme
 ϵ : Birim boy değişimi
 θ : Plastik mafsalsal çizgisinde plak parçalarının dönmesi, açı
 λ : Katsayı
 η : Moment katsayısı
 μ : Plastik mafsalsal çizgisi teorisinde plağın birbirine dik iki doğrultusundaki momentlerin oranı
 ξ : Kesme kuvveti katsayısı
 σ : Gerilme
 φ : Mesnet katsayısı, mesnet momentinin açıklık momentine oranı
- NOT: Bu listede verilmeyen bazı semboller çalışmada ilgili oldukları yerlerde açıklanmışlardır.

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 3.1. Dikdörtgen Kesitli Sıvı Deposu Tipleri | 10 |
| 3.2. Bir Yüzme Havuzu Modeli | 10 |
| 3.3. İller Bankası Tarafından, Trabzon (Merkez) İçme Suyu Projesi Kapsamında Yapılan 500 m ³ Hacminde Dikdörtgen Kesitli Betonarme Bir Depodan Görünümler | 13 |
| 3.4. İller Bankası Tarafından Trabzon (Merkez) İçme Suyu Projesi Kapsamında Yapılan 1500 m ³ Hacminde Dikdörtgen Kesitli Betonarme Su deposundan Görünümler | 14 |
| 3.5. İller Bankası Tarafından Trabzon (Merkez) İçme Suyu Projesi Kapsamında Yapılan 1000 m ³ Hacminde Dikdörtgen Kesitli Betonarme Bir Su Deposundan Görünümler | 15 |
| 3.6. İller Bankası Tarafından, Trabzon (Merkez) İçme Suyu Projesi Kapsamında Yapılan 1000 m ³ Hacminde Dikdörtgen Kesitli Betonarme Bir Su Deposunun Cidarlarına ve Taban Plağına Donatı Yerleştirilmesi | 16 |
| Şekil 4.1. Dikdörtgen Kesitli Sıvı Depolarında Yük Etkisi | 17 |
| 4.2. Ayaklar Üzerine İnşa Edilmiş Dikdörtgen Kesitli Betonarme Sıvı Deposu Şemaları | 18 |
| 4.3. Dikdörtgen Depolarda Yatay Şeritlerin Şematik Gösterilimi | 19 |
| 4.4. Taban Plağının Cidarlara Ankastrelik Etkisi | 19 |
| 4.5. Yatay Şeritler Yönteminde Dikkate Alınacak Sıvı Basıncı | 19 |
| 4.6. Yatay Şeritlerde Yük Etkisi ve Moment Diyagramı | 20 |
| 4.7. $b/a > 1.31$ İçin Şematik Moment Diyagramı | 22 |
| 4.8. Uzun cidarlarda Ara mesnetler bulunması halinde Cidarların Şematik Moment Diyagramı | 22 |
| 4.9. Dikdörtgen Kesitli Sıvı Depolarında Düşey Şeritlerin Şematik Gösterilimi | 23 |

| | | |
|------------|---|----|
| 4.10. | Düsey Şeritler Yönteminde Yük Etkisi | 23 |
| 4.11. | Taban Plağı İle Cidarların Ankastre Olması Halinde Şematik Moment Diyagramı | 24 |
| 4.12. | Depo Cidarlarının Üst ve Alt Kenarlarından Basit Mesnetli Olması Hali | 25 |
| 4.13. | Depo Cidarlarının Alt ve Üst Kenarlarında Ankastre Olması Hali | 26 |
| 4.14. | Depo Cidarlarının Üst Kenarından Basit Mesnetli Alt Kenarından Ankastre Mesnetli Olması Hali | 26 |
| 4.16. | Çizelge 4.1 deki Değerlere Göre Çizilen Moment Diyagramı | 29 |
| 4.17. | Çizelge 4.2 deki Değerlere Göre Çizilen Moment Diyagramı | 29 |
| 4.18. | Çizelge 4.3 deki Değerlere Göre Çizilen Moment Diyagramı | 30 |
| Şekil 5.1. | Deponun Bir Cidarında Rikkate Alınacak Koordinat Sistemi | 33 |
| 5.2. | Düsey Kenarları Ankastre, Alt ve Üst Kenarları Basit Mesnetli Bir Plak İçin Kesme Kuvveti Eğrileri | 47 |
| 5.3. | Düsey Kenarları Ankastre, Alt Kenarları Basit, Üst Kenarları Serbest Mesnetli Bir Plak İçin Kesme Kuvveti Eğrileri | 50 |
| 5.5. | Çizelge 5.9a ve Çizelge 5.9b de Büyük ve Küçük Cidarlar İçin Verilen Moment Değerlerine Bağlı Olarak Çizilen Moment Diyagramları | 56 |
| 5.6. | Çizelge 5.10a ve Çizelge 5.10b de, Büyük ve Küçük Cidarlar İçin Verilen Moment Değerlerine Bağlı Olarak Çizilen Moment Diyagramları | 57 |
| 5.7. | Çizelge 5.10c de, Büyük ve Küçük Cidarlar İçin Verilen Moment Değerlerine Bağlı Olarak Çizilen Moment Diyagramları | 58 |
| 5.8. | Çizelge 5.11a ve Çizelge 5.11b de Büyük ve Küçük Cidarlar İçin Verilen Değerlerine Bağlı Olarak Çizilen Moment Diyagramları | 59 |

| | |
|--|-----|
| 5.9. Çizelge 5.11c de, Büyük ve Küçük Cıdarlar için Verilen Moment Değerlerine Bağlı Olarak Çizilen Moment Diyagramları | 60 |
| Şekil 6.1. Dikdörtgen Bir Plak Elemanı ve Bir Düğüm Noktasının Serbestlik Dereceleri | 63 |
| 6.2a. Dikdörtgen Sıvı Deposunun 32 Elemanlı Sonlu Elemanlar Modeli | 74 |
| 6.2b. Dikdörtgen Sıvı Deposunun 80 Elemanlı Sonlu Elemanlar Modeli | 75 |
| 6.3. Üst Kenarları Serbest, Alt Kenarları Ankastre Mesnetli Olan Deponun Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Moment Diyagramı | 76 |
| 6.4. Üst ve Alt Kenarları Basit Mesnetli Olan Deponun Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Moment Diyagramları | 77 |
| 6.5. Üst Kenarları Serbest ve Alt Kenarları Basit Mesnetli Olan Deponun Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Moment Diyagramları | 78 |
| 6.6. Üst Kenarları Basit, Alt Kenarları Ankastre Mesnetli Olan Deponun Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Moment Diyagramları | 79 |
| Şekil 7.1. Köşelerinden Tutturulmuş Dört Simetrik Tekil Yük Etkisinde Basit Mesnetli Bir Kare Plağın Plastik Mafsal Çizgileri Şeması | 82 |
| 7.2. İdeal Plastik Malzemeler | 84 |
| 7.3. Plastik Mafsal Çizgisinden Geçen i Doğrultusunda Donatı Çubukları | 88 |
| 7.4. Johansen Kriterine Göre Plastik Mafsal Çizgileri Şekli | 89 |
| 7.5. Mohr Dairesi Yardımıyla m_n ve m_t Momentlerinin Belirlenmesi | 91 |
| 7.6. Üç Plastik Mafsal Çizgisinin Kesişmesi Hali | 93 |
| 7.7. Plastik Mafsal Çizgilerinde Donatıların İlk Doğrultularında Sapması | 97 |
| 7.8. Plastik Mafsal Çizgilerinin Belirlenmesi | 102 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 7.9. Mümkün Olabilecek Örnek Göçme Mekanizmaları | 103 |
| 7.10. Göçme Mekanizmalarının Bir Rijit Elemanı | 105 |
| 7.11. Eğilme ve Burulma Momentlerinin Pozitif Yönleriyle Pozitif ve Negatif Kuvvetlerin Gösterilimi | 107 |
| 7.12. AB Plastik Mafsalsal Çizgisinin O Noktası Etrafında $d\varphi$ Kadar Dönmesi | 107 |
| 7.13. A Düşüm Noktası Kuvvetinin Belirlenmesi | 113 |
| 7.14. Üç Plastik Mafsalsal Çizgisinin Kesişmesi Halinde Düşüm Noktası Kuvvetinin Belirlenmesi | 114 |
| 7.15. Elemanın Dönme Eksenine Açısı Yapan Bir Plastik Mafsalsal Çizgisi | 115 |
| 7.16. Plastik Mafsalsal Çizgilerinin Serbest Kenarda Kesişiminin Şematik Gösterilimi | 118 |
| 7.17. Plastik Mafsalsal Çizgilerinin Kesim Noktasına Tekil Yükün Etkimesi Hali | 120 |
| 7.18. Dikdörtgen Plakta Plastik Mafsalsal Çizgileri | 123 |
| 7.19. Dikdörtgen Plakın Plastik Mafsalsal Çizgileriyle Rijit Parçalara Ayrılması | 124 |
| 7.20. Üç Kenarından Mafsalsal, Üniorm Yük Etkisinde Dikdörtgen Bir Plak | 125 |
| 7.21. Dört Kenarından Mafsalsal Dikdörtgen Bir Plak | 127 |
| Şekil 8.1. Büyük Cidarın Ortasında Düşey Doğrultudaki Maksimum Momentler | 132 |
| 8.2. Büyük Cidarın Ortasında Düşey Doğrultudaki Maksimum Momentler | 133 |
| 8.3. Büyük Cidarların Ortasında Düşey Doğrultudaki Maksimum Momentler | 133 |
| 8.4. Büyük Cidarların Ortasında Düşey Doğrultudaki Maksimum Momentler | 134 |
| 8.5. Büyük Cidarların Ortasında Yatay Doğrultudaki Maksimum Momentler | 134 |
| 8.6. Büyük Cidarların Ortasında Yatay Doğrultudaki Maksimum Momentler | 135 |
| 8.7. Büyük Cidarların Ortasında Yatay Doğrultudaki Maksimum Momentler | 135 |

ÇİZELGELER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Çizelge 4.1. Depo Cidarlarının Üst Kenarlarından Serbest, Alt Kenarlarından Ankastre Olması Durumunda Momentler | 28 |
| 4.2. Depo Cidarlarının Üst ve Alt Kenarlarından Basit Mesnetli Olması Durumunda Momentler | 29 |
| 4.3. Depo Cidarlarının Üst Kenarlarının Basit, Alt Kenarlarının Ankastre Olması Durumunda Momentler | 30 |
| 4.4. Yatay Şeritler Yöntemiyle Elde Edilen Momentler | 31 |
| Çizelge 5.1. Plak Moment Hesabı İçin η Katsayıları | 35 |
| 5.2. Plak Moment Hesabı İçin η Katsayıları | 36 |
| 5.3. Plak Moment Hesabı İçin η Katsayıları | 37 |
| 5.5. Dikdörtgen Depolarda Moment Hesabı İçin η Katsayıları | 39 |
| 5.6. Dikdörtgen Depolarda Moment Hesabı İçin η Katsayıları | 41 |
| 5.7. Üst ve Alt Kenarından Basit Mesnetli Plak Kenarları Boyunca Kesme Kuvveti | 45 |
| 5.8. Üst Kenarı Serbest Alt Kenarı Basit Mesnetli Bir Plak Kenarları Boyunca Kesme Kuvveti | 48 |
| 5.9a. Büyük Cidarlar İçin (a) Şıkkındaki Mesnet Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.3 den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri | 51 |
| 5.9b. Küçük Cidarlar İçin (a) Şıkkındaki Mesnet Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.3 den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri | 52 |
| 5.10a. Büyük Cidarlar İçin (b) Şıkkındaki Mesnet Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.1 den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri | 52 |

| | |
|---|-----|
| 5.10b. Küçük Cidarlar için (b) Şıkkındaki Mesnet Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.1 den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri | 53 |
| 5.10c. Büyük ve Küçük Cidarlarda (b) Şıkkındaki Mesnet Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.5 den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri | 53 |
| 5.11a. Büyük Cidarlar için (c) Şıkkındaki Moment Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.2'den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri | 54 |
| 5.11b. Küçük Cidarlar için (c) Şıkkındaki Moment Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.2'den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri | 54 |
| 5.11c. Büyük ve Küçük Cidarlar için (c) Şıkkındaki Moment Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.6 dan Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri | 55 |
| 6.1. Sonlu Eleman Aşının Oluşturulmasında Kullanılan Eleman Tipleri | 64 |
| 6.2. Sonlu Eleman Aşlarına Ait Bazı Örnekler | 66 |
| 6.3. İzotrop Bir Plak Elemanın dört köşesindeki momentler | 72 |
| 6.4. Depo Cidarlarında Eleman Aşının Değiştirilmesinden Elde Edilen Moment Değerlerinin Karşılaştırılması | 73 |
| 7.1. Dikdörtgen Bir Depoda Çeşitli Mesnet Koşullarına Göre Birim Momentler | 128 |

TANIMLAR LİSTESİ

- DİRENME MOMENTİ** : Kesitin taşıyabileceği en büyük eğilme momentidir. Bu momente bazen plastik moment adı da verilmektedir.
- NEGATİF DİRENME MOMENTİ** : Plağın sadece üst yüzüne yakın donatısı dikkate alınarak hesaplanan direnme momentidir.
- POZİTİF DİRENME MOMENTİ** : Plağın sadece alt yüzüne yakın donatısı dikkate alınarak hesaplanan direnme momentidir.
- PLASTİK MAFSAL** : Üzerindeki eğilme momenti direnme momentine ulaşmış ve bu momenti taşıırken mafsal gibi davranan kesitlerdir.
- PLASTİK MAFSAL ÇİZGİSİ** : Üzerindeki birim momentin değeri direnme momentine erişmiş ve bu direnme momentini taşıırken mafsal gibi davranan çizgilerdir. Bu çizgilere teknik literatürde kırılma ya da akma çizgileri adı da verilmektedir.
- YENİDEN DAĞILIM (ADAPTASYON)** : Üzerindeki eğilme momentleri direnme momentlerine ulaşan kesitler, şekildeğıştirmelerle yük altından kaçarken artan yüklerin henüz plastik mafsal hale gelmemiş kesitlere iletilmesi olayıdır.
- GÖÇME** : Yapı ve/veya yapı elemanlarının kullanılamaz hale gelişidir. Bu bir yıkılmada olabilir.
- GÖÇME MEKANİZMASI** : Yapı ya da yapı elemanlarının göçeceği anda plastik mafsallarla çeşitli parçalar şeklinde davranmaya başlayarak labil hale gelmesidir.
- DONATI** : Beton içine betonarme yapı tekniğine uygun olarak yerleştirilen çelik çubuklar ya da hasırlardır.
- NEGATİF DONATI** : Plaktaki negatif momentleri karşılamak için kullanılan donatıdır.
- POZİTİF DONATI** : Plaktaki pozitif momentleri karşılamak için kullanılan donatıdır.

İZOTROP PLAK : Birbirine dik iki doğrultudaki özellikleri birbiriyle aynı olan plaklardır.

ORTOTROP PLAK : Birbirine dik iki doğrultudaki özellikleri birbirinden farklı olan plaklardır.

ŞERİTLER YÖNTEMİ : Bu çalışmada yatay ve düşey şeritler yöntemi diye adı geçen yöntemdir.

KATSAYILAR YÖNTEMİ : Bu çalışmada Amerikan standardında önerilen yöntem diye adı geçen yöntemdir.

HAZNE : Sıvının biriktirildiği depo kısmıdır.

KISALTMALAR LİSTESİ

UNESCO : The United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.

P.C.A. : Portland Cement Association

DSİ : Devlet Su İşleri

POZ : Pozitif

DNT : Donatı

SNR : Sınır

BİRİMLER LİSTESİ

SI-ALIŞILMIŞ SİSTEM BİRİM DÖNÜŞÜMLERİ

(1 kgf=10 N varsayımıyla)

| CİNSİ | ULUSLARARASI SİSTEM (SI) | SEMBOLÜ | ALIŞILMIŞ SİSTEM |
|-------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| - | Newton | N | 0.10 kgf |
| - | deka-Newton | daN | 1.00 kgf |
| Tekil yük | kilo-Newton | kN | 100.00 kgf |
| Eşit yayılı yük şiddeti | kilo-Newton/metre | kN/m | 100.00 kgf/m |
| Dayanım ya da gerilme | Newton/mm ² | N/mm ² | 10.00 kgf/cm ² |
| Moment | kilo-Newton.metre | kN.m | 100.00 kgf.m |

SAYISAL UYGULAMALAR LİSTESİ

- 4.1. Yatay ve Düşey Şeritler Yöntemine Göre Dikdörtgen Kesitli Betonarme Bir Su Deposunun Yapısal Çözümlemesi 27
- 5.1. Amerikan Standardındaki Yönteme Göre Dikdörtgen Kesitli Betonarme Bir Su Deposunun Yapısal Çözümlemesi 50
- 6.1. Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Dikdörtgen Kesitli Bir Su Deposunun Yapısal Çözümlemesi 71
- 7.1. Plastik Mafsal Çizgileri Teorisine Göre Betonarme Bir Su Deposunun Yapısal Çözümlemesi 128

ÖZET

Özel mühendislik yapılarından olan dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depoları bugün çok yaygın olarak kullanılmakla beraber, bu konuda halen bir Türk standardı bulunmamaktadır. Bu durumda, Türkiye mühendisleri projelendirmelerde yabancı standartlara başvurmakta ve elde edebildikleri herhangi bir yapısal çözümleme yöntemini kullanmaktadırlar.

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının projelendirilmesinde kullanılan bu yöntemlerin hangisinin Türkiye ekonomisiyle bağdaşan bir emniyeti sağladığı bilinmediği gibi, bu husus yapım ve kontrollüklerde de önemli derecede anlaşmazlıklara neden olmaktadır. Bu belirsizliklerin giderilmesi ve ileride hazırlanabilecek bir standarda yardımcı olmak amacıyla bu çalışmada, dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının projelendirilmesinde kullanılan çeşitli yöntemler verilmekte ve kendi aralarında mesnet koşulları da dikkate alınarak, karşılaştırılmaktadır. Çalışma dokuz asıl ve iki ek bölüm olmak üzere toplam onbir bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, çalışmanın ana hatları, ikinci bölümde hidrolik ve yapısal özellikler, üçüncü bölümde ise konu hakkında daha önceki çalışmaların bir sentezi verilmektedir. Dördüncü bölümde, dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının projelendirilmesinde kullanılan yapısal çözümleme yöntemlerinden, yatay ve dikey şeritler yöntemi, beşinci bölümde Amerikan standardında önerilen katsayılar yöntemi, altıncı bölümde sonlu elemanlar yöntemi ve yedinci bölümde betonarmenin gerçek davranışını dikkate alan plastik mafsallı çizgisi yöntemi üzerinde durulmaktadır. Her bölümün sonunda bu çalışmaya konu olan yapısal çözümleme yöntemleriyle, dikdörtgen kesitli betonarme bir su deposunun çeşitli mesnet koşullarına bağlı olarak yapılan yapısal çözümlerden elde edilen sonuçlar sekizinci bölümde karşılaştırılmakta ve bazı yargılara varılmaktadır.

Çalışmanın bütününden çıkartılan sonuçlar ve öneriler, dokuzuncu bölümde özetlenmekte ve bu son bölümü kaynaklar listesiyle iki ek bölümü izlemektedir.

SUMMARY

Although rectangular concrete liquid tanks as special engineering structures built widespread today, there is no Turkish standards in this area. Thus, Turkish Engineers generally apply foreign standards and use one of the structural analysis methods for designing. Which one of these methods to design the tanks with rectangular form providing a safety level in accordance with the Turkish economy is not yet known and the subject has been a conflict in the construction business and the engineering of inspection. To overcome this problem and to help in the future standardization, in this study several methods in structural analysis in designing the concrete tanks with rectangular cross section are thoroughly summarized and compared with each other. In addition to these study, the foundation conditions are taken into consideration.

The study consists of nine chapters and two appendices. In the first chapter, main lines of study, in the second chapter hydraulic and structural properties and in the third chapter, a synthesis of former studies are given. In the fourth chapter, designing the rectangular concrete tanks, using vertical and horizontal strip method, in the fifth chapter, the standards of American propose coefficients method, In the sixth chapter finite element method, in the seventh chapter, reality behavior of reinforce concrete bear in mind yield-line method are given. In the eighth chapter the methods explained above are compared.

The last chapter are devoted to the results and the advices. This chapter is followed by the list of references and to appendices.

BÖLÜM 1

G İ R İ Ş

İnsanoğlu belkide varlığından itibaren kendi ihtiyacı olan suyu depolamak gereğini duymaktadır. Bitkilerden ve hayvanlardan yararlanmaya başlayınca su ihtiyacı arttığından, derelerin önüne setler gemesi, kayaları oyması ya da ahşaptan tekne şeklinde oyuklar yapmış olması bu düşünceyi desteklemektedir. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak, içme suyu ve diğer sıvılar ahşaptan, büyük fiçılarda depolanmış metal sanayisinin gelişmesiyle de metal fiçılar kullanılmaya başlanmıştır. Birinci Dünya Savaşı yıllarında çelikten ve betonarmeden depolar yapılmaya başlanmış ve nüfusun artmasıyla birlikte su ihtiyacı da artmış ve giderek daha büyük depoların yapılması gerekli olmuştur. Freyssnet'in öngerilme fikrini ortaya atmasından sonra 1940 lı yıllarda ihtiyaç duyulan büyük depoların yapımında, öngerilmeli beton kullanıldığından, depolara geçirimsizlik de kolaylıkla sağlanmıştır.

Günümüzde nüfusun artmasıyla beraber sanayinin de gelişmesi sıvı deposu ve atıksu tesisi ihtiyaçlarını artırmıştır.

Normal bir sıvı deposu; taban, cidarlar ve tavan olmak üzere üç kısma ayrılabilir. Projelendirmede bu kısımlar, ayrı ayrı hesaplanabileceği gibi depoyu bir bütün olarak hesaplamak da mümkündür. Ancak, geçirimsizlik birinci dereceden önemli olduğundan hangi şekilde hesaplanırsa hesaplanırsa iyi bir deponun inşası için sadece hesabın yeterli olmayacağı da bir gerçektir. Zira, yapım aşamasında yapılacak küçük bir detay hatası, genellikle deponun çatlamasına, dolayısıyla da işlevini yapmasına engel olmaktadır. Diğer taraftan depo, betonun yerleştirilmesinden sonra, özellikle depolarda çok önemli olan, sıcaklık ve rötire etkilerini azaltmak için, deponun iyi bir şekilde sulanması, ani doldurulmaması, sıcak altında boş bırakılmaması gibi önlemlerin de alınması gerekmektedir.

Depolar için verilen hesap ilkeleri ve geçirimsizliğin sağlanması için alınması gereken önlemler yüzme havuzları için de aynen geçerlidir.

Özel mühendislik yapılarından olan dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depoları da bugün de çok yaygın olarak kullanılmakla beraber, bu konuda bir Türk standardı bulunmamaktadır. Ayrıca, öğretim programlarında da yeterince yer verilmediğinden, yapı mühendislerinin bu konudaki bilgileri oldukça sınırlı durumdadır.

Bu durumda, Türkiye mühendisleri projelendirmelerde yabancı standartlara başvurmakta ve elde edebildikleri herhangi bir yapısal çözümlene yöntemini kullanmaktadırlar. Kullanılan bu yöntemlerin hangisinin Türkiye ekonomisiyle bağdaşan bir emniyeti sağladığı bilinmediği gibi bu husus yapım ve kontrollüklerde de birçok anlaşmazlıklara neden olmaktadır. Bu belirsizliklerin giderilmesi amacıyla bu çalışmada, dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının projelendirilmesinde kullanılan çeşitli yöntemler verilmekte ve bu yöntemler kendi aralarında karşılaştırılarak bazı sonuçlara varılmaktadır.

Çalışma dokuz asıl ve iki ek bölüm olmak üzere toplam onbir bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm giriş bölümü olup, ikinci bölümde depoların tanımları, görevleri, sınıflandırılmaları, inşa yerlerinin ve hacimlerinin belirlenmesi, projelendirilmelerinde dikkate alınacak yükler, malzeme seçimi gibi hidrolik ve yapısal özellikler birlikte verilmektedir.

Üçüncü bölümde dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının üstünlükleri, sakıncaları, tipleri, konstrüksiyon esasları, davranışları ve yapısal çözümlene yöntemleri verilmektedir.

Dördüncü bölümde, dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının projelendirilmesinde kullanılan yapısal çözümlene yöntemlerinden yatay ve düşey şeritler yöntemi üzerinde durulmakta ve bu yönteme ait çeşitli mesnet koşullarına göre sayısal bir uygulama verilmektedir.

Beşinci bölümde, Amerikan standardında önerilen katsayılar yöntemi üzerinde durulmakta ve sayısal bir uygulama sonuçları diyagramlar halinde sunulmaktadır.

Altıncı bölümde, sonlu elemanlar yönteminin temel ilkeleri, plakların sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal çözümlemesinde dik-dörtgen elemanların kullanılması anlatılmakta ve yöntemin dik-dörtgen kesitli betonarme sıvı depolarına bilgisayar programı kullanılarak uygulanması sayısal örneklerle gösterilmektedir.

Yedinci bölümde, plaklarda; sınır durumlar ve göçme şekilleri, eğilme dayanımının tükenmesiyle oluşan göçme, plastikleşme kriteri, plastik mafsal çizgileri teorisi, mümkün olabilecek göçme mekanizmasının araştırılması, düğüm noktası kuvvetleri ve iş yöntemiyle birlikte, plastik mafsal çizgileri teorisinin dik-dörtgen kesitli betonarme sıvı depolarına uygulanması üzerinde durulmakta ve çeşitli mesnet koşullarına göre, Ek-B de sunulan bilgisayar programı kullanılarak çözülen sayısal bir uygulama verilmektedir.

Sekizinci bölümde, çeşitli yapısal çözümleme yöntemleri karşılaştırılarak irdelenmekte ve bazı yargılara varılmaktadır.

Dokuzuncu bölüm sonuçlar ve öneriler bölümü olup, bu son bölümü kaynaklar listesiyle iki ek bölüm izlemektedir.

BÖLÜM 2

BETONARME SIVI DEPOLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. GİRİŞ

İnsanların sıvıları depo etmek ve gerekli hallerde kullanım yerlerine ekonomik bir şekilde iletmek ihtiyacı yıllardan beri süregelenmektedir.

Bir deponun inşasına karar verildiği zaman, hidrolik ve yapısal düşüncelerin birlikte değerlendirilmesi gerekli olmaktadır. Çünkü yapısal olarak ideal olan bir depo, hidrolik açıdan yetersiz olabilmektedir. Bu bölümde depolara ilişkin hidrolik ve yapısal özellikler, özetlenerek birlikte verilmektedir.

2.2. SIVI DEPOLARININ TANIMI

Hidrolik mühendisliği açısından depo; kaynaktan gelen ve ihtiyaç yerine dağıtılan debiler arasındaki farkı dengeleyen yapılar olarak, yapı mühendisliği açısından ise, toplumun kullanımı için gerekli olan su ile, sanayi ve enerji için gerekli olan sıvıların biriktirilmesinde kullanılan mühendislik yapıları olarak tanımlanabilmektedir.

2.3. SIVI DEPOLARININ GÖREVLERİ

Sıvı depoları çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bu amaçların başlıcaları aşağıda verilmektedir.

- İnsanların ihtiyacı olan suyu depolamak,
- yangın anında gerekli olan ek su ihtiyacını karşılamak,
- şebekedeki su basıncının belirli sınırlar içinde kalmasını sağlamak,
- Sanayi ve enerji için gerekli sıvıları depolamak,
- Atıksuları, arıtılması için biriktirmek.

Bu konuda ek bilgiler için kaynak (Doğangün,1989)'a başvurulabilir.

2.4. SIVI DEPOLARININ SINIFLANDIRILMASI

Sıvı depoları ve sıvı depoları gibi hizmet veren diğer depoların çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması aşağıda verilmektedir.

1) Kullanım amacına göre:

- Su depoları,
- akaryakıt ve gaz depoları,
- atıksu tesisi depoları.

2) Kullanılan malzeme cinsine göre:

- Betonarme depolar,
- öngerilmeli ya da kısmen öngerilmeli beton depolar,
- kargir ve beton depolar,
- çelik depolar.

3) Zemindeki konumuna göre:

- Gömme depolar,
- yerüstü depoları,
- ayaklı depolar.

4) Plandaki şekline göre:

- Dikdörtgen kesitli depolar,
- kare kesitli depolar,
- daire kesitli depolar,
- çokgen depolar,
- herhangi bir kesitteki depolar.

5) Kat ve göz adedine göre:

- Bir gözlü depolar,
- çok gözlü depolar,
- çok katlı-bir gözlü depolar,
- çok katlı ve çok gözlü depolar.

6) İnşa şekline göre:

- Yekpare depolar,
- Prefabrike depolar.

İnşa edilecek deponun yukarıdaki sınıflardan hangisi olacağına, ihtiyaçlar, imkanlar ve yerel koşulları dikkate alarak karar vermek gerekmektedir.

2.5. SIVI DEPOLARININ YERİNİN BELİRLENMESİ

Depo yerinin belirlenmesinde en önemli rolü ekonomik düşünceler, ihtiyaçlar ve yerel koşullar oynamaktadır. Sıvı deposundan cazibe (yerçekimi) ile beslenme düşünülüyorsa, şebekede yeterli basıncı sağlamak için, depoyu yüksek bir yere yapmak gerekmektedir. Ancak hidrolik açıdan deponun yerleşim bölgesinin en yoğun kısmında yapılması daha uygun olmaktadır. Aksi takdirde, suların en kısa yoldan ihtiyaç bölgesine dağıtılması sağlanamayacağından, kayıplar büyük olacaktır.

Yukarıda belirtilen başlıca hususlardan başka, arazi durumunda ekonomik depo yerini belirlemede etkili olmaktadır. Normal olarak depoları, arazinin en yüksek kısmına yapmak gerekmektedir. Bunun yapısal olarak faydası, buralarda zeminin sağlam ve yeraltı su seviyesinin oldukça derinlerde bulunması olmaktadır. Bu durumda depoda farklı oturumların meydana gelme ihtimali azalacak dolayısıyla da depo elemanlarında ek gerilmeler meydana gelmeyecektir.

Diğer taraftan depo yeri seçiminde, depo yapımı için gerekli malzeme, araç ve gereçlerin inşa yerine kolayca getirilip, getirilemeyeceğini de dikkate almak gerekir. Bu konuda daha ayrıntılı bilgi için kaynak (Doğangün,1989)'a başvurulabilir.

2.6. SIVI DEPOLARININ HACMİNİN BELİRLENMESİ

Sıvı depolarının hacimleri hesaplanırken genellikle 30 yıl sonraki maksimum günlük su sarfiyatı dikkate alınmaktadır. Depo hacminin belirlenmesinde; haftalık, aylık ya da yıllık periyotlar dikkate alındığında gerekli depo hacimleri çok büyük olmaktadır. Bu nedenle depo hacimleri genellikle maksimum su tüketilen bir günlük periyoda göre hesaplanmaktadır. Depo hacminin belirlenmesinde, günlük su sarfiyatıyla beraber, yangın için depoda bulunması gereken su miktarını da dikkate almak gerekmektedir. Bu konuda daha ayrıntılı bilgi için kaynak (Doğangün,1989)'a başvurulabilir.

2.7. SIVI DEPOLARI EKONOMİK KOTUNUN BELİRLENMESİ

Depo kotunun önceden belirlenmediği durumlarda, depo için değişik kotlar kabul edilerek bu kotlardan hangisinin daha ekonomik olacağı araştırılır. En uygun depo kotu, ekonomik düşüncelerden hareketle, her depo yeri için ve bunlara bağlı olarak da yıllık işletme masrafları belirlenmek suretiyle seçilmektedir (Doğangün, 1989).

2.8. SIVI DEPOLARI İNŞA MALZEMESİNİN SEÇİMİ

Depo hangi malzemedен (betonarme, öngerilmeli beton, kargir ya da çelik, vb.) yapılacağına; depo kotu, boyutları, biriktireceği sıvının özellikleri gibi hususlar dikkate alınarak karar vermek gerekmektedir.

2.9. SIVI DEPOLARINDA BİRİKTİRİLECEK SIVILARIN ÖZELLİKLERİ

Betonarme sıvı depolarında depolanacak sıvının betona zarar vermemesi gerekmektedir. Bilindiği gibi hemen bütün asitler, bazı tuzlar, sülfatlar (CaSO_4 , MgSO_4 gibi) ve serbest CO_2 taşıyan sert ya da yumuşak sular betona zarar vermektedir. Bu nedenle, depolanacak sıvıların bu zararlı etkilerini önlemek için depolarını tecrit etmek gerekmektedir. Bu iş için bitümlü, silisyum tetraflorürlü poliakrilik ya da poliepoksi esaslı polimer malzemeler kullanılabilir. Bu konuda daha geniş bilgi için kaynak (Doğangün, 1989) a başvurulabilir.

2.10. SIVI DEPOLARININ PROJELENDİRİLMESİNDE DİKKATE ALINACAK YÜK YA DA YÜK ETKİLERİ

Sıvı depolarının projelendirilmesinde dikkate alınacak yük ya da yük etkileri aşağıda verilmektedir:

- Depo ve depo ekipmanının özağırlıkları,
- Depolanmış sıvının yükü,
- Çeşitli işletme yükleri,
- Sıcaklık değişimi,

- Rötire etkisi,
- Sünme etkisi,
- Kar ve rüzgar yükleri,
- Deprem etkisi,
- Toprak ve su itkisi.

Yerüstü ve gömme depolarının taban plaklarının alt kotunu, yeraltı su seviyesinin oldukça üstünde tutmak gerekmektedir. Aksi takdirde hesaplarda yeraltı suyunun kaldırma kuvvetini de dikkate almak gerekir. Tüm depoların en elverişsiz kesit etkilerine göre boyutlandırılması gerektiği açıktır.



BÖLÜM 3

DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARI

3.1. GİRİŞ

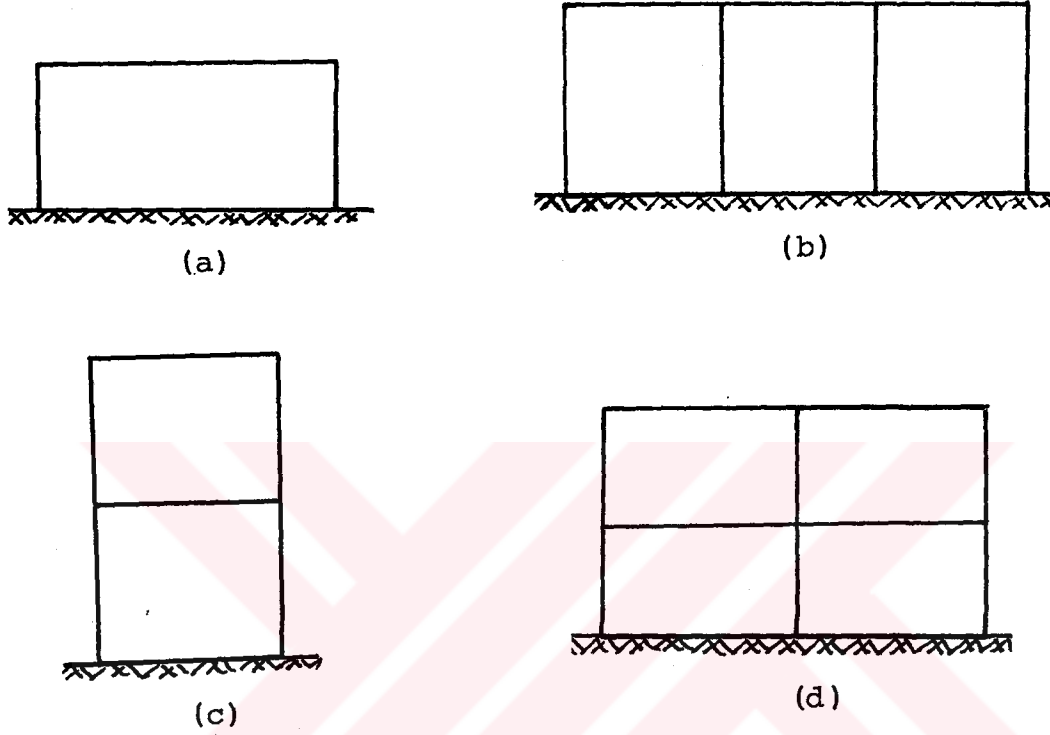
İkinci bölümde sıvı depolarının sınıflandırılması yapılırken (madde 2.4) dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarından söz edilmişti. Bu tür depolar özellikle, gömme ve yerüstü deposu olarak, içme ve kullanma sularını ya da sanayi için gerekli sıvıları depolamak için yaygın bir şekilde inşa edilmektedir.

Bu bölümde, bu depoların tipleri, konstrüksiyon esasları, davranışları ve yapısal çözümlene yöntemleri hakkında bazı bilgiler verilmektedir.

3.2. DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPO TİPLERİ VE KONSTRÜKSİYON ESASLARI

Günümüzde birçok yerleşim bölgesinde toplumun ihtiyacını karşılamak için, içme ve kullanım sularını biriktirmek ya da sanayi için gerekli sıvıları depolamak için dikdörtgen kesitli sıvı depoları; tekgözlü (Şekil 3.1a), çok gözlü (Şekil 3.1b), çok katlı-bir gözlü (Şekil 3.1c) ve çok katlı-çok gözlü (Şekil 3.1d) olarak yaygın bir şekilde inşa edilmektedirler. Bunlar gömme ve yerüstü deposu olarak inşa edildikleri gibi ayaklı olarakta inşa edilmektedirler. Üstleri kapalı olabileceği gibi, yüzme havuzları ve atıksu tesislerinde olduğu gibi, üstleri açık da olabilmektedir (Şekil 3.2). Depo taban ve tavan plakları, genellikle kirişli ve kirişsiz (mantar) döşeme tipinden biri olarak gerçekleştirilmektedir. Üstü açık büyük depolarda sıcaklık değişimi, rötire, sünme ve farklı mesnet çökmelerinden doğan kesit etkilerini azaltmak için tavan ve taban plaklarıyla cidarları derzlerle bloklara ayırmak gerekli olmaktadır. Derz bloklarıyla

ayrılmış cidarların yapısal çözümlerini istinat duvarı olarak yapmak da mümkündür. Üstü kapalı depolarda genellikle tavan plağı cidarlara basit mesnetli, tavan plağına ise ankastre mesnetli (yekpare) olarak inşa edilmektedir.



Şekil 3.1. Dikdörtgen Kesitli Sıvı Deposu Tipleri

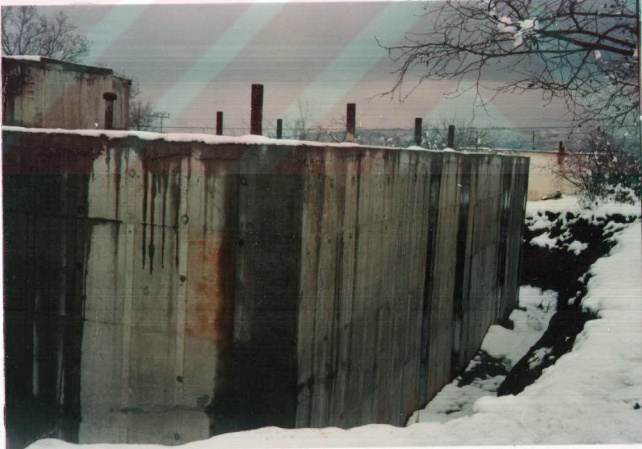


Şekil 3.2. Bir yüzme havuzu modeli

İller Bankası tarafından Trabzon (Merkez) içme suyu projesi kapsamında yapılan 500, 1000 ve 1500 m³ hacminde dikdörtgen kesitli betonarme su depoları inşaatından bazı görünümeler Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 da verilmektedir. Bu tip depolar gömme değilse ısı tecridini sağlamak amacıyla tavan plakları üzerinde 50-100 cm kalınlığında bir toprak tabakasıyla kaplamak gerekli olmaktadır.



a) Arka cepheden görünüm



b) Yan cepheden görünüm

Şekil 3.3. İller Bankası Tarafından, Trabzon (Merkez) İçme Suyu Projesi Kapsamında Yapılan 500 m^3 Hacminde İnşaatı Bitmek Üzere Olan Betonarme Dikdörtgen Kesitli Bir Depoda Görünümler



a) Tavan plağının mantar döşeme olarak yapılması



b) Tavan plağının mantar döşeme olarak yapılması nedeniyle depo içinde teşkil edilen kolonlar

Şekil 3.4. İller Bankası Tarafından, Trabzon (Merkez) İçme Suyu Projesi Kapsamında Yapılan 1500 m³ Hacminde Dikdörtgen Kesitli Betonarme Bir Su Deposundan Görünümler

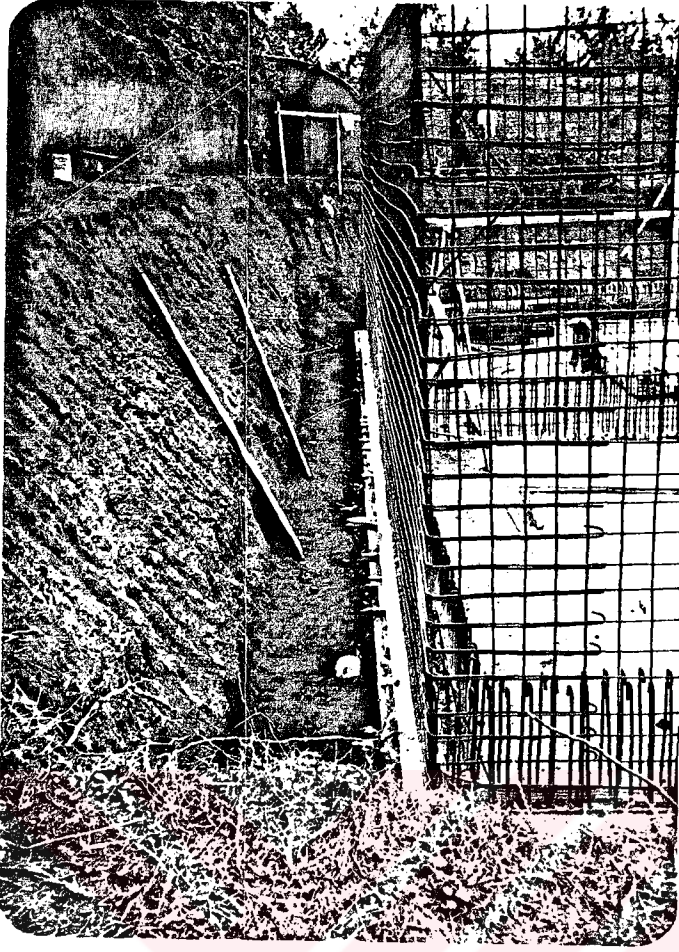


a) Ön cepheden görünüm

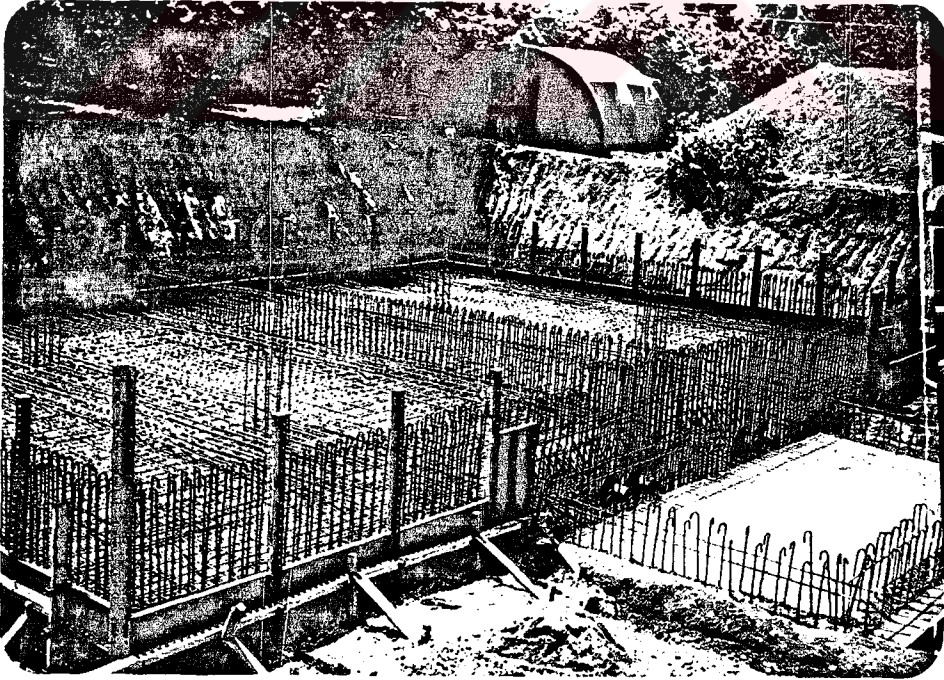


b) Arka cepheden görünüm

Şekil 3.5. İller Bankası Tarafından, Trabzon (Merkez) İçme Suyu Projesi Kapsamında Yapılan 1000 m^3 Hacminde Dikdörtgen Kesitli Betonarme Bir Su Deposundan Görünümler



a) Cidarların donatılması



b) Taban plağının donatılması

Şekil 3.6. İller Bankası Tarafından, Trabzon (Merkez) İçme Suyu Projesi Kapsamında Yapılan 1000 m^3 Hacminde, Dikdörtgen Kesitli Betonarme Bir Deponun Cidarlarına ve Taban Plağına Donatı Yerleştirilmesi

3.3. DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARININ DAVRANIŞLARI VE YAPISAL ÇÖZÜMLEME YÖNTEMLERİ

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının yapısal çözümleri plak teorilerine göre yapılabilmektedir. Zira, depo cidarları ve taban plağı, kendi düzlemlerine dik olarak etkiyen sıvı basıncı altında genellikle iki doğrultuda eğilmeye çalışmaktadır. Ancak cidarların ve taban plağının ayırık ya da birleşik olarak hesaplanmalarında süreklilik etkilerini (mesnet koşullarını) gerçekçi olarak dikkate almak oldukça güç olmaktadır. Bu güçlükler dışında cidarlar, taban ve varsa tavan plaklarını elastik plak teorisi ya da plastik mafsal çizgileri teorisiyle hesaplamakda bir zorluk bulunmamaktadır.

Bu depoların yapısal çözümlemesinde kullanılan bazı yöntemler:

- Yatay ya da düşey şeritler yöntemi,
- Amerikan standartlarındaki katsayılar yöntemi,
- Sonlu elemanlar yöntemi,
- Plastik mafsal çizgileri yöntemi,

olarak sıralanabilir. Bu yöntemler Bölüm 4, 5, 6 ve Bölüm 7 de ayrıntılarıyla irdelenmekte ve bu yöntemlerle yapılan sayısal uygulamalardan elde edilen sonuçlar her bir bölümün sonunda verilmekte, bu sonuçların karşılaştırılmaları ise bölüm 8 de yapılmaktadır.

3.4. DİKDÖRTGEN KESİTLİ DEPOLARIN ÜSTÜNLÜKLERİ VE SAKINCALARI

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depoları yukarıda da belirtildiği gibi, toplumun ihtiyacı olan içme ve kullanım suyunu ya da sanayide gerekli sıvıları depolamak için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu depoların cidarları çekme kuvvetiyle beraber eğilme momentinin de etkisindedir. Bu durum dikdörtgen kesitli depoların, cidarları sadece çekme kuvvetinin etkisinde bulunan dairesel kesitli sıvı depolarına göre sakıncalı bir yanını oluşturmaktadır. Ancak, deri, kağıt, boyama gibi sanayi ihtiyaçları için birbiriyle

bitişik nizamda çok gözlü depoların inşası gerekli olduğunda dikdörtgen kesitli depolar, bu inşaat için ayrılan alanı kayıpsız olarak kullanmaya imkan vermektedir. Bu husus dairesel kesitli depolara göre üstün bir yanlarını teşkil etmektedir.

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının yapısal çözümlemesinde mesnet koşullarının gerçekçi bir şekilde dikkate alınması dairesel kesitli depolara göre çok daha zor olmaktadır. Zira, bu depo cidarlarının ortak düşey kenarlarının mesnetlenme koşulları yapısal çözümlemelerde gerekli olmakta, oysa dairesel kesitli depolarda tavan ve taban plaklarından yeterli uzaklıktaki bölgelerde bu koşullara gerek bulunmamaktadır. Dikdörtgen kesitli depolarda cidarın üst kenarlarının, bu cidarlar rijitleştirici elemanlarla takviye edilmemişse, serbest mesnetli olarak kabul edilmesi gerçeğe uygun olmaktadır. Aksi taktirde cidarların eğilme ve dönme dayanımları artırıldığından sözkonusu kenarları serbest ya da tam mesnetli olarak kabul edilmesi gerçekçi olmamaktadır. Zira bu mesnet elastik mesnet olmakla beraber tam ankastre mesnet de değildir. Bu durum, hesaplarda bu kenarların gerçek davranışlarının dikkate alınmasını imkansız denecek kadar zor olduğunu göstermektedir.

Depo cidarlarının taban plağı üzerindeki mesnetleri ne tam basit ne de tam ankastredir. Zira, nadir olmakla beraber burada ancak, gerçek bir mafsal teşkil edilmişse basit mesnet kabulü gerçeğe yakın olmaktadır. Taban plağı ile cidarların yekpare olarak inşa edilmesi genel durumunda ise sözkonusu mesnetlerde bir ankastrelik etkisi bulunmakla beraber, temel zemini reaksiyonlarının etkisinden dolayı bu ankastrelik ideal ankastrelik mertebesinde değildir. Ne varki temel zemininin sağlam bir kaynaç olması ile olmaması hallerinde, sözkonusu mesnetleri ankastre kabul etmek arasında önemli derecede fark bulunduğu bir gerçektir. Dairesel kesitli sıvı depolarının yapısal çözümlemelerinde de benzer zorluklar bulunmakla beraber bunlar dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının daha fazladır.

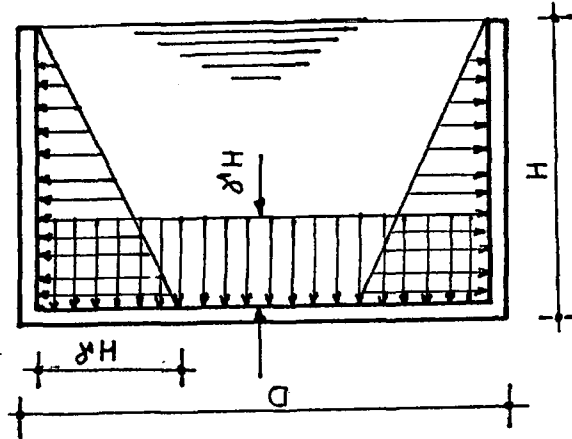
BÖLÜM 4

DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARININ YATAY VE DÜŞEY ŞERİTLER YÖNTEMİNE GÖRE YAPISAL ÇÖZÜMLEMESİ

4.1. GİRİŞ

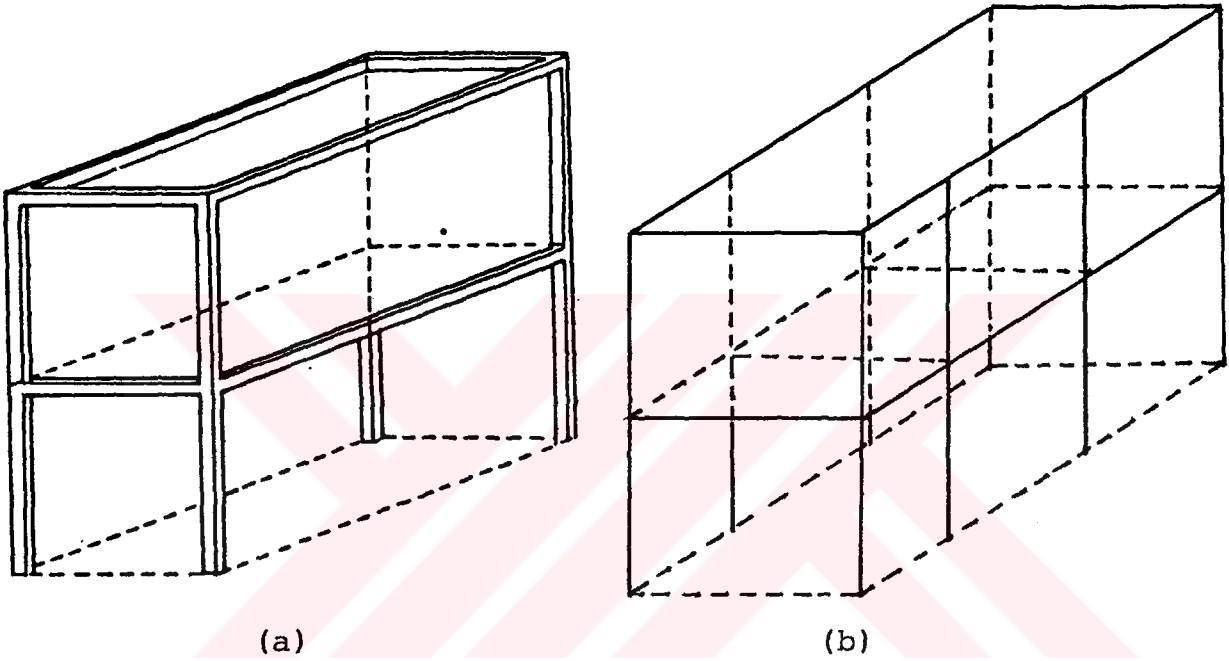
Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının yapısal çözümlemesi yatay ve düşey şeritler yöntemine göre de yapılmaktadır. Depoların taban plakları depolanan sıvının ağırlığından doğan eşyayılı, cidarları ise hidrostatik basınç etkisindedir (Şekil 4.1).

Dikdörtgen kesitli sıvı depoları uygulamada bazen ayaklar üzerine de inşa edilmektedir (Şekil 4.2a). Bu tür depolarda taban plakları çerçevesi boyunca kirişli ya da kirişsiz olabilmektedir. Benzer şekilde cidarlar da üst kenarları boyunca kirişli ya da kirişsiz olarak inşa edilebilmektedir. Dikdörtgen kesitli sıvı depolarının birer kenarlarının diğerine göre fazla uzun olması durumunda, uzun kenarlara ara kolonlar konabilir (Şekil 4.2b). Bu ara kolonlar cidarların üst kenarlarına kadar da uzatılabilmekte ve varsa buradaki kirişlere mesnet teşkil etmektedirler.



Şekil 4.1. Dikdörtgen Kesitli Sıvı Depolarında Yük Etkisi

Bazen bu ara kolonlar cidar üst kenarlarından kirişler ile bağlanmaktadır. Benzer şekilde bu bağlantı depo taban plağında da yapılabilmektedir. Bu şekilde kapalı çerçeveler ortaya çıkmaktadır. Dikdörtgen kesitli depolar üstü açık ya da kapalı olarak yapılabilmektedir. Bu depoların, cidar kenarlarının oranlarına bağlı olarak, yapısal çözümlerini yatay şeritler ya da dikey şeritler yöntemi ile yapılabilmektedir.



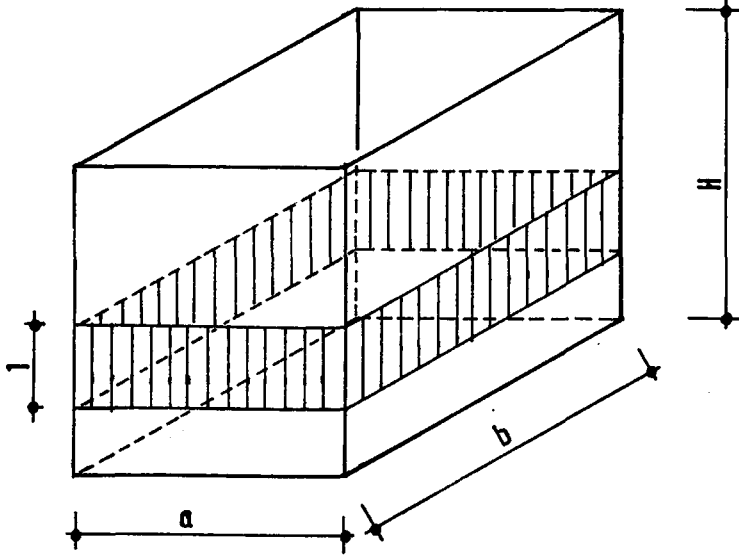
Şekil 4.2. Ayaklar Üzerine İnşa Edilmiş Dikdörtgen Kesitli Betonarme Sıvı Deposu Şemaları

Bu bölümde yatay ve dikey şeritler yöntemlerinin temel ilkeleri üzerinde durulmakta ve bu yöntemlere göre dikdörtgen kesitli bir betonarme sıvı deposunun yapısal çözümü verilmektedir.

4.2. YATAY ŞERİTLER YÖNTEMİ

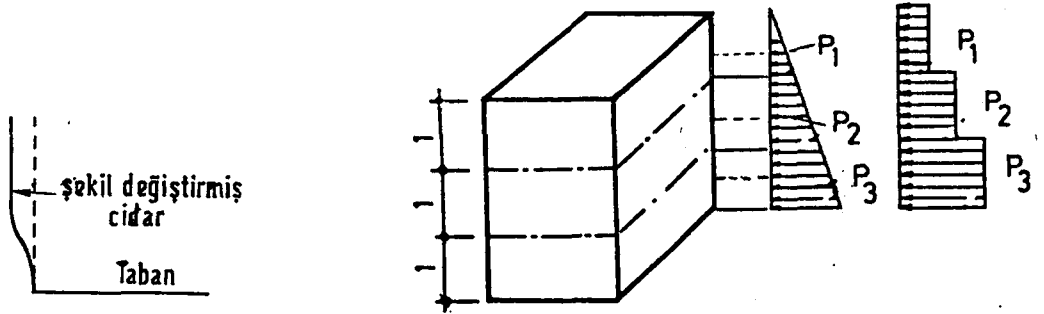
Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının yaklaşık hesabında yatay şeritler yöntemi, deponun derinliğinin büyük ve yatay boyutların derinliğe oranla küçük olması durumunda kullanılması daha uygun olmaktadır. Bu durumda cidarların plak olarak çalışmaları daha çok yatay doğrultuda olduğundan, bu tür depoları

yatay şeritler yöntemiyle hesaplamak oldukça gerçekçi olmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Dikdörtgen Depolarda Yatay Şeritlerin Şematik Gösterilimi

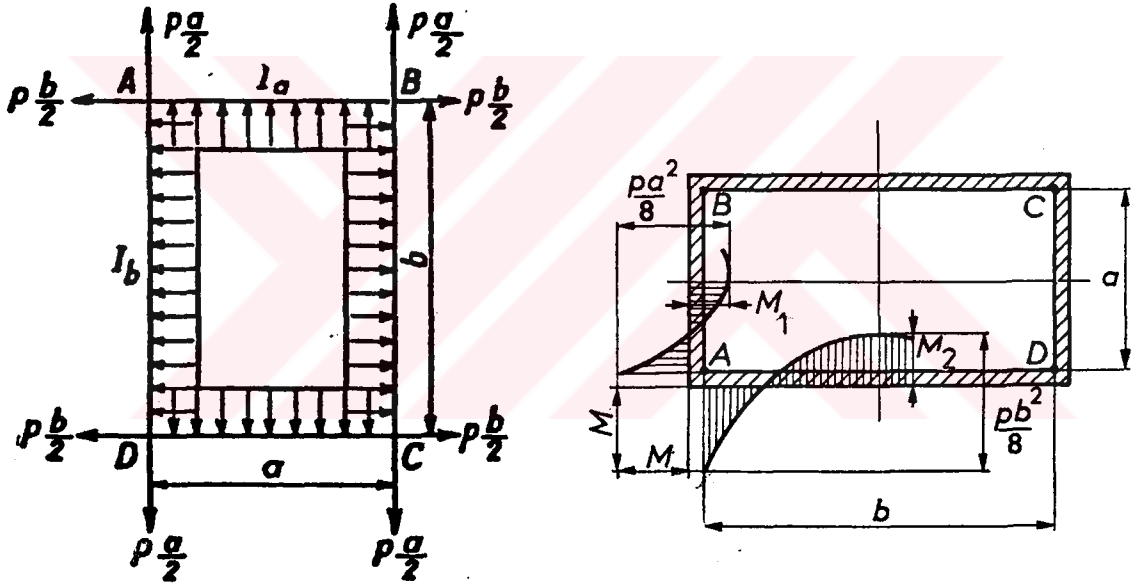
Bu yöntemle yapısal çözümlene depo cidarları üzerinde alınan 1.00 m genişliğindeki yatay şeritler üzerinde yapılmaktadır. Taban plağının cidarlar üzerindeki ankastrelik etkisi küçük bir bölgede kaldığından çözüm daima uygun sonuçlara götürmektedir (Şekil 4.4). Örneğin, tabandan itibaren alınan 1.00 m genişliğindeki şerit $P = \gamma \cdot h$ ortalama sıvı basıncı etkisindedir. Bu durumda eşit yayılı yük etkisinde kapalı bir dikdörtgen çerçeve elde edilmektedir. Bu şeritlerde hesaba esas olacak basınç şeritin alt kenarındaki basınç olarak ya da ortasındaki basınç olarak alınabilir (Şekil 4.5). Hesapta, şeritin alt kenarındaki basınç dikkate alındığında emniyetli fakat ekonomik olmayan bir çözüm,



Şekil 4.4. Taban Plağının Cidarlara Ankastrelik Etkisi

Şekil 4.5. Yatay Şeritler Yönteminde Dikkate Alınacak Sıvı Basıncı

ortasındaki basıncın dikkate alınması halinde ise, şeritin alt yarısı için biraz emniyetsiz üst yarısı için ise gereğinden fazla emniyetli bir çözüm elde edilmektedir. Bu durumda emniyeti az gibi görünen alt yarım şerit, emniyeti gerekenden fazla olan onun altındaki üst yarım şeritle bir bütün meydana getirdiğinden ortalama basıncın dikkate alınması uygun olmaktadır (Doğangün, 1989). Dikdörtgen sıvı deposunun yatay şeritler yöntemi ile hesabında, kapalı çerçeveye eşit yayılı iç basıncın etkimesi halinde köşe momentleri hazır çizelgelerden alınabileceği gibi herhangi bir yapısal çözümleme yöntemiyle de hesaplanabilmektedir. Şekil 4.6 da kapalı bir çerçeveye içten etkiyen basınç ve bundan dolayı oluşan moment diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.6. Yatay Şeritlerde Yük Etkisi ve Moment Diyagramı

I_a ve I_b sırasıyla a ve b kenarlarının eylemsizlik momentlerini ve $K=I_b/I_a$ yı göstermek üzere köşe momentleri;

$$M = M_A = M_B = M_C = M_D = -\frac{P}{12} \cdot \frac{Ka^3 + b^3}{Ka + b} \quad (4.1)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada a ve b kenarlarının kalınlıkları t_a ve t_b ile gösterilirse;

$$I_a = \frac{t_a^3}{12}; \quad I_b = \frac{t_b^3}{12} \quad (t_a \text{ ve } t_b \text{ metre cinsindedir})$$

değerini almakta, dolayısıyla da K,

$$K = \left(\frac{t_b}{t_a}\right)^3$$

olmaktadır. Bu durumda maksimum açıklık momentleri,

$$M_1 = \frac{Pa^2}{8} + M_A \quad (4.2)$$

$$M_2 = \frac{Pb^2}{8} + M_B \quad (4.3)$$

bağıntıları ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntılarda M_A ve M_B mesnet momentleri işaretleriyle yerine konacaktır. Dikdörtgen kesitli depoların büyük cidardaki M_2 açıklık momenti daima pozitifdir. Buna karşılık küçük kenardaki M_1 momenti için pozitif durumdan başka iki durum söz konusudur (Guerrin, 1968).

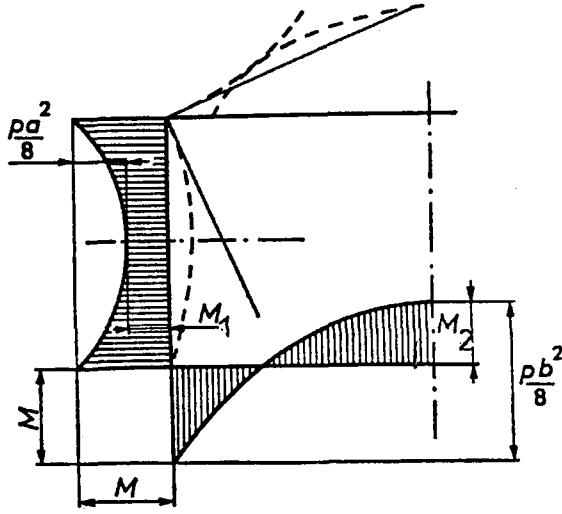
- 1) $\frac{Pa^2}{8} - M = 0$ olabilir. Bu durum (4.1) bağıntısındaki M değeri yerine konur ve b/a yalnız bırakılırsa, b/a=1.31 değeri için meydana gelmektedir.
- 2) b/a > 1.31 için ise $M_1 < 0$ olmakta dolayısıyla da küçük cidarın tümü içten çekme etkisinde kalmaktadır (Şekil 4.7). Bu tip depolar kapalıda olabilmektedir. Bu durumda tavan plağı taban plağının etkisini yapmakta dolayısıyla da cidarlar düşey doğrultuda da moment etkisinde kalmaktadır. Ancak, buradaki sıvı basıncı çok küçük olduğundan, bu momentler ihmal edilecek mertebededir. Depo kesitlerinde momentlerden başka kesme kuvvetleri de mevcuttur. Kesit hesaplarında bu etkilerinde dikkate alınması gerekmektedir (Doğangün, 1989). Bu kesme kuvvetleri

$$a \text{ kenarında, } V = \frac{Pa}{2} \quad (4.4)$$

$$b \text{ kenarında, } V = \frac{Pb}{2} \quad (4.5)$$

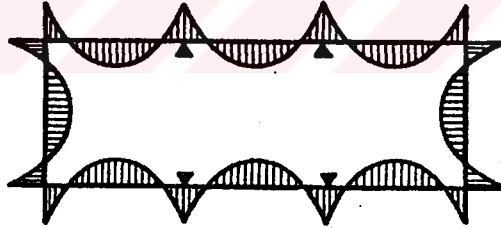
bağıntıları ile hesaplanmaktadır (Şekil 4.6a).

Görüldüğü gibi küçük cidarların kesme kuvvetleri büyük cidarlara, büyük cidarlarınkiler ise küçük cidarlara aksenal çekme kuvveti olarak etkimektedir. Bu nedenle kesit hesapları bileşik eğilmeye göre yapmak uygun olmaktadır.



Şekil 4.7. $b/a > 1.31$ için Şematik Moment Diyagramı

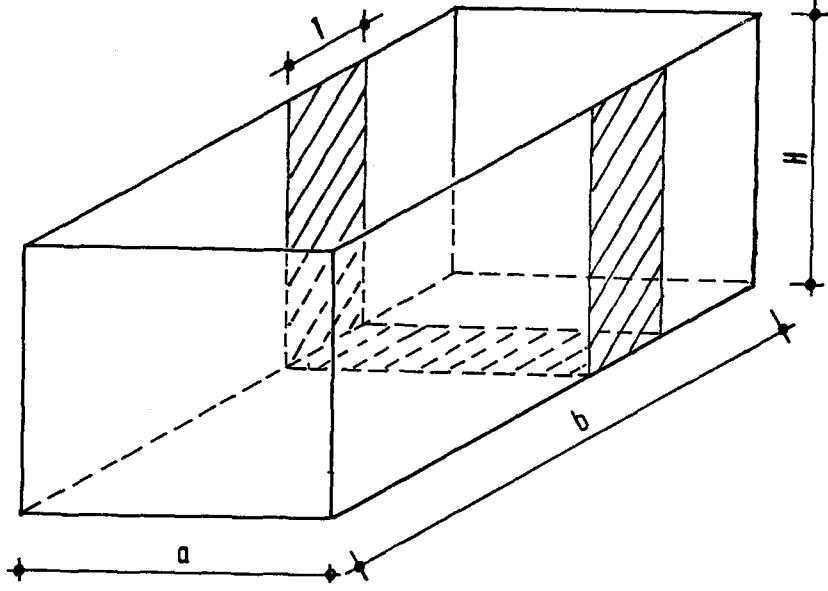
Daha öncede belirtildiği gibi dikdörtgen kesitli depoların bir kenarının diğerine göre fazla uzun olması halinde sadece köşelerde kolonların bulunması yeterli olmayacağından ara kolonların da yerleştirilmesi gerekli olmaktadır. Bu durumda yatay şeritler bu ara kolonlara da mesnetlendiğinden moment diyagramı Şekil 4.8 deki şekli almaktadır.



Şekil 4.8. Uzun Cidarlarda Ara Mesnetler Bulunması Halinde Cidarların Şematik Moment Diyagramı

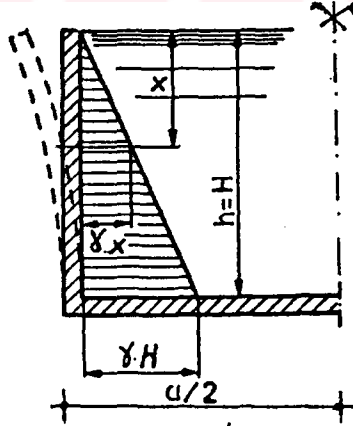
4.3. DÜŞEY ŞERİTLER YÖNTEMİ

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının yapısal çözümlemesinde deponun yatay boyutlarının, yüksekliğine göre büyük olması halinde düşey şeritler yönteminin kullanılması uygun olmaktadır. Bu yöntemde birim genişlikte düşey şeritler dikkate alınmakta ve bunlar üst uçlarını ekirişsizse konsol plak, kirişli ise (ya da kapalı depo halinde) bir doğrultuda çalışan bir plak olarak çözülmektedir.



Şekil 4.9. Dikdörtgen Kesitli Sıvı Depolarında Düşey Şeritlerin Şematik Gösterilimi

γ depolanan sıvının birim ağırlığını göstermek üzere depo üst yüzeyinden itibaren herhangi bir x derinliğinde basınç γx değerini, taban plağı üzerinde ise γH değerini almaktadır (Şekil 4.10). Bu durumda toplam basınç kuvveti $\gamma H^2/2$ olmakta ve bunun taban plağı ile düşey cidarının ara kesitindeki momenti;



Şekil 4.10. Düşey Şeritler Yönteminde Yük Etkisi

$$M = -\frac{\gamma H^3}{6} \quad (4.6)$$

bağıntısı, herhangi bir x derinliğindeki moment ise;

$$M_x = \frac{\gamma x^3}{6} \quad (4.7)$$

bağıntısıyla hesaplanabilmektedir.

Bu yöntemle göre herhangi bir x derinliğindeki kesme kuvveti;

$$V_x = \frac{\gamma x^2}{2} \quad (4.8)$$

bağıntısı, taban plağı üst yüzeyindeki maksimum kesme kuvveti ise;

$$V_{\max} = \frac{\gamma H^2}{2} \quad (4.9)$$

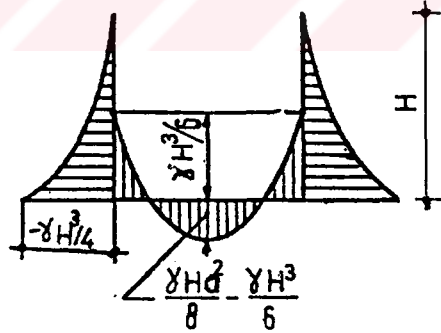
bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Taban plağının basit mesnetli olması halinde açıklık momenti;

$$M = \frac{\gamma H a^2}{8} \quad (4.10)$$

bağıntısıyla, cidarlarla ankastre olması halinde ise;

$$M = \left(\frac{\gamma H a^2}{8} - \frac{\gamma H^3}{6} \right) \quad (4.11)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Bu son duruma ilişkin şematik moment diyagramı Şekil 4.11 de verilmektedir. Sağlam bir kayaca oturması halinde taban plağında eğilme momentlerinin meydana gelmeyeceği açıktır.



Şekil 4.11. Taban Plağı ile Cidarların Ankastre Olması Halinde Şematik Moment Diyagramı

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının, üstlerinin kapalı olması durumunda yapısal çözümlenmeleri, daha önce de belirtildiği gibi, tavan ve taban plakları üzerinde mesnetli, birim genişlikli düşey şeritler dikkate alınarak yapılabilmektedir. Burada mesnet koşullarına bağlı olarak üç durum söz konusudur (Guerrin, 1968):

1. Durum: Depo cidarlarının üst ve alt kenarlarının basit mesnetli olması durumu (Şekil 4.12).

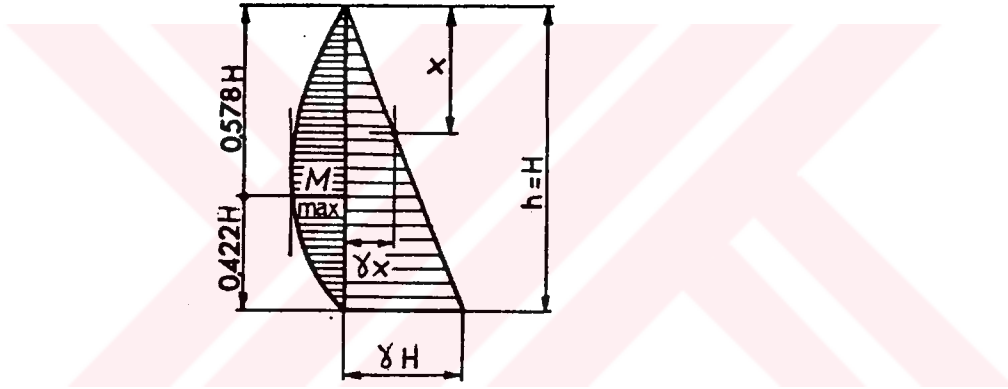
Bu durumda üst ve alt kenarlardaki mesnet reaksiyonları sırasıyla, $\gamma H^2/6$, $\gamma H^2/3$ değerindedir. Herhangi bir x derinliğindeki eğilme momenti ise,

$$M_x = \frac{\gamma H^2}{6} x \left(1 - \frac{\gamma x^2}{H^2}\right) \quad (4.12)$$

bağıntısı ile hesaplanır. $x = H/\sqrt{3}$ ($=0.578 H$) için bu moment

$$M = \frac{\gamma H^3}{15.5} \quad (4.13)$$

maksimum değerini almaktadır.



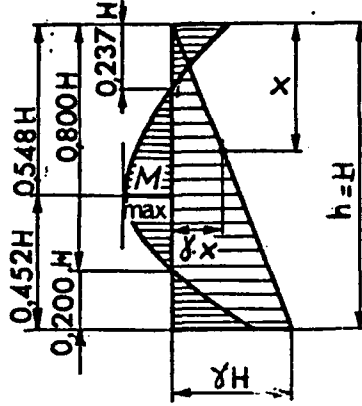
Şekil 4.12. Depo Cidarlarının Üst ve Alt Kenarlarından Basit Mesnetli Olması Hali

2. Durum: Depo Cidarlarının üst ve alt kenarlarının ankastre olması durumu (Şekil 4.13).

Bu durumda üst ve alt kenarlardaki mesnet reaksiyonları sırasıyla; $3\gamma H^2/20$, $7\gamma H^2/20$ değerindedir. Herhangi bir x derinliğindeki eğilme momenti ise;

$$M_x = \frac{\gamma H^3}{2} \left(\frac{1}{15} - \frac{3x}{10H} + \frac{x}{3H^3} \right) \quad (4.14)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Üst ve alt kenarlardaki ankastrelik momentleri sırasıyla $x=0$ ve $x=H$ için



Şekil 4.13. Depo Cidarlarının Alt ve Üst Kenarlarından Ankastre Olması Hali

$$M_{\text{ü}} = -\gamma H^3/30$$

ve

$$M_{\text{a}} = -\gamma H^3/20$$

(4.15)

değerlerini almaktadır. (4.14) bağıntısında gerekli işlemler yapılırsa maksimum açıklık momenti,

$$M = \gamma H^3/26.6$$

(4.16)

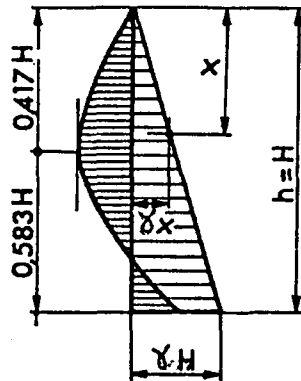
değerini alır. Herhangi bir x derinliğinde kesme kuvveti ise,

$$V_x = \frac{\gamma H^2}{2} \left(-\frac{3}{10} \frac{x}{H} + \frac{x^2}{H^3} \right)$$

(4.17)

bağıntısı ile hesaplanır.

3. Durum: Depo cidarlarının üst kenarının basit mesnetli, alt kenarının ankastre olması durumu (Şekil 4.14)



Şekil 4.14. Depo Cidarlarının Üst Kenarından Basit Mesnetli, Alt Kenarından Ankastre Mesnetli Olması Hali

Bu durumda üst ve alt kenarlardaki mesnet reaksiyonları sırasıyla, $2\gamma H^2/5$, $\gamma H^2/10$ değerindedir. Herhangi bir x derinliğindeki eğilme momenti ise;

$$M_x = \frac{\gamma H^2}{2} x \left(\frac{1}{5} - \frac{x^2}{3H^2} \right) \quad (4.18)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Alt kenardaki ankastrelik momenti;

$$M = -\gamma H^3/15 \quad (4.19)$$

değerini almaktadır. Maksimum açıklık momenti ise;

$$M = \frac{\gamma H^3}{33.76} \quad (4.20)$$

bağıntısı ile, herhangi bir x derinliğinde kesme kuvveti ise,

$$V_x = -\frac{\gamma x}{3} \quad (4.21)$$

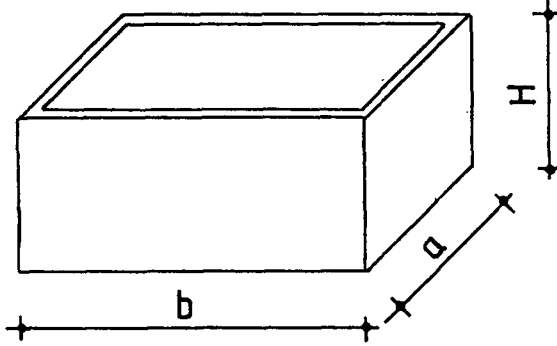
bağıntısı ile hesaplanır.

Görüldüğü gibi üstü kapalı dikdörtgen kesitli betonarme bir sıvı deposunun düşey şeritler yöntemiyle yapısal çözümlemesindeki zorluk, sınır koşullarınının gerçekçi bir şekilde belirlenmesinde bulunmaktadır. Yapısal çözümlemede mesnet koşulları için yapılan varsayımlar, deponun inşasında da gerçekleştirilebiliyorsa bu çözümden elde edilen sonuçların sağlıklı olacağı açıktır. Ancak söz konusu sınır koşullarınının inşaat anında tam olarak teşkil edilemeyeceği de bir gerçektir. Bu da kesin çözümün imkansız denecek kadar zor olduğunu göstermektedir. Durum böyle olmakla beraber bu tip depoların yapısal çözümlemesi genellikle cidarların üst kenarlarından basit mesnetli, alt kenarlarından ankastre oldukları kabulüne göre yapılmaktadır (Şekil 4.14).

SAYISAL UYGULAMA: 4.1. Yatay ve Düşey Şeritler Yöntemine Göre Dikdörtgen Kesitli Betonarme Bir Su Deposunun Yapısal Çözümlemesi

Depo iç boyutları olarak $a=6.10$ m, $b=12.20$ m, $H=4.90$ m olan dikdörtgen kesitli bir su deposunun tam dolu halde ($h=H$) yapısal

çözümlemesi, ileride yapılacak karşılaştırmalara imkan tanımak amacıyla, yatay ve düşey şeritler yöntemine göre yapılmaktadır.



Şekil 4.15

A) Düşey Şeritler Yöntemine Göre

Bu yöntemle göre yapısal çözümlemede depo cidarlarının

a) Üst kenarlarından serbest, alt kenarlarından ankastre mesnetli,

b) Üst ve alt kenarlarından basit mesnetli

c) Üst kenarlarından basit, alt kenarlarından ankastre mesnetli olması durumları dikkate alınmaktadır.

a) şıkkındaki mesnet koşulları için çözüm:

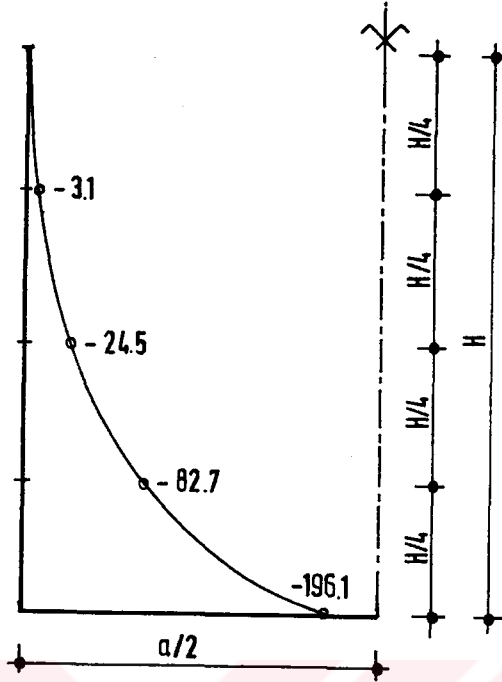
Bu durumda (4.7) bağıntısıyla, deponun üst kenarından itibaren $x = \frac{1}{4}H$, $\frac{1}{2}H$, $\frac{3}{4}H$ ve H derinliklerinde hesaplanan momentler Çizelge 4.1 ve Şekil 4.16 da verilmektedir.

Çizelge 4.1. Depo Cidarlarının Üst Kenarlarından Serbest, Alt Kenarlarından Ankastre Olması Durumunda Momentler

| x/H | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
|---------------------|------|-------|-------|--------|
| MOMENTLER (kN.m) | -3.1 | -24.5 | -82.7 | -196.1 |

b) şıkkındaki mesnet koşulları için çözüm:

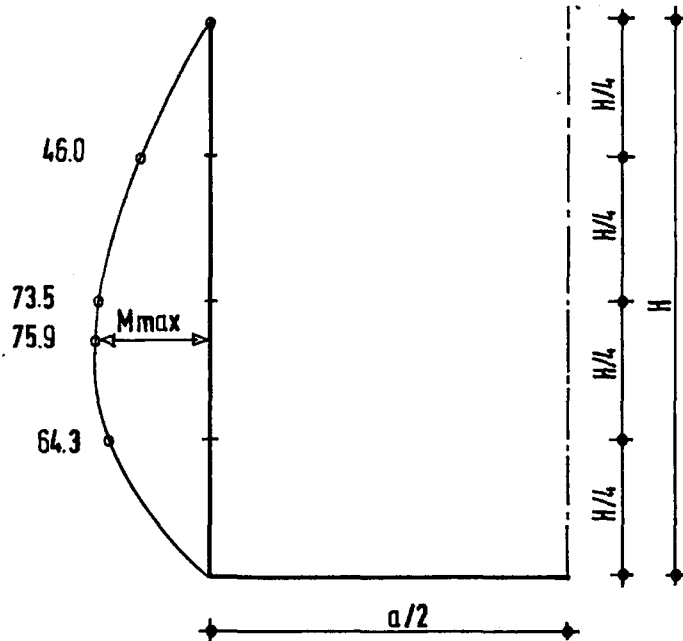
Bu durumda (4.12) bağıntısıyla, depo üst kenarından itibaren $x = \frac{1}{4}H$, $\frac{1}{2}H$, $\frac{3}{4}H$ ve H derinliklerinde hesaplanan momentler Çizelge 4.2 ve Şekil 4.17 de verilmektedir.



Şekil 4.16. Çizelge 4.1. deki Değerlere Göre Çizilen Moment Diyagramı

Çizelge 4.2. Depo Cidarlarının Üst ve Alt Kenarından Basit Mesnetli Olması Durumunda Momentler

| x/H | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
|--|------|------|------|------|
| MOMENTLER (kN.m) | 46.0 | 73.5 | 64.3 | 0 |
| $x = 0.578 H$ için $M = M_{\max} (=75.9 \text{ kN.m})$ | | | | |



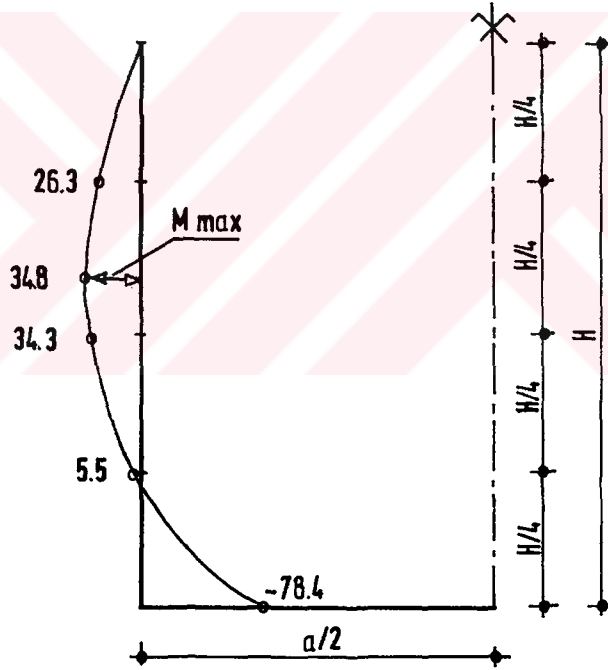
Şekil 4.17. Çizelge 4.2 deki Değerlere Göre Çizilen Moment Diyagramı

c) şıkkındaki mesnet koşulları için çözüm:

Bu durumda, (4.18) bağıntısıyla, deponun üst kenarından itibaren $x=1/4H$, $1/2H$, $3/4H$ ve H derinliklerinde hesaplanan momentler Çizelge 4.3 ve Şekil 4.18 de verilmektedir.

Çizelge 4.3. Depo Cidarlarının Üst Kenarlarının Basit, Alt Kenarlarının Ankastre Olması Durumunda Momentler

| x/H | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
|---|------|------|------|-------|
| MOMENTLER (kN.m) | 26.3 | 34.3 | 5.5 | -78.4 |
| $x=0.417H$ için $M=M_{\max}$ (=34.8 kN.m) | | | | |



Şekil 4.18. Çizelge 4.3. deki Değerlere Göre Çizilen Moment Diyagramı

B) Yatay Şeritler Yöntemine Göre

Burada dikdörtgen kesitli betonarme su deposunun üst kenarlarından itibaren birim genişlikte dört şerit alınarak, oluşturulan dört kapalı çerçevenin yapısal çözümlemesinden elde edilen momentler Çizelge 4.4 de verilmektedir.

Çizelge 4.4. Yatay Şeritler Yöntemiyle Elde Edilen Momentler

| YATAY ŞERİTLER (m) | P (kN/m ²) | M _A =M _B (kN.m) | M ₁ (kN.m) | M ₂ (kN.m) |
|-----------------------|---------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| Birinci 0-1.225 | 6.13 | -57.0 | 22.81 | 108.35 |
| İkinci 1.225-2.45 | 18.4 | -171.17 | -85.59 | 171.18 |
| Üçüncü 2.45-3.675 | 30.6 | -284.67 | 142.34 | 284.64 |
| Dördüncü 3.675-4.90 | 42.9 | -399.08 | -199.54 | 399.07 |

BÖLÜM 5

DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARININ AMERİKAN STANDARDINDAKİ YÖNTEME GÖRE YAPISAL ÇÖZÜMLEMESİ

5.1. GİRİŞ

Dikdörtgen kesitli depoların cidarları birer plak olarak dikkate alınabilir. Çünkü, sıvı basıncı, deponun taban ve yan cidarlarına dik olarak etkimekte ve bundan dolayı cidarlarda iki doğrultuda eğilme momenti meydana gelmektedir. Ayrıca depo cidarlarında oluşabilecek çekme gerilmelerini hesaplamak için de kesme kuvvetinin belirlenmesi gerekir. Çünkü dikdörtgen deponun bir cidarında, düşey kenar boyunca oluşan kesme kuvveti, diğer cidara normal kuvvet olarak etki etmektedir. Bu da donatı hesabında momentle beraber normal kuvvetin de dikkate alınmasını gerektirmektedir.

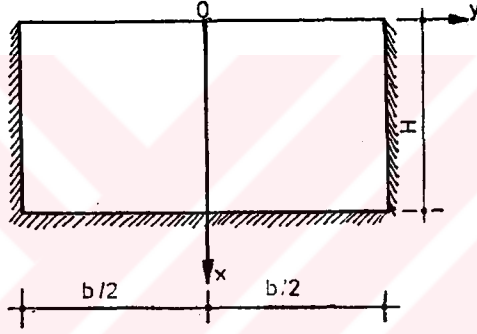
Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının yapısal çözümlemesi Amerikan standartlarında verilen yöntemle göre de yapılabilmektedir. Bu bölümde, sözkonusu standarda göre çeşitli mesnet koşulları için, moment ve kesme kuvveti katsayıları çizelgeler halinde verilmektedir.

5.2. MOMENT KATSAYILARI

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının yapısal çözümlemesi için kullanılan moment katsayıları, deponun bir plağında, düşey ayırıklar boyunca ankastre olan tek bir plak için hesaplanmıştır. Tek bir plak için hesaplanan bu katsayılar, cidarın düşey ayırıkları etrafında mümkün olabilecek bir dönmesi için düzeltilmiştir. Moment katsayıları hesabı üç mesnet koşulu için yapılmıştır. Düşey ayırıklar ankastre kabul edilmişken, diğer kenarlar için aşağıda verilen üç durum dikkate alınmıştır:

1. Durum: Üst kenar basit mesnetli-alt kenar basit mesnetli,
2. Durum: Üst kenar serbest-alt kenar basit mesnetli,
3. Durum: Üst kenar serbest-alt kenar ankastre mesnetli.

Bu mesnetlenme koşulları için moment katsayıları sırasıyla Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3 de verilmektedir. Bu çizelgelerde H cidarın yüksekliğini, b ise uzunluğunu göstermek üzere; moment katsayıları b/H oranlarının 3,0 den 0,5 e kadar dokuz farklı değeri için verilmektedir. Çizelgelerde kullanılan koordinat sistemde y eksenini cidarın üstünde yatay, x ekseninde cidarın ortasında aşağı doğru pozitif kabul edilmektedir (Şekil 5.1).

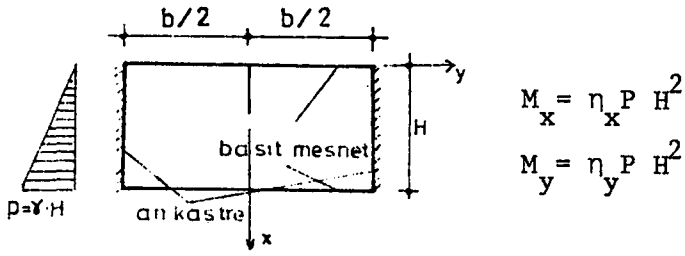


Şekil 5.1. Deponun Bir Cidarında Dikkate Alınan Koordinat Sistemi

Katsayılar, x ve y doğrultuları için, sıfır oldukları bilinen kenarlardan itibaren dörtte bir ve orta noktalarda verilmektedir. Diğer taraftan hesaplarda cidarın ince plak gibi davrandığı da kabul edilmektedir. Çizelge 5.4 de üniform yüklü ve dört kenarı basit mesnetli dikdörtgen plağın moment katsayıları verilmektedir. Bu çizelge bir gözlü dikdörtgen depolar için taban ve tavan plağının hesabı için kullanılmaktadır. Tavan plağının ara mesnetleri varsa, bu plak dört kenarından oturan plaklara uygulanabilen yapısal çözümlene yöntemleriyle hesaplanabilmektedir. Düşey kenarları ankastre bağımsız bir cidar için verilen katsayılar, (Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3), düşey ayrıtlar boyunca dönme meydana gelmemesi koşuluyla yekpare cidarlarda değiştirilmeksizin kullanılabilir. Bu nedenle kare kesitli depolarda bu katsayıların doğrudan kullanılması

uygun olmaktadır. Dikdörtgen bir sıvı deposu için ise bu katsayılar düzeltilerek kullanmak gerekmektedir. Bu düzeltme, bir çerçeve ankastrelik momentinin düzeltilmesi esasına göre, moment dağıtma yöntemiyle yapılarak Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6 da verilmektedir. Bu düzeltme yönteminde, yanyana iki plağın ortak kenarları ilk olarak, herhangi bir müdahale ile dönmesine engel olduğu kabulüyle başlanır. Bu ortak kenarlar boyunca Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3 den alınan ankastrelik momentleri, genellikle bitişik plaklarda farklı ve dengelenmemiş momentlere karşılık gelen farkları bu kenarı döndürmeye zorlamaktadır. Eğer kenarın dönmesini engelleyen müdahale kalkarsa bu fark, plaklarda ilave momentler meydana getirir. Böylece bulunan momentler, ortak kenarlar boyunca ankastrelik momentlerine eklenerek kenarın her iki tarafında eşit olması gereken düzeltilmiş momentler elde edilmektedir. Bu işlem payandası ile beraber taban plağıyla yekpare bir bütün teşkil eden plaklara uygulanmaktadır. Moment dağıtma yöntemi depoların cidarlarına, çerçeve yapılarda olduğu gibi basitçe uygulanamaz. Çünkü momentleri, cidarların uzunlukları boyunca her iki doğrultuda eşitleyerek aynı zamanda dağıtmak gerekmektedir. Ancak, bu standartta momentler sadece beş noktada dağıtılıp, dengeleyerek problem basitleştirilmiş ve belirli bir ölçüde yaklaşım sağlanmıştır. Bu beş nokta, dikkate alınan cidarın uçlarında, dörtte birinde ve ortasında bulunmaktadır. Yanyana iki cidarın toplam momentleri bu beş noktada eşitlenmiş ve diğer noktadaki momentler bu sonuçlara göre düzeltilmiştir. Düzeltilmiş bu katsayıları daha önce de belirtildiği gibi Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6 da verilmektedir (P.C.A., 1969).

Gömme bir dikdörtgen sıvı deposunda ise yerüstü depolarından ayrı olarak dışarıdan yanıl cidarlara toprak basıncı ve yeraltı su basıncıda etkimektedir. Gömme depolarda denetlenmesi gereken bi husus da yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda depo boşken yüzme tehlikesidir. Burada verilen çizelgeler (çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6) depoların sıvı ile dolu olması halinde kullanıldığı gibi deponun boş olduğu zaman toprak etkisinden dolayı meydana gelen etkilerin hesabında da kullanılabilir. Ancak, bu durumda çizelgelerden alınan katsayıların işaretlerinin değiştirilmesi gerekir (P.C.A., 1969).

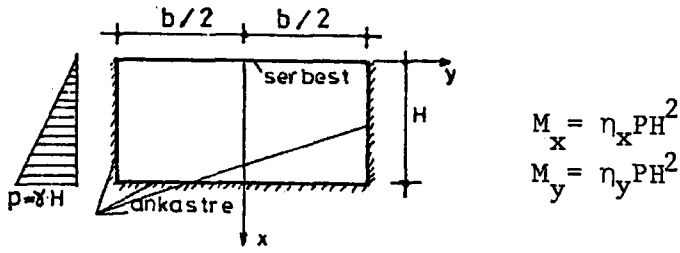
Çizelge 5.1. Plak Moment Hesabı İçin η Katsayıları

| b/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | |
|------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y |
| 3.00 | 0.00 | | | | | | |
| | 0.25 | 0.035 | 0.010 | 0.026 | 0.011 | -0.008 | -0.039 |
| | 0.50 | 0.057 | 0.016 | 0.044 | 0.017 | -0.013 | -0.063 |
| | 0.75 | 0.051 | 0.013 | 0.041 | 0.014 | -0.011 | -0.055 |
| 2.50 | 0.00 | | | | | | |
| | 0.25 | 0.031 | 0.011 | 0.021 | 0.010 | -0.008 | -0.038 |
| | 0.50 | 0.052 | 0.017 | 0.036 | 0.017 | -0.012 | -0.062 |
| | 0.75 | 0.047 | 0.015 | 0.036 | 0.014 | -0.011 | -0.055 |
| 2.00 | 0.00 | | | | | | |
| | 0.25 | 0.025 | 0.013 | 0.015 | 0.009 | -0.007 | -0.037 |
| | 0.50 | 0.042 | 0.020 | 0.028 | 0.015 | -0.012 | -0.059 |
| | 0.75 | 0.041 | 0.016 | 0.029 | 0.013 | -0.011 | -0.053 |
| 1.75 | 0.00 | | | | | | |
| | 0.25 | 0.020 | 0.013 | 0.012 | 0.008 | -0.007 | -0.035 |
| | 0.50 | 0.036 | 0.020 | 0.023 | 0.013 | -0.011 | -0.057 |
| | 0.75 | 0.036 | 0.017 | 0.025 | 0.012 | -0.040 | -0.051 |
| 1.50 | 0.00 | | | | | | |
| | 0.25 | 0.015 | 0.013 | 0.008 | 0.007 | -0.006 | -0.032 |
| | 0.50 | 0.028 | 0.021 | 0.016 | 0.011 | -0.010 | -0.052 |
| | 0.75 | 0.030 | 0.017 | 0.020 | 0.011 | -0.010 | -0.048 |
| 1.25 | 0.00 | | | | | | |
| | 0.25 | 0.009 | 0.012 | 0.005 | 0.006 | -0.006 | -0.028 |
| | 0.50 | 0.019 | 0.019 | 0.011 | 0.009 | -0.009 | -0.045 |
| | 0.75 | 0.023 | 0.017 | 0.014 | 0.009 | -0.009 | -0.043 |
| 1.00 | 0.00 | | | | | | |
| | 0.25 | 0.005 | 0.009 | 0.002 | 0.003 | -0.004 | -0.020 |
| | 0.50 | 0.011 | 0.016 | 0.006 | 0.006 | -0.007 | -0.035 |
| | 0.75 | 0.016 | 0.014 | 0.009 | 0.007 | -0.007 | -0.035 |
| 0.75 | 0.00 | | | | | | |
| | 0.25 | 0.001 | 0.006 | 0.000 | 0.002 | -0.002 | -0.012 |
| | 0.50 | 0.005 | 0.011 | 0.002 | 0.003 | -0.004 | -0.022 |
| | 0.75 | 0.009 | 0.011 | 0.005 | 0.005 | -0.005 | -0.025 |
| 0.50 | 0.00 | | | | | | |
| | 0.25 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.001 | -0.001 | -0.005 |
| | 0.50 | 0.001 | 0.005 | 0.001 | 0.001 | -0.002 | -0.010 |
| | 0.75 | 0.004 | 0.007 | 0.002 | 0.001 | -0.003 | -0.014 |

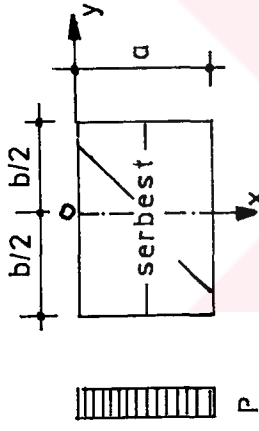
Çizelge 5.2. Plak Moment Hesabı İçin η Katsayıları

| b/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | |
|------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y |
| 3.00 | 0.00 | 0 | 0.070 | 0 | 0.027 | 0 | -0.196 |
| | 0.25 | 0.028 | 0.061 | 0.015 | 0.028 | -0.034 | -0.170 |
| | 0.50 | 0.049 | 0.049 | 0.032 | 0.026 | -0.027 | -0.137 |
| | 0.75 | 0.046 | 0.030 | 0.034 | 0.018 | -0.017 | -0.087 |
| 2.50 | 0.00 | 0 | 0.061 | 0 | 0.019 | 0 | -0.138 |
| | 0.25 | 0.024 | 0.053 | 0.010 | 0.022 | -0.026 | -0.132 |
| | 0.50 | 0.042 | 0.044 | 0.025 | 0.022 | -0.023 | -0.115 |
| | 0.75 | 0.041 | 0.027 | 0.030 | 0.016 | -0.016 | -0.078 |
| 2.00 | 0.00 | 0 | 0.045 | 0 | 0.011 | 0 | -0.091 |
| | 0.25 | 0.016 | 0.042 | 0.006 | 0.014 | -0.019 | -0.094 |
| | 0.50 | 0.033 | 0.036 | 0.020 | 0.016 | -0.018 | -0.089 |
| | 0.75 | 0.035 | 0.024 | 0.025 | 0.014 | -0.013 | -0.065 |
| 1.75 | 0.00 | 0 | 0.036 | 0 | 0.008 | 0 | -0.071 |
| | 0.25 | 0.013 | 0.035 | 0.005 | 0.011 | -0.015 | -0.076 |
| | 0.50 | 0.028 | 0.032 | 0.017 | 0.014 | -0.015 | -0.076 |
| | 0.75 | 0.031 | 0.022 | 0.021 | 0.012 | -0.012 | -0.059 |
| 1.50 | 0.00 | 0 | 0.027 | 0 | 0.005 | 0 | -0.052 |
| | 0.25 | 0.009 | 0.028 | 0.003 | 0.008 | -0.012 | -0.059 |
| | 0.50 | 0.022 | 0.027 | 0.012 | 0.011 | -0.013 | -0.063 |
| | 0.75 | 0.027 | 0.020 | 0.017 | 0.011 | -0.010 | -0.052 |
| 1.25 | 0.00 | 0 | 0.017 | 0 | 0.003 | 0 | -0.034 |
| | 0.25 | 0.005 | 0.020 | 0.002 | 0.005 | -0.008 | -0.042 |
| | 0.50 | 0.017 | 0.023 | 0.009 | 0.009 | -0.010 | -0.049 |
| | 0.75 | 0.021 | 0.017 | 0.013 | 0.009 | -0.009 | -0.044 |
| 1.00 | 0.00 | 0 | 0.010 | 0 | 0.002 | 0 | -0.019 |
| | 0.25 | 0.002 | 0.013 | 0.000 | 0.003 | -0.005 | -0.025 |
| | 0.50 | 0.010 | 0.017 | 0.005 | 0.006 | -0.007 | -0.036 |
| | 0.075 | 0.015 | 0.015 | 0.009 | 0.007 | -0.007 | -0.036 |
| 0.75 | 0.00 | 0 | 0.005 | 0 | 0.001 | 0 | -0.008 |
| | 0.25 | 0.001 | 0.008 | 0.000 | 0.002 | -0.003 | -0.013 |
| | 0.50 | 0.005 | 0.011 | 0.002 | 0.004 | -0.004 | -0.022 |
| | 0.75 | 0.010 | 0.012 | 0.006 | 0.004 | -0.005 | -0.026 |
| 0.50 | 0.00 | 0 | 0.002 | 0 | 0.000 | 0 | -0.003 |
| | 0.25 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.001 | -0.001 | -0.005 |
| | 0.50 | 0.002 | 0.006 | 0.001 | 0.002 | -0.002 | -0.010 |
| | 0.75 | 0.007 | 0.008 | 0.002 | 0.002 | -0.003 | -0.014 |

Çizelge 5.3. Plak Moment Hesabı İçin η Katsayıları

|  | | | | | | | |
|--|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| b/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | |
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y |
| 3.00 | 0.00 | 0 | 0.025 | 0 | 0.014 | 0 | -0.082 |
| | 0.25 | 0.010 | 0.019 | 0.007 | 0.013 | -0.014 | -0.071 |
| | 0.50 | 0.006 | 0.010 | 0.008 | 0.010 | -0.011 | -0.055 |
| | 0.75 | 0.033 | 0.004 | 0.018 | 0.000 | -0.006 | -0.028 |
| | 1.00 | 0.126 | 0.025 | 0.092 | 0.018 | 0 | 0 |
| 2.50 | 0.00 | 0 | 0.027 | 0 | 0.013 | 0 | -0.074 |
| | 0.25 | 0.012 | 0.022 | 0.007 | 0.013 | -0.013 | -0.066 |
| | 0.50 | 0.011 | 0.014 | 0.008 | 0.010 | -0.011 | -0.053 |
| | 0.75 | 0.021 | 0.001 | 0.010 | 0.001 | -0.005 | -0.027 |
| | 1.00 | 0.108 | 0.022 | 0.077 | 0.015 | 0 | 0 |
| 2.00 | 0.00 | 0 | 0.027 | 0 | 0.009 | 0 | -0.060 |
| | 0.25 | 0.013 | 0.023 | 0.006 | 0.010 | -0.012 | -0.059 |
| | 0.50 | 0.015 | 0.016 | 0.010 | 0.010 | -0.010 | -0.049 |
| | 0.75 | 0.008 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | -0.005 | -0.027 |
| | 1.00 | 0.086 | 0.017 | 0.059 | 0.012 | 0 | 0 |
| 1.75 | 0.00 | 0 | 0.025 | 0 | 0.007 | 0 | -0.050 |
| | 0.25 | 0.012 | 0.022 | 0.005 | 0.008 | -0.010 | -0.052 |
| | 0.50 | 0.016 | 0.016 | 0.010 | 0.009 | -0.009 | -0.046 |
| | 0.75 | 0.002 | 0.005 | 0.001 | 0.004 | -0.005 | -0.027 |
| | 1.00 | 0.074 | 0.015 | 0.050 | 0.010 | 0 | 0 |
| 1.50 | 0.00 | 0 | 0.021 | 0 | 0.005 | 0 | -0.040 |
| | 0.25 | 0.008 | 0.020 | 0.004 | 0.007 | -0.009 | -0.044 |
| | 0.50 | 0.016 | 0.016 | 0.010 | 0.008 | -0.008 | -0.042 |
| | 0.75 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 0.004 | -0.005 | -0.026 |
| | 1.00 | 0.060 | 0.012 | 0.041 | 0.008 | 0 | 0 |
| 1.25 | 0.00 | 0 | 0.015 | 0 | 0.003 | 0 | -0.029 |
| | 0.25 | 0.005 | 0.015 | 0.002 | 0.005 | -0.007 | -0.034 |
| | 0.50 | 0.014 | 0.015 | 0.008 | 0.007 | -0.007 | -0.037 |
| | 0.75 | 0.006 | 0.007 | 0.005 | 0.005 | -0.005 | -0.024 |
| | 1.00 | 0.047 | 0.009 | 0.031 | 0.006 | 0 | 0 |
| 1.00 | 0.00 | 0 | 0.009 | 0 | 0.002 | 0 | -0.018 |
| | 0.25 | 0.002 | 0.011 | 0.000 | 0.003 | -0.005 | -0.023 |
| | 0.50 | 0.009 | 0.013 | 0.005 | 0.005 | -0.006 | -0.029 |
| | 0.75 | 0.008 | 0.008 | 0.005 | 0.004 | -0.004 | -0.020 |
| | 1.00 | 0.035 | 0.007 | 0.022 | 0.005 | 0 | 0 |
| 0.75 | 0.00 | 0 | 0.004 | 0 | 0.001 | 0 | -0.007 |
| | 0.25 | 0.001 | 0.008 | 0.000 | 0.002 | -0.002 | -0.011 |
| | 0.50 | 0.005 | 0.010 | 0.002 | 0.003 | -0.003 | -0.017 |
| | 0.75 | 0.008 | 0.007 | 0.003 | 0.003 | -0.003 | -0.013 |
| | 1.00 | 0.024 | 0.005 | 0.015 | 0.003 | 0 | 0 |
| 0.50 | 0.00 | 0 | 0.001 | 0 | 0.000 | 0 | -0.002 |
| | 0.25 | 0.030 | 0.005 | 0.000 | 0.001 | -0.001 | -0.004 |
| | 0.50 | 0.002 | 0.006 | 0.001 | 0.001 | -0.002 | -0.009 |
| | 0.75 | 0.001 | 0.006 | 0.001 | 0.001 | -0.001 | -0.007 |
| | 1.00 | 0.015 | 0.003 | 0.008 | 0.002 | 0 | 0 |

Gözeğe 5.4. Dört Kenarından Basit Mesnetli Eşyayılı Yük Etkisinde Bir Plakta Moment Katsayıları



$M_x = \eta_x P a^2$
 $M_y = \eta_y P a^2$

| b/a | x/a | y=0 | | y=b/4 | |
|------|------|----------|----------|----------|----------|
| | | η_x | η_y | η_x | η_y |
| 3.00 | 0.25 | 0.099 | 0.022 | 0.077 | 0.025 |
| | 0.50 | 0.118 | 0.029 | 0.101 | 0.034 |
| 2.50 | 0.25 | 0.085 | 0.024 | 0.070 | 0.027 |
| | 0.50 | 0.112 | 0.032 | 0.092 | 0.037 |
| 2.00 | 0.25 | 0.076 | 0.027 | 0.161 | 0.028 |
| | 0.50 | 0.100 | 0.037 | 0.078 | 0.038 |
| 1.75 | 0.25 | 0.070 | 0.029 | 0.054 | 0.029 |
| | 0.50 | 0.091 | 0.040 | 0.070 | 0.039 |
| 1.50 | 0.25 | 0.061 | 0.031 | 0.047 | 0.029 |
| | 0.50 | 0.078 | 0.043 | 0.059 | 0.040 |
| 1.25 | 0.25 | 0.049 | 0.033 | 0.038 | 0.029 |
| | 0.50 | 8.063 | 0.044 | 0.047 | 0.039 |
| 1.00 | 0.25 | 0.036 | 0.033 | 0.027 | 0.027 |
| | 0.50 | 0.044 | 0.044 | 0.033 | 0.036 |
| 0.75 | 0.25 | 0.022 | 0.029 | 0.016 | 0.023 |
| | 0.50 | 0.025 | 0.038 | 0.018 | 0.030 |
| 0.50 | 0.25 | 0.010 | 0.020 | 0.007 | 0.015 |
| | 0.50 | 0.009 | 0.025 | 0.007 | 0.019 |

Çizelge 5.5. Dikdörtgen Depoları Moment Hesabı İçin η Katsayıları

| b/H=3.00 | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| a/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | | z=a/4 | | z=0 | |
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_z | η_x | η_z |
| 3.00 | 1/4 | 0.035 | 0.010 | 0.026 | 0.011 | -0.008 | -0.039 | 0.026 | 0.011 | 0.035 | 0.010 |
| | 1/2 | 0.057 | 0.016 | 0.044 | 0.017 | -0.013 | -0.083 | 0.044 | 0.017 | 0.057 | 0.016 |
| | 3/4 | 0.051 | 0.013 | 0.041 | 0.014 | -0.011 | -0.055 | 0.041 | 0.014 | 0.051 | 0.013 |
| 2.50 | 1/4 | 0.035 | 0.010 | 0.020 | 0.011 | -0.008 | -0.039 | 0.021 | 0.010 | 0.031 | 0.011 |
| | 1/2 | 0.057 | 0.016 | 0.044 | 0.017 | -0.012 | -0.062 | 0.036 | 0.017 | 0.052 | 0.017 |
| | 3/4 | 0.051 | 0.013 | 0.041 | 0.014 | -0.011 | -0.055 | 0.036 | 0.014 | 0.047 | 0.014 |
| 2.00 | 1/4 | 0.035 | 0.010 | 0.026 | 0.011 | -0.008 | -0.038 | 0.015 | 0.010 | 0.025 | 0.013 |
| | 1/2 | 0.023 | 0.016 | 0.045 | 0.017 | -0.012 | -0.062 | 0.028 | 0.015 | 0.043 | 0.020 |
| | 3/4 | 0.051 | 0.013 | 0.042 | 0.014 | -0.011 | -0.054 | 0.029 | 0.013 | 0.041 | 0.016 |
| 1.75 | 1/4 | 0.035 | 0.010 | 0.027 | 0.011 | -0.007 | -0.037 | 0.011 | 0.008 | 0.020 | 0.013 |
| | 1/2 | 0.057 | 0.016 | 0.045 | 0.017 | -0.012 | -0.060 | 0.021 | 0.013 | 0.036 | 0.020 |
| | 3/4 | 0.051 | 0.013 | 0.042 | 0.014 | -0.011 | -0.053 | 0.024 | 0.012 | 0.036 | 0.016 |
| 1.50 | 1/4 | 0.035 | 0.010 | 0.027 | 0.011 | -0.007 | -0.035 | 0.007 | 0.006 | 0.014 | 0.013 |
| | 1/2 | 0.057 | 0.015 | 0.045 | 0.017 | -0.011 | -0.057 | 0.015 | 0.010 | 0.027 | 0.020 |
| | 3/4 | 0.051 | 0.013 | 0.042 | 0.014 | -0.010 | -0.051 | 0.019 | 0.011 | 0.029 | 0.017 |
| 1.25 | 1/4 | 0.035 | 0.010 | 0.027 | 0.011 | -0.006 | -0.032 | 0.003 | 0.003 | 0.008 | 0.011 |
| | 1/2 | 0.057 | 0.015 | 0.046 | 0.017 | -0.011 | -0.053 | 0.008 | 0.008 | 0.017 | 0.017 |
| | 3/4 | 0.051 | 0.013 | 0.042 | 0.014 | -0.010 | -0.048 | 0.013 | 0.008 | 0.021 | 0.016 |
| 1.00 | 1/4 | 0.035 | 0.010 | 0.027 | 0.011 | -0.006 | -0.029 | -0.001 | 0.000 | 0.002 | 0.008 |
| | 1/2 | 0.057 | 0.015 | 0.046 | 0.017 | -0.010 | -0.048 | 0.002 | 0.002 | 0.007 | 0.014 |
| | 3/4 | 0.051 | 0.013 | 0.043 | 0.014 | -0.009 | -0.044 | 0.007 | 0.004 | 0.013 | 0.013 |
| 0.75 | 1/4 | 0.035 | 0.010 | 0.028 | 0.011 | -0.005 | -0.025 | -0.003 | -0.005 | -0.002 | 0.001 |
| | 1/2 | 0.057 | 0.015 | 0.046 | 0.017 | -0.008 | -0.042 | -0.003 | -0.005 | -0.001 | 0.007 |
| | 3/4 | 0.052 | 0.013 | 0.043 | 0.014 | -0.008 | -0.039 | 0.002 | -0.002 | 0.006 | 0.007 |
| 0.50 | 1/4 | 0.036 | 0.010 | 0.028 | 0.011 | -0.004 | -0.021 | -0.004 | -0.011 | -0.005 | -0.008 |
| | 1/2 | 0.057 | 0.015 | 0.047 | 0.017 | -0.007 | -0.035 | -0.007 | -0.016 | -0.006 | -0.010 |
| | 3/4 | 0.052 | 0.013 | 0.043 | 0.014 | -0.007 | -0.033 | -0.004 | -0.010 | -0.001 | -0.004 |

| b/H = 2.50 | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| a/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | | z=a/4 | | z=0 | |
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_z | η_x | η_z |
| 2.50 | 1/4 | 0.031 | 0.011 | 0.021 | 0.010 | -0.008 | -0.038 | 0.021 | 0.010 | 0.031 | 0.011 |
| | 1/2 | 0.052 | 0.017 | 0.036 | 0.017 | -0.012 | -0.062 | 0.036 | 0.017 | 0.052 | 0.017 |
| | 3/4 | 0.047 | 0.015 | 0.036 | 0.014 | -0.011 | -0.055 | 0.036 | 0.014 | 0.047 | 0.015 |
| 2.00 | 1/4 | 0.031 | 0.011 | 0.021 | 0.010 | -0.008 | -0.038 | 0.015 | 0.009 | 0.025 | 0.012 |
| | 1/2 | 0.052 | 0.017 | 0.036 | 0.017 | -0.012 | -0.061 | 0.028 | 0.015 | 0.042 | 0.020 |
| | 3/4 | 0.047 | 0.015 | 0.036 | 0.014 | -0.011 | -0.054 | 0.029 | 0.013 | 0.041 | 0.010 |
| 1.75 | 1/4 | 0.032 | 0.011 | 0.021 | 0.010 | -0.007 | -0.037 | 0.011 | 0.008 | 0.020 | 0.012 |
| | 1/2 | 0.052 | 0.018 | 0.036 | 0.017 | -0.012 | -0.059 | 0.022 | 0.013 | 0.035 | 0.021 |
| | 3/4 | 0.047 | 0.015 | 0.036 | 0.014 | -0.011 | -0.053 | 0.024 | 0.012 | 0.035 | 0.017 |
| 1.50 | 1/4 | 0.032 | 0.011 | 0.022 | 0.010 | -0.007 | -0.035 | 0.007 | 0.006 | 0.014 | 0.013 |
| | 1/2 | 0.052 | 0.018 | 0.037 | 0.017 | -0.011 | -0.057 | 0.015 | 0.010 | 0.027 | 0.021 |
| | 3/4 | 0.047 | 0.015 | 0.036 | 0.014 | -0.010 | -0.051 | 0.019 | 0.010 | 0.020 | 0.017 |
| 1.25 | 1/4 | 0.032 | 0.011 | 0.022 | 0.010 | -0.008 | -0.032 | 0.003 | 0.004 | 0.007 | 0.012 |
| | 1/2 | 0.052 | 0.018 | 0.038 | 0.017 | -0.011 | -0.053 | 0.008 | 0.007 | 0.018 | 0.019 |
| | 3/4 | 0.048 | 0.015 | 0.037 | 0.014 | -0.010 | -0.048 | 0.014 | 0.008 | 0.022 | 0.016 |
| 1.00 | 1/4 | 0.032 | 0.011 | 0.023 | 0.011 | -0.008 | -0.028 | -0.001 | 0.000 | 0.002 | 0.008 |
| | 1/2 | 0.053 | 0.018 | 0.038 | 0.017 | -0.010 | -0.048 | 0.002 | 0.002 | 0.007 | 0.014 |
| | 3/4 | 0.028 | 0.015 | 0.038 | 0.015 | -0.009 | -0.044 | 0.007 | 0.004 | 0.013 | 0.013 |
| 0.75 | 1/4 | 0.033 | 0.011 | 0.024 | 0.011 | -0.005 | -0.024 | -0.003 | -0.005 | -0.002 | 0.002 |
| | 1/2 | 0.054 | 0.018 | 0.039 | 0.017 | -0.008 | -0.041 | -0.003 | -0.005 | -0.000 | 0.005 |
| | 3/4 | 0.049 | 0.015 | 0.038 | 0.015 | -0.008 | -0.039 | 0.000 | -0.002 | 0.006 | 0.006 |
| 0.50 | 1/4 | 0.033 | 0.012 | 0.024 | 0.011 | -0.004 | -0.021 | -0.004 | -0.011 | -0.005 | -0.008 |
| | 1/2 | 0.054 | 0.018 | 0.040 | 0.017 | -0.007 | -0.035 | -0.007 | -0.016 | -0.006 | -0.010 |
| | 3/4 | 0.049 | 0.015 | 0.039 | 0.015 | -0.007 | -0.034 | -0.004 | -0.010 | -0.001 | -0.004 |

Çizelge 5.5. in devamı

| b/H=2.00 | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| a/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | | z=a/4 | | z=0 | |
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_z | η_x | η_z |
| 2.00 | 1/4 | 0.025 | 0.013 | 0.015 | 0.009 | -0.007 | -0.037 | 0.015 | 0.009 | 0.025 | 0.013 |
| | 1/2 | 0.042 | 0.020 | 0.028 | 0.015 | -0.012 | -0.059 | 0.028 | 0.015 | 0.042 | 0.020 |
| | 3/4 | 0.040 | 0.016 | 0.029 | 0.013 | -0.011 | -0.053 | 0.020 | 0.013 | 0.040 | 0.016 |
| 1.75 | 1/4 | 0.025 | 0.013 | 0.015 | 0.009 | -0.007 | -0.036 | 0.011 | 0.008 | 0.020 | 0.013 |
| | 1/2 | 0.042 | 0.020 | 0.028 | 0.015 | -0.012 | -0.058 | 0.022 | 0.013 | 0.035 | 0.021 |
| | 3/4 | 0.040 | 0.016 | 0.029 | 0.013 | -0.010 | -0.052 | 0.024 | 0.012 | 0.035 | 0.017 |
| 1.50 | 1/4 | 0.025 | 0.013 | 0.016 | 0.009 | -0.007 | -0.034 | 0.007 | 0.006 | 0.017 | 0.013 |
| | 1/2 | 0.043 | 0.020 | 0.028 | 0.015 | -0.011 | -0.056 | 0.016 | 0.011 | 0.027 | 0.021 |
| | 3/4 | 0.041 | 0.016 | 0.029 | 0.013 | -0.010 | -0.050 | 0.019 | 0.010 | 0.020 | 0.017 |
| 1.25 | 1/4 | 0.026 | 0.013 | 0.016 | 0.010 | -0.006 | -0.032 | 0.003 | 0.003 | 0.007 | 0.011 |
| | 1/2 | 0.043 | 0.020 | 0.029 | 0.015 | -0.010 | -0.052 | 0.008 | 0.007 | 0.018 | 0.019 |
| | 3/4 | 0.041 | 0.016 | 0.030 | 0.013 | -0.010 | -0.048 | 0.013 | 0.008 | 0.021 | 0.016 |
| 1.00 | 1/4 | 0.026 | 0.013 | 0.017 | 0.010 | -0.008 | -0.028 | -0.001 | 0.000 | 0.002 | 0.008 |
| | 1/2 | 0.044 | 0.020 | 0.030 | 0.016 | -0.009 | -0.046 | 0.002 | 0.002 | 0.007 | 0.014 |
| | 3/4 | 0.041 | 0.016 | 0.031 | 0.014 | -0.009 | -0.044 | 0.007 | 0.004 | 0.013 | 0.013 |
| 0.75 | 1/4 | 0.027 | 0.013 | 0.018 | 0.010 | -0.005 | -0.024 | -0.003 | -0.004 | -0.001 | 0.002 |
| | 1/2 | 0.045 | 0.020 | 0.031 | 0.016 | -0.008 | -0.040 | -0.002 | -0.004 | 0.000 | 0.005 |
| | 3/4 | 0.042 | 0.016 | 0.032 | 0.014 | -0.008 | -0.041 | 0.002 | -0.002 | 0.005 | 0.008 |
| 0.50 | 1/4 | 0.027 | 0.013 | 0.019 | 0.010 | -0.004 | -0.021 | -0.004 | -0.010 | 0.004 | -0.007 |
| | 1/2 | 0.046 | 0.020 | 0.033 | 0.017 | -0.007 | -0.034 | -0.006 | -0.015 | -0.006 | -0.009 |
| | 3/4 | 0.042 | 0.016 | 0.032 | 0.015 | -0.007 | -0.037 | -0.003 | -0.010 | -0.002 | -0.003 |

| b/H=1.50 | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| a/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | | z=a/4 | | z=0 | |
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_z | η_x | η_z |
| 1.50 | 1/4 | 0.015 | 0.013 | 0.008 | 0.007 | -0.006 | -0.032 | 0.008 | 0.007 | 0.015 | 0.013 |
| | 1/2 | 0.026 | 0.021 | 0.016 | 0.011 | -0.010 | -0.052 | 0.016 | 0.011 | 0.028 | 0.021 |
| | 3/4 | 0.030 | 0.017 | 0.020 | 0.011 | -0.010 | -0.048 | 0.020 | 0.011 | 0.030 | 0.017 |
| 1.25 | 1/4 | 0.016 | 0.013 | 0.009 | 0.008 | -0.006 | -0.029 | 0.004 | 0.004 | 0.009 | 0.012 |
| | 1/2 | 0.025 | 0.021 | 0.017 | 0.012 | -0.010 | -0.049 | 0.009 | 0.008 | 0.018 | 0.019 |
| | 3/4 | 0.030 | 0.017 | 0.020 | 0.012 | -0.009 | -0.045 | 0.014 | 0.009 | 0.023 | 0.016 |
| 1.00 | 1/4 | 0.018 | 0.013 | 0.010 | 0.009 | -0.005 | -0.025 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.008 |
| | 1/2 | 0.030 | 0.021 | 0.019 | 0.012 | -0.009 | -0.043 | 0.003 | 0.003 | 0.008 | 0.014 |
| | 3/4 | 0.031 | 0.017 | 0.021 | 0.013 | -0.008 | -0.041 | 0.008 | 0.005 | 0.014 | 0.014 |
| 0.75 | 1/4 | 0.018 | 0.014 | 0.011 | 0.010 | -0.004 | -0.021 | -0.002 | -0.003 | -0.001 | 0.002 |
| | 1/2 | 0.032 | 0.022 | 0.021 | 0.014 | -0.007 | -0.038 | -0.002 | -0.004 | 0.001 | 0.005 |
| | 3/4 | 0.032 | 0.018 | 0.022 | 0.014 | -0.007 | -0.036 | 0.002 | -0.000 | 0.006 | 0.008 |
| 0.50 | 1/4 | 0.020 | 0.016 | 0.013 | 0.012 | -0.033 | -0.017 | -0.003 | -0.009 | -0.004 | -0.006 |
| | 1/2 | 0.035 | 0.024 | 0.023 | 0.018 | -0.006 | -0.031 | -0.006 | -0.014 | -0.005 | -0.007 |
| | 3/4 | 0.034 | 0.020 | 0.024 | 0.016 | -0.007 | -0.003 | -0.003 | -0.008 | -0.001 | -0.001 |

| b/H=1.00 | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| a/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | | z=a/4 | | z=0 | |
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_z | η_x | η_z |
| 1.00 | 1/4 | 0.005 | 0.009 | 0.002 | 0.003 | -0.004 | -0.020 | 0.002 | 0.003 | 0.005 | 0.009 |
| | 1/2 | 0.011 | 0.016 | 0.006 | 0.006 | -0.007 | -0.035 | 0.006 | 0.006 | 0.011 | 0.016 |
| | 3/4 | 0.016 | 0.015 | 0.009 | 0.007 | -0.007 | -0.035 | 0.009 | 0.007 | 0.016 | 0.015 |
| 0.75 | 1/4 | 0.006 | 0.010 | 0.003 | 0.004 | -0.003 | -0.016 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.005 |
| | 1/2 | 0.013 | 0.017 | 0.008 | 0.008 | -0.006 | -0.029 | 0.001 | 0.001 | 0.005 | 0.009 |
| | 3/4 | 0.017 | 0.016 | 0.010 | 0.008 | -0.006 | -0.031 | 0.004 | 0.003 | 0.008 | 0.010 |
| 0.50 | 1/4 | 0.007 | 0.011 | 0.005 | 0.006 | -0.002 | -0.010 | -0.002 | -0.005 | -0.003 | -0.002 |
| | 1/2 | 0.015 | 0.018 | 0.010 | 0.010 | -0.004 | -0.021 | -0.003 | -0.007 | -0.003 | -0.002 |
| | 3/4 | 0.018 | 0.016 | 0.012 | 0.010 | -0.005 | -0.026 | -0.001 | -0.004 | -0.000 | 0.001 |

Çizelge 5.6. Dikdörtgen Depolarda Moment Hesabı İçin η Katsayıları

| $b/H = 3.00$ | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| a/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | | z=a/4 | | z=0 | |
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_z | η_x | η_z |
| 3.00 | 0 | 0 | 0.070 | 0 | 0.027 | 0 | -0.196 | 0 | 0.027 | 0 | 0.071 |
| | 1/4 | 0.028 | 0.081 | 0.015 | 0.028 | -0.034 | -0.170 | 0.015 | 0.028 | 0.028 | 0.060 |
| | 1/2 | 0.049 | 0.049 | 0.032 | 0.026 | -0.027 | -0.137 | 0.032 | 0.026 | 0.049 | 0.049 |
| | 3/4 | 0.046 | 0.030 | 0.034 | -0.018 | -0.017 | -0.087 | 0.034 | 0.018 | 0.046 | 0.030 |
| 2.50 | 0 | 0 | 0.073 | 0 | 0.033 | 0 | -0.169 | 0 | 0.013 | 0 | 0.057 |
| | 1/4 | 0.028 | 0.063 | 0.016 | 0.033 | -0.030 | -0.151 | 0.009 | 0.014 | 0.022 | 0.050 |
| | 1/2 | 0.049 | 0.050 | 0.033 | 0.020 | -0.025 | -0.126 | 0.023 | 0.017 | 0.041 | 0.043 |
| | 3/4 | 0.046 | 0.030 | 0.037 | 0.020 | -0.017 | -0.084 | 0.029 | 0.014 | 0.040 | 0.027 |
| 2.00 | 0 | 0 | 0.075 | 0 | 0.039 | 0 | -0.146 | 0 | -0.005 | 0 | 0.031 |
| | 1/4 | 0.029 | 0.065 | 0.017 | 0.036 | -0.027 | -0.133 | 0.002 | -0.002 | 0.013 | 0.032 |
| | 1/2 | 0.050 | 0.051 | 0.035 | 0.032 | -0.023 | -0.113 | 0.016 | 0.005 | 0.030 | 0.029 |
| | 3/4 | 0.046 | 0.031 | 0.037 | 0.021 | -0.016 | -0.078 | 0.022 | 0.008 | 0.034 | 0.020 |
| 1.75 | 0 | 0 | 0.076 | 0 | 0.041 | 0 | -0.137 | 0 | -0.018 | 0 | 0.014 |
| | 1/4 | 0.029 | 0.065 | 0.018 | 0.038 | -0.025 | -0.125 | -0.003 | -0.012 | 0.007 | 0.018 |
| | 1/2 | 0.050 | 0.052 | 0.036 | 0.033 | -0.021 | -0.106 | 0.011 | -0.003 | 0.023 | 0.020 |
| | 3/4 | 0.046 | 0.031 | 0.037 | 0.021 | -0.015 | -0.074 | 0.018 | 0.004 | 0.027 | 0.015 |
| 1.50 | 0 | 0 | 0.077 | 0 | 0.043 | 0 | -0.129 | 0 | -0.033 | 0 | -0.006 |
| | 1/4 | 0.030 | 0.066 | 0.018 | 0.039 | -0.024 | -0.118 | -0.007 | -0.024 | 0.002 | 0.004 |
| | 1/2 | 0.050 | 0.053 | 0.037 | 0.034 | -0.020 | -0.100 | 0.005 | -0.012 | 0.015 | 0.010 |
| | 3/4 | 0.046 | 0.031 | 0.038 | 0.022 | -0.014 | -0.070 | 0.013 | -0.000 | 0.021 | 0.010 |
| 1.25 | 0 | 0 | 0.078 | 0 | 0.045 | 0 | -0.122 | 0 | -0.052 | 0 | -0.031 |
| | 1/4 | 0.030 | 0.067 | 0.019 | 0.041 | -0.022 | -0.111 | -0.011 | -0.039 | -0.004 | -0.018 |
| | 1/2 | 0.050 | 0.054 | 0.038 | 0.045 | -0.019 | -0.095 | 0.000 | -0.022 | 0.008 | -0.003 |
| | 3/4 | 0.047 | 0.032 | 0.038 | 0.023 | -0.014 | -0.068 | 0.008 | -0.006 | 0.016 | 0.001 |
| 1.00 | 0 | 0 | 0.079 | 0 | 0.047 | 0 | -0.118 | 0 | -0.074 | 0 | -0.060 |
| | 1/4 | 0.030 | 0.067 | 0.020 | 0.043 | -0.021 | -0.105 | -0.015 | -0.056 | -0.010 | -0.042 |
| | 1/2 | 0.051 | 0.054 | 0.038 | 0.036 | -0.018 | -0.090 | -0.005 | -0.030 | 0.001 | -0.022 |
| | 3/4 | 0.047 | 0.032 | 0.038 | 0.023 | -0.013 | -0.065 | 0.003 | -0.014 | 0.009 | -0.009 |
| 0.75 | 0 | 0 | 0.079 | 0 | 0.047 | 0 | -0.120 | 0 | -0.098 | 0 | -0.092 |
| | 1/4 | 0.020 | 0.066 | 0.020 | 0.042 | -0.021 | -0.107 | -0.020 | -0.079 | -0.016 | -0.070 |
| | 1/2 | 0.051 | 0.053 | 0.037 | 0.036 | -0.018 | -0.090 | -0.011 | -0.051 | -0.006 | -0.045 |
| | 3/4 | 0.047 | 0.031 | 0.037 | 0.022 | -0.013 | -0.066 | -0.002 | -0.025 | 0.003 | -0.024 |
| 0.50 | 0 | 0 | 0.078 | 0 | 0.047 | 0 | -0.130 | 0 | -0.126 | 0 | -0.123 |
| | 1/4 | 0.029 | 0.065 | 0.019 | 0.042 | -0.023 | -0.115 | -0.024 | -0.105 | -0.022 | -0.101 |
| | 1/2 | 0.050 | 0.053 | 0.035 | 0.035 | -0.019 | -0.095 | -0.016 | -0.073 | -0.013 | -0.071 |
| | 3/4 | 0.046 | 0.031 | 0.036 | 0.021 | -0.014 | -0.068 | -0.007 | -0.040 | -0.004 | -0.042 |

Çizelge 5.6. nın devamı

| b/H=2.50 | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| a/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | | z=a/4 | | z=0 | |
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_z | η_x | η_z |
| 1.50 | 0 | 0 | 0.027 | 0 | 0.005 | 0 | -0.052 | 0 | 0.005 | 0 | 0.027 |
| | 1/4 | 0.009 | 0.028 | 0.003 | 0.008 | -0.012 | -0.059 | 0.003 | 0.008 | 0.009 | 0.028 |
| | 1/2 | 0.022 | 0.027 | 0.012 | 0.011 | -0.013 | -0.063 | 0.012 | 0.011 | 0.022 | 0.027 |
| | 3/4 | 0.027 | 0.020 | 0.017 | 0.011 | -0.010 | -0.052 | 0.017 | 0.011 | 0.027 | 0.020 |
| 1.25 | 0 | 0 | 0.031 | 0 | 0.008 | 0 | -0.045 | 0 | -0.005 | 0 | 0.011 |
| | 1/4 | 0.010 | 0.031 | 0.005 | 0.012 | -0.010 | -0.050 | 0.001 | -0.001 | 0.004 | 0.015 |
| | 1/2 | 0.024 | 0.030 | 0.014 | 0.014 | -0.011 | -0.056 | 0.007 | 0.006 | 0.014 | 0.020 |
| | 3/4 | 0.027 | 0.021 | 0.018 | 0.012 | -0.010 | -0.048 | 0.013 | 0.006 | 0.018 | 0.016 |
| 1.00 | 0 | 0 | 0.035 | 0 | 0.013 | 0 | -0.038 | 0 | -0.016 | 0 | -0.006 |
| | 1/4 | 0.011 | 0.034 | 0.006 | 0.016 | -0.008 | -0.042 | -0.002 | -0.010 | -0.001 | 0.001 |
| | 1/2 | 0.025 | 0.032 | 0.015 | 0.017 | -0.010 | -0.049 | 0.002 | -0.003 | 0.006 | 0.010 |
| | 3/4 | 0.028 | 0.022 | 0.019 | 0.014 | -0.009 | -0.045 | 0.008 | 0.002 | 0.009 | 0.010 |
| 0.75 | 0 | 0 | 0.038 | 0 | 0.016 | 0 | -0.034 | 0 | -0.024 | 0 | -0.019 |
| | 1/4 | 0.011 | 0.036 | 0.007 | 0.018 | -0.008 | -0.038 | -0.005 | -0.020 | -0.004 | -0.013 |
| | 1/2 | 0.025 | 0.033 | 0.016 | 0.019 | -0.008 | -0.042 | -0.002 | -0.014 | -0.001 | -0.004 |
| | 3/4 | 0.028 | 0.022 | 0.019 | 0.015 | -0.008 | -0.041 | 0.003 | -0.007 | 0.002 | 0.001 |
| 0.50 | 0 | 0 | 0.040 | 0 | 0.017 | 0 | -0.036 | 0 | -0.030 | 0 | -0.028 |
| | 1/4 | 0.010 | 0.037 | 0.007 | 0.019 | -0.008 | -0.040 | -0.008 | -0.031 | -0.007 | -0.027 |
| | 1/2 | 0.024 | 0.034 | 0.017 | 0.020 | -0.009 | -0.044 | -0.006 | -0.027 | -0.006 | -0.020 |
| | 3/4 | 0.028 | 0.022 | 0.018 | 0.016 | -0.008 | -0.040 | -0.002 | -0.018 | -0.004 | -0.010 |

| b/H=2.00 | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| a/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | | z=a/4 | | z=0 | |
| | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_z | η_x | η_z |
| 1.00 | 0 | 0 | 0.010 | 0 | 0.002 | 0 | -0.019 | 0 | 0.002 | 0 | 0.010 |
| | 1/4 | 0.002 | 0.013 | 0.000 | 0.003 | -0.005 | -0.025 | 0.000 | 0.003 | 0.002 | 0.013 |
| | 1/2 | 0.010 | 0.017 | 0.005 | 0.006 | -0.007 | -0.036 | 0.005 | 0.006 | 0.010 | 0.017 |
| | 3/4 | 0.015 | 0.015 | 0.009 | 0.007 | -0.007 | -0.036 | 0.009 | 0.007 | 0.015 | 0.015 |
| 0.75 | 0 | 0 | 0.016 | 0 | 0.007 | 0 | -0.013 | 0 | -0.004 | 0 | 0.003 |
| | 1/4 | 0.003 | 0.017 | 0.001 | 0.008 | -0.004 | -0.020 | -0.001 | -0.005 | -0.001 | 0.003 |
| | 1/2 | 0.011 | 0.020 | 0.006 | 0.009 | -0.007 | -0.033 | 0.002 | -0.001 | 0.005 | 0.007 |
| | 3/4 | 0.016 | 0.014 | 0.009 | 0.009 | -0.006 | -0.032 | 0.004 | 0.002 | 0.009 | 0.008 |
| 0.50 | 0 | 0 | 0.020 | 0 | 0.011 | 0 | -0.011 | 0 | -0.007 | 0 | -0.005 |
| | 1/4 | 0.003 | 0.018 | 0.001 | 0.010 | -0.004 | -0.018 | -0.002 | -0.012 | -0.003 | -0.007 |
| | 1/2 | 0.012 | 0.021 | 0.008 | 0.010 | -0.006 | -0.032 | 0.001 | -0.009 | 0.002 | -0.005 |
| | 3/4 | 0.017 | 0.013 | 0.010 | 0.009 | -0.006 | -0.031 | 0.002 | -0.005 | 0.006 | 0.001 |

Bu çizelgelerde (Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6) verilen moment katsayıları depo cidarlarına etkiyen sıvı basıncının üçgen yayıllı olduğu kabul edilerek bulunmuştur. Ancak gömme depolarda genellikle depo üstünde yalnız 80 cm lik bir toprak dolgu bulunduğundan yük dağılımı yamuk şeklindedir. Bununla beraber hesapların üçgen yayıllı yüklere göre yapılması, sonuçları önemli derecede değiştirmeyeceğinden bu çizelgelerin pratik hesaplar için kullanılması mümkündür. Gömme depolarda yapılacak hesaplarda özellikle aşağıda belirlenen iki durum dikkate alınmalıdır (Doğangün, 1989).

1. Durum: Depoda sıvı var-toprak dolgu yok,
2. Durum: Depoda sıvı yok-toprak dolgu var.

Çizelgelerde η_x , η_y , η_z sırasıyla x, y ve z doğrultularındaki moment katsayılarını, γ depolanan sıvının birim ağırlığını, h sıvı yüksekliğini göstermek üzere (h=H) depo tabanında hidrostatik basınç $P = \gamma h$ olduğundan x ve y doğrultularındaki momentler,

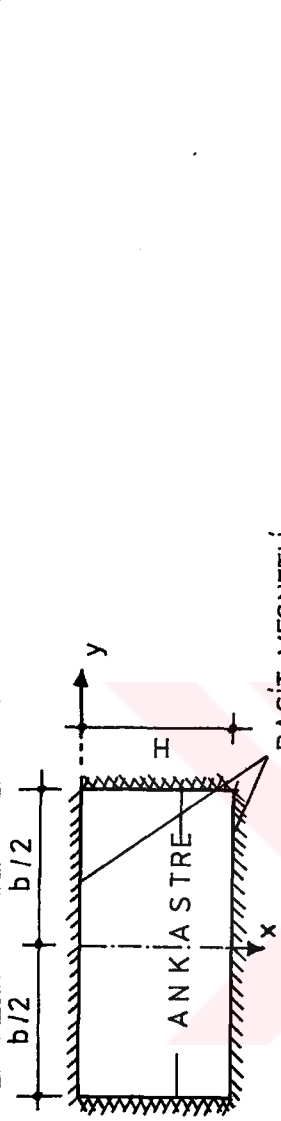
$$\begin{aligned}
 M_x &= \eta_x Ph^2 & \text{ya da} & & M_x &= \eta_x \gamma h^3 \\
 M_y &= \eta_y Ph^2 & \text{ya da} & & M_y &= \eta_y \gamma h^3 \\
 M_z &= \eta_z Ph^2 & \text{ya da} & & M_z &= \eta_z \gamma h^3
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

bağıntılarıyla hesaplanmaktadır.

5.3. KESME KUVVETİ KATSAYILARI

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı deposunda bir cidarın kenarları boyunca çekme ve kayma gerilmelerini belirlemek için düşey cidarlar boyunca kesme kuvvetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bir cidarda meydana gelen çekme kuvveti, diğer komşu cidara normal kuvvet olarak etkimektedir. Cidarların düşey kenarları ankastre, üstü ve alt kenarlarının basit mesnetli olması halinde kesme kuvveti ile ilgili bazı değerler (tam dolu depo için h=H) Çizelge 5.7 de verilmektedir. Bu çizelgede b cidarın uzunluğunu H yüksekliğini, γ depolanan sıvının birim ağırlığını

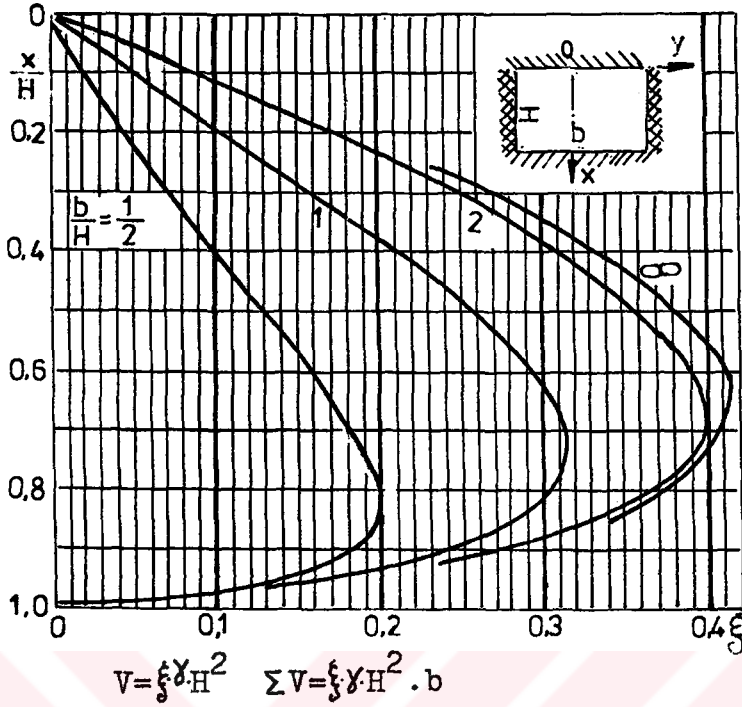
Çizelge 5.7. Üst ve Alt Kenarından Basit Mesnetli Plak Kenarları Boyunca Kesme Kuvveti



| b/H | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 5.00 | 10.00 | SONSUZ |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Alt kenarın orta noktası | +0.1407 γH^2 | +0.2419 γH^2 | +0.3290 γH^2 | | | +0.3333 γH^2 |
| Alt kenarın uçlarında | -0.2575 γH^2 | -0.4397 γH^2 | -0.5833 γH^2 | | | -0.600 γH^2 |
| Ankastre yan kenarın ortası | +0.1280 γH^2 | +0.2582 γH^2 | +0.3604 γH^2 | | | +0.3912 γH^2 |
| Yanal kenarın alttan itibaren 1/3 ünde | +0.1736 γH^2 | +0.3113 γH^2 | +0.4023 γH^2 | | | +0.4116 γH^2 |
| Yanal kenarın alttan itibaren 1/4 ünde | +0.1919 γH^2 | +0.3153 γH^2 | +0.3904 γH^2 | | | +0.3980 γH^2 |
| Üst kenar boyunca toplam kesme kuvveti | 0.0008 $\gamma H^2 b$ | 0.0052 $\gamma H^2 b$ | 0.0538 $\gamma H^2 b$ | 0.1203 $\gamma H^2 b$ | 0.1435 $\gamma H^2 b$ | 0.1667 $\gamma H^2 b$ |
| Alt kenar boyunca toplam kesme kuvveti | 0.0480 $\gamma H^2 b$ | 0.0960 $\gamma H^2 b$ | 0.1818 $\gamma H^2 b$ | 0.2715 $\gamma H^2 b$ | 0.3023 $\gamma H^2 b$ | 0.3333 $\gamma H^2 b$ |
| Ankastre bir düşey cidar boyunca toplam kesme K. | 0.2260 $\gamma H^2 b$ | 0.1994 $\gamma H^2 b$ | 0.1322 $\gamma H^2 b$ | 0.0541 $\gamma H^2 b$ | 0.0271 $\gamma H^2 b$ | 0.2758 $\gamma H^2 b$ (-) |
| Dört kenar için toplam kesme kuvveti | 0.500 $\gamma H^2 b$ | 0.500 $\gamma H^2 b$ | 0.500 $\gamma H^2 b$ | 0.500 $\gamma H^2 b$ | 0.500 $\gamma H^2 b$ | 0.500 $\gamma H^2 b$ |

* Tahmini
(-) işaretli reaksiyonun yükü aynı yönde olduğunu göstermektedir.

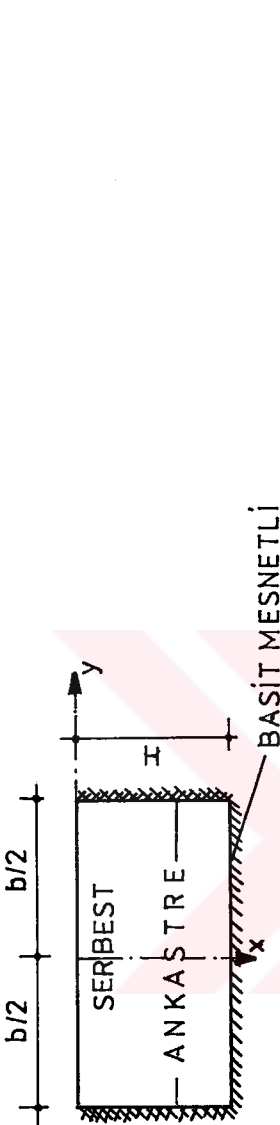
göstermektedir. Çizelge 5.7 nin ilk beş satırı, γH^2 nin ifadesi olarak birim uzunluktaki kesme kuvvetlerini vermektedir. Son dört satırı ise toplam kesme kuvvetini vermektedir (P.C.A.,1969). Birim uzunluktaki kesme kuvvetleri b/H 'nin $1/2$, 1 , 2 ve sonsuz oranları için verilmektedir. $\frac{b}{H} = 2$ ve $\frac{b}{H} = \infty$ için kesme kuvvetleri arasındaki fark çok küçük olduğundan ara değerler için kesme kuvveti katsayılarının hesaplanması gereksiz olmaktadır. b/H oranı büyük olduğu zaman, cidarın genişliğinin ortasında bulunan bir düşey şerit, bir doğrultuda basit mesnetli plak gibi davranır. Bir metre genişliğinde bir şerit üzerinde toplam basınç $0,5 \gamma H^2$ olup, bunun $2/3$ 'ü alt mesnet reaksiyonu ve $1/3$ 'ü üst mesnet reaksiyonunu oluşturmaktadır. Çizelge 5.7'de cidarın alt kenarının arkasında kesme kuvvetinin $b/H = 2$ için $0,3290 \gamma H^2$ olduğu görülmektedir. Bu katsayı $b/H = \infty$ için $1/3$ olan kesme kuvveti katsayısına çok yakındır. Diğer bir deyişle cidarın alt kenarında maksimum kesme kuvveti, b/H 'nin 2 den büyük bütün değerleri için pratik olarak sabit kalmaktadır. Ancak bu durum cidarın üst kenarından mesnetli olması hali için geçerli olmaktadır. Bir cidarın alt köşesinde kesme kuvveti negatiftir ve mutlak değer olarak, bu cidarın alt kenarı ortasındakinden daha büyüktür. Kesme kuvvetinin sıfır olduğu kesit alt kenar uzunluğunun yaklaşık olarak onda birinde bulunmaktadır. Köşelerde kesmenin bu büyük negatif değeri sadece teorik bakımdan anlam taşımaktadır. Çünkü bunların hesaplarda ortaya çıkması, taban plağındaki şekildeğiştirmelerin temel denklemlerde ihmal edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu kesme kuvvetleri kayma gerilmelerinin hesabında dikkate alınmayabilir. Şekil 5.2 de eğriler ankastre düşey bir cidar için, Çizelge 5.7 de verilen birim kesme kuvvetleri yardımıyla çizilmiştir. Kesme eğrilerinin ikiden büyük b/H değerleri için, pratik olarak değişmediği görülmektedir. Kenarın üstten itibaren (x/H) oranının $0,6$ ile $0,8$ arasında bulunan bir noktada kesme kuvveti maksimum değerine ulaşmaktadır. Şekil 5.2, belirli bir b/H oranı için, ankastre düşey bir cidarın herhangi bir noktasındaki kesme kuvvetini ya da aksenal çekme kuvvetinin belirlenmesine imkan vermektedir.



Şekil 5.2. Düşey Kenarları Ankastre, Alt ve Üst Kenarları Basit Mesnetli Bir Plak İçin Kesme Kuvveti Eğrileri

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarında cidarların üst kenarlarından serbest olması halinde düşey bir kenar boyunca kesme kuvveti ise üst kenarı basit mesnetli bir cidar için Çizelge 5.7 de verilen toplam kesme kuvvetlerinde bazı düzeltmeler yapılarak, belirlemek mümkündür. Bu şekilde hesaplanan değerler Çizelge 5.8 de verilmektedir. Bu çizelgede b/H 'nın $1/2$ değeri için üst kenarın toplam kesme kuvveti çok küçük olmaktadır. Bu da bunun Çizelge 5.7 de sıfır alınmasının uygun olduğunu göstermektedir. Çizelge 5.7 de $b/H=1$ için 0.052 olan toplam kesme kuvveti katsayısı toplam hidrostatik basıncın sadece %1 inden ibarettir. Bu nedenle b/H 'nın $1/2$ ve 1 oranları için, üst mesnetin ortadan kaldırılmasının, diğer üç kenardan herhangi biri üzerinde, toplam kesme kuvvetlerini hissedilir derecede değiştirmedeği kabul edilmektedir. $b/H=2$ için üst kenarın basit mesnetli olması halinde bu kenarda önemli bir kesme kuvveti meydana gelmekte ve katsayısı $0,0538$ değerini almaktadır. Diğer üç kenar kesme kuvvetleri toplamı sadece $0,4462 \gamma H^2 b$ dir. Eğer üst mesnet ortadan kaldırılsa, diğer üç kenar, katsayısı $0,5$ olan bir toplam kesme

Çizelge 5.8. Üst Kenarı Serbest Alt Kenarı Basit Mesnetli Bir Plak Kenarları Boyunca Kesme Kuvveti



| b/H | 0.5 | 1 | 2 | 3 |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Alt kenarın ortasında | +0.141 γH^2 | +0.242 γH^2 | +0.38 γH^2 | +0.145 γH^2 |
| Alt kenarın uçlarında | -0.258 γH^2 | -0.440 γH^2 | -0.583 γH^2 | -0.580 γH^2 |
| Ankastre yanal kenarın üst noktası | 0.000 γH^2 | +0.010 γH^2 | +0.100 γH^2 | +0.165 γH^2 |
| Ankastre yanal kenarın ortasında | +0.128 γH^2 | +0.258 γH^2 | +0.375 γH^2 | +0.406 γH^2 |
| Yanal kenarın alttan itibaren 1/3 ünde | +0.174 γH^2 | +0.311 γH^2 | +0.406 γH^2 | +0.416 γH^2 |
| Yanal kenarın alttan itibaren 1/4 ünde | +0.192 γH^2 | +0.315 γH^2 | +0.390 γH^2 | +0.398 γH^2 |
| Alt kenar boyunca toplam kesme kuvveti | 0.048 $\gamma H^2 b$ | 0.096 $\gamma H^2 b$ | 0.204 $\gamma H^2 b$ | 0.286 $\gamma H^2 b$ |
| Ankastre bir yanal kenar boyunca toplam kesme kuvveti | 0.226 $\gamma H^2 b$ | 0.202 $\gamma H^2 b$ | 0.148 $\gamma H^2 b$ | 0.107 $\gamma H^2 b$ |
| Dört kenardaki toplam kesme kuvveti | 0.500 $\gamma H^2 b$ | 0.500 $\gamma H^2 b$ | 0.500 $H^2 b$ | 0.500 $\gamma H^2 b$ |

(*) Bu çizelgedeki değerler alt ve üst kenarından basit mesnetli cidara ait değerlerin düzeltilmesi ile elde edilmiştir

(-) işaretli reaksiyonun yükü aynı yönde olduğunu göstermektedir.

kuvveti taşımaktadır. Diğer üç toplam katsayısının uygun bir ayarlaması, bunların $0,5/0,4462 = 1,12$ ile çarpmak ya da %12 artırmak suretiyle yapılmaktadır. Bu artırma işlemi b/H oranının 2 olması halinde uygulanarak Çizelge 5.8'deki değerler elde edilmiştir. b/H oranının 3 olması durumunda da %22'lik bir artırma ile aynı yol izlenmiştir.

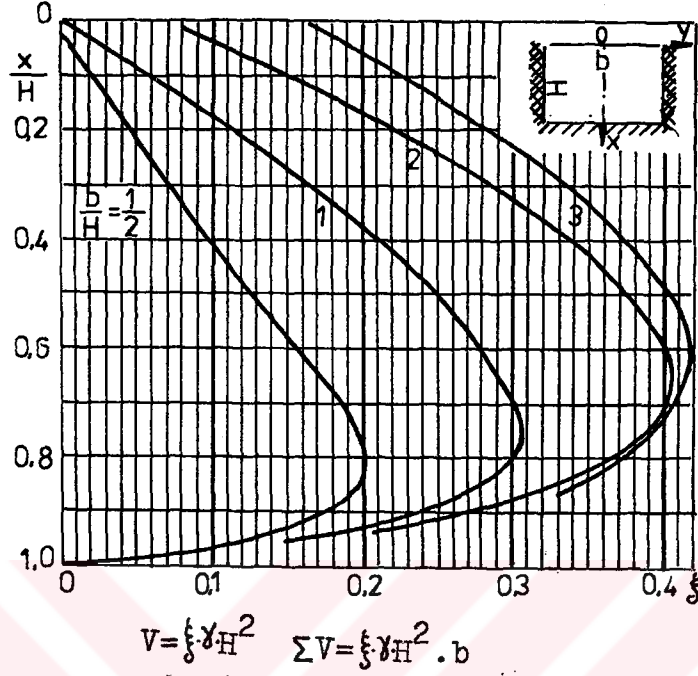
Çizelge 5.8 'de verilen toplam kesme kuvvetleri de bu çizelgede verilen birim kesme kuvveti katsayılarının belirlenmesine imkan vermektedir. Şekil 5.2 'de üst kenarı basit mesnetli bir cidar için verilen kesme kuvveti eğrileri, cidarın üst kenarının serbest olması halinde b/H 'nın 1/2 ve 1 oranları için pratik olarak değişmemektedir. Diğer bir deyişle kesme kuvveti eğrileriyle sınırlı alan değişmemektedir. Bu eğriler, üst kenarın serbest olması halinde, Şekil 5.3 'de verilmektedir. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 de eğrilerin cidarın üstüne doğru değiştiği görülmektedir. b/H 'nın 2 değerine ait eğri Çizelge 5.8'de verilen, ankastre bir kenar boyunca toplam kesme kuvveti değerini gösterecek şekilde düzeltilmiştir.

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 'de verilen eğrilerin karşılaştırılmasından ilginç bir durum ortaya çıkmaktadır. Üst kenarın serbest olması halinde b/H oranının 2 ve 3 değerleri için toplam kesme kuvvetleri sırasıyla %12 ve %22 arttığı halde, maksimum kesme kuvvetindeki artış ancak %2 civarında kalmaktadır. Bunun nedeni kesme kuvvetlerindeki artışın büyük bir kısmının, kesme kuvvetlerinin nispeten küçük olduğu üst kenarda meydana gelmesidir (P.C.A., 1969).

Cidarların alt kenarları boyunca meydana gelen kesme kuvvetlerinin hesabında da aynı yöntem uygulanmıştır. Üst kenarın basit mesnetli olması halinde kesme kuvvetinin önemli olduğu alt kenar ortasında, kesme kuvvetinde maksimum bir artış meydana gelmektedir. Örneğin, b/H oranının 3 değeri için alt kenar ortasında birim kesme kuvveti, üst kenar basit mesnetli ise $0,33 \gamma H^2$ ve serbest ise, yaklaşık olarak üçte bir artışla $0,45 \gamma H^2$ değerini almaktadır.

Burada verilen kesme kuvveti değerleri düşey kenarlar boyunca ankastre yanal cidarlar için hesaplanmıştır. Bu değerler

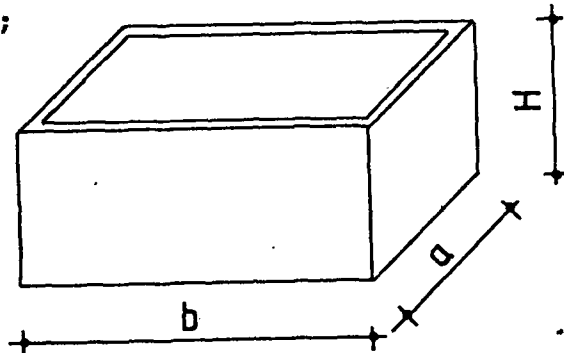
depolar düşey ayrıtları boyunca tam ankastre olmasa bile, projelendirmelerde kullanmanın bir sakıncası bulunmamaktadır.



Şekil 5.3. Düşey Kenarları Ankastre, Alt Kenarı Basit, Üst Kenarı Serbest Mesnetli Bir Plak İçin Kesme Kuvveti Eğrileri

SAYISAL UYGULAMA: 5.1. Amerikan Standardındaki Yönteme Göre Dikdörtgen Kesitli Betonarme Bir Su Deposunun Yapısal Çözümlemesi

Depo iç boyutları olarak eni, boyu ve yüksekliği sırasıyla $a=6.10$ m, $b=12.20$ m, $H=4.90$ m olan dikdörtgen kesitli betonarme bir su deposunun tam dolu halde yapısal çözümlemesi Amerikan standardındaki yöntemle, çeşitli mesnet koşullarına göre yapılmaktadır. Mesnet koşulları olarak daima düşey ayrıtlar ankastre olmak üzere;



Şekil 5.4.

- a) Üst kenar serbest-alt kenar ankastre mesnetli, (Çizelge 5.3),
 b) Üst ve alt kenar basit mesnetli (Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.5)
 c) Üst kenar serbest-alt kenar basit mesnetli (Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.6).

olması halleri dikkate alınmaktadır. Yapısal çözümlemede b/H oranına bağlı olarak yukarıda a, b ve c şıklarında belirtilen ilgili çizelgelerden alınan moment katsayıları ve bu katsayılarla bağlı olarak deponun büyük ve küçük cidarları için hesaplanan moment değerleri sırasıyla; Çizelge 5.9, Çizelge 5.10, Çizelge 5.11 de ve bu değerlere bağlı olarak çizilen moment diyagramları da Şekil 5.5 Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 da verilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar Bölüm 8 de irdelenip karşılaştırılarak bazı sonuçlar verilmektedir.

Çizelge 5.9a. Büyük Cidarlar İçin (a) Şıkkındaki Mesnet Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.3 den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri

| KATSAYILAR | b/H | x/H | y=0 | | y = b/4 | | y = b/2 | | | |
|---|------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|--|
| | | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | | |
| | | | 0 | 0 | 0.027 | 0 | 0.013 | 0 | -0.074 | |
| 2.50 | 0.25 | 0.012 | 0.022 | 0.007 | 0.013 | -0.013 | -0.068 | | | |
| | 0.50 | 0.011 | 0.014 | 0.008 | 0.010 | -0.011 | -0.053 | | | |
| | 0.75 | -0.021 | -0.001 | -0.010 | 0.001 | -0.005 | -0.027 | | | |
| | 1.00 | -0.108 | -0.022 | -0.077 | -0.015 | 0 | 0 | | | |
| MOMENTLER (kN.m) $M = \eta \gamma h^3$ | b/H | x/H | M_x | | M_y | | M_x | | M_y | |
| | | | 0 | 0 | 31.8 | 0 | 15.3 | 0 | -87.1 | |
| | | | 0.25 | 14.1 | 25.9 | 8.20 | 15.3 | -15.3 | -80.0 | |
| | | | 0.50 | 12.9 | 16.5 | 9.40 | 17.8 | -12.9 | -62.4 | |
| | | | 0.75 | -24.7 | -1.2 | -11.80 | 1.2 | -5.88 | -31.8 | |
| | | | 1.00 | -127.06 | -25.9 | -90.6 | -17.6 | 0 | 0 | |

Çizelge 5.9b. Küçük Cidarlar için (a) Şıkkındaki Mesnet Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.3'den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri

| KATSAYILAR | a/H | x/H | y=0 | | y=a/4 | | y=a/2 | |
|------------|-----|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y |
| | | | | 0 | 0 | 0.015 | 0 | 0.003 |
| 1.25 | | 0.25 | 0.005 | 0.015 | 0.002 | 0.006 | -0.007 | -0.034 |
| | | 0.50 | 0.014 | 0.015 | 0.008 | 0.007 | -0.007 | -0.037 |
| | | 0.75 | 0.006 | 0.007 | 0.005 | 0.005 | -0.006 | -0.024 |
| | | 1.00 | -0.047 | -0.009 | -0.031 | 0.006 | 0 | 0 |

| MOMENTLER (kN.m) $M = \eta \gamma h^3$ | a/H | x/H | y=0 | | y=a/4 | | y=a/2 | |
|---|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | M_x | M_y | M_x | M_y | M_x | M_y |
| | | | | 0 | 0 | 17.6 | 0 | 3.5 |
| 1.25 | | 0.25 | 5.9 | 17.6 | 2.4 | 7.10 | -8.20 | -40.0 |
| | | 0.50 | 16.5 | 17.6 | 9.40 | 8.20 | -8.20 | -43.5 |
| | | 0.75 | 7.10 | 8.20 | 5.90 | 5.90 | -7.1 | -28.2 |
| | | 1.00 | -55.3 | -10.6 | -36.5 | 7.1 | 0 | 0 |

Çizelge 5.10a. Büyük Cidarlar için (b) Şıkkındaki Mesnet Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.1'den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri

| KATSAYILAR | b/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | |
|------------|-----|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y |
| | | | | 0.25 | 0.031 | 0.011 | 0.021 | 0.010 |
| 2.50 | | 0.50 | 0.052 | 0.017 | 0.036 | 0.017 | -0.012 | -0.062 |
| | | 0.75 | 0.047 | 0.015 | 0.036 | 0.014 | -0.011 | -0.055 |

| MOMENTLER (kN.m) $M = \eta \gamma h^3$ | b/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | |
|---|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | M_x | M_y | M_x | M_y | M_x | M_y |
| | | | | 0.25 | 36.5 | 12.9 | 24.7 | 11.8 |
| 2.50 | | 0.50 | 61.2 | 20.0 | 42.4 | 20.0 | -14.1 | -72.9 |
| | | 0.75 | 52.3 | 17.6 | 42.4 | 16.5 | -12.9 | -64.7 |

Çizelge 5.10b. Küçük Cidarlar için (b) Şıkkındaki Mesnet Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.1'den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri

| KATSAYILAR | a/H | x/H | y=0 | | y=a/4 | | y=a/2 | |
|------------|-----|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y |
| | | | 1.25 | 0.25 | 0.009 | 0.012 | 0.005 | 0.005 |
| | | 0.50 | 0.019 | 0.019 | 0.011 | 0.009 | -0.009 | -0.045 |
| | | 0.75 | 0.023 | 0.017 | 0.014 | 0.009 | -0.009 | -0.043 |

| MOMENTLER (kN.m) M= $\gamma\eta h^3$ | a/H | x/H | M_x | M_y | M_x | M_y | M_x | M_y | | |
|---|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | | | 1.25 | 0.25 | 10.6 | 14.1 | 5.9 | 5.9 | -7.1 | -32.9 |
| | | | | | 0.50 | 22.4 | 22.4 | 12.90 | 10.6 | -10.6 |
| | | 0.75 | 27.1 | 20.0 | 16.5 | 10.6 | -10.6 | -50.6 | | |

Çizelge 5.10c. Büyük ve Küçük Cidarlarda (b) Şıkkındaki Mesnet Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.5'den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri

| KATSAYILAR | b/H = 2.50 | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | a/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | | z=a/4 | | z=0 | |
| | | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_z | η_x | η_z |
| 1.25 | 0.25 | 0.032 | 0.011 | 0.022 | 0.010 | -0.006 | -0.032 | 0.003 | 0.004 | 0.007 | 0.012 | |
| | 0.50 | 0.052 | 0.018 | 0.038 | 0.017 | -0.011 | -0.053 | 0.008 | 0.007 | 0.018 | 0.019 | |
| | 0.75 | 0.048 | 0.015 | 0.037 | 0.014 | -0.010 | -0.048 | 0.014 | 0.008 | 0.022 | 0.016 | |

| MOMENTLER (kN.m) M= $\gamma\eta h^3$ | a/H | x/H | M_x | M_y | M_x | M_y | M_x | M_y | M_x | M_z | M_x | M_z |
|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 1.25 | 0.25 | 37.6 | 12.9 | 25.9 | 11.8 | -7.1 | -37.6 | 3.5 | 4.7 |
| | | 0.50 | 61.2 | 21.2 | 44.7 | 20.0 | -12.9 | -62.4 | 9.4 | 8.2 | 21.2 | 23.4 |
| | 0.75 | 56.5 | 17.6 | 43.5 | 16.5 | -11.8 | -56.5 | 16.5 | 9.4 | 25.9 | 18.6 | |

Çizelge 5.11a. Büyük Cidarlar için (c) Şıkkındaki Moment Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.2'den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri

| KATSAYILAR | b/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | |
|------------------------------------|-----|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y |
| 2.50 | | 0 | 0 | 0.061 | 0 | 0.019 | 0 | -0.138 |
| | | 0.25 | 0.024 | 0.053 | 0.010 | 0.022 | -0.026 | -0.132 |
| | | 0.50 | 0.042 | 0.044 | 0.025 | 0.022 | -0.023 | -0.115 |
| | | 0.75 | 0.041 | 0.027 | 0.030 | 0.016 | -0.016 | -0.078 |
| MOMENTLER (kN.m) $M=\gamma h^3$ | b/H | x/H | M_x | M_y | M_x | M_y | M_x | M_y |
| 2.50 | | 0 | 0 | 71.8 | 0 | 22.4 | 0 | -162.24 |
| | | 0.25 | 28.2 | 62.4 | 18.8 | 25.9 | -30.6 | -152.3 |
| | | 0.50 | 49.4 | 51.8 | 29.4 | 25.9 | -27.1 | -135.3 |
| | | 0.75 | 48.2 | 31.8 | 35.3 | 18.8 | -18.8 | -91.8 |

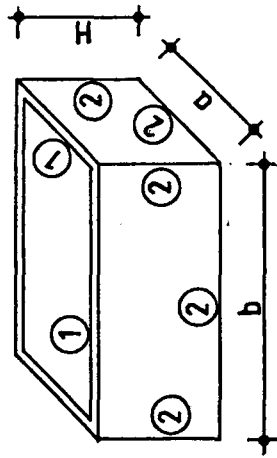
Çizelge 5.11b. Küçük Cidarlar için (c) Şıkkındaki Moment Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.2'den Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri

| KATSAYILAR | a/H | x/H | y=0 | | y=a/4 | | y=a/2 | |
|------------------------------------|-----|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y |
| 1.25 | | 0 | 0 | 0.017 | 0 | 0.003 | 0 | -0.034 |
| | | 0.25 | 0.005 | 0.020 | 0.002 | 0.005 | -0.008 | -0.042 |
| | | 0.50 | 0.017 | 0.023 | 0.009 | 0.009 | -0.010 | -0.049 |
| | | 0.75 | 0.021 | 0.017 | 0.013 | 0.009 | -0.009 | -0.044 |
| MOMENTLER (kN.m) $M=\gamma h^3$ | a/H | x/H | M_x | M_y | M_x | M_y | M_x | M_y |
| 1.25 | | 0 | 0 | 20.0 | 0 | 3.5 | 0 | -40.0 |
| | | 0.25 | 5.9 | 23.5 | 2.4 | 5.9 | -9.4 | -49.4 |
| | | 0.50 | 20.0 | 27.1 | 10.6 | 10.6 | -11.8 | -57.6 |
| | | 0.75 | 24.7 | 20.0 | 15.3 | 10.6 | -9.4 | -51.8 |

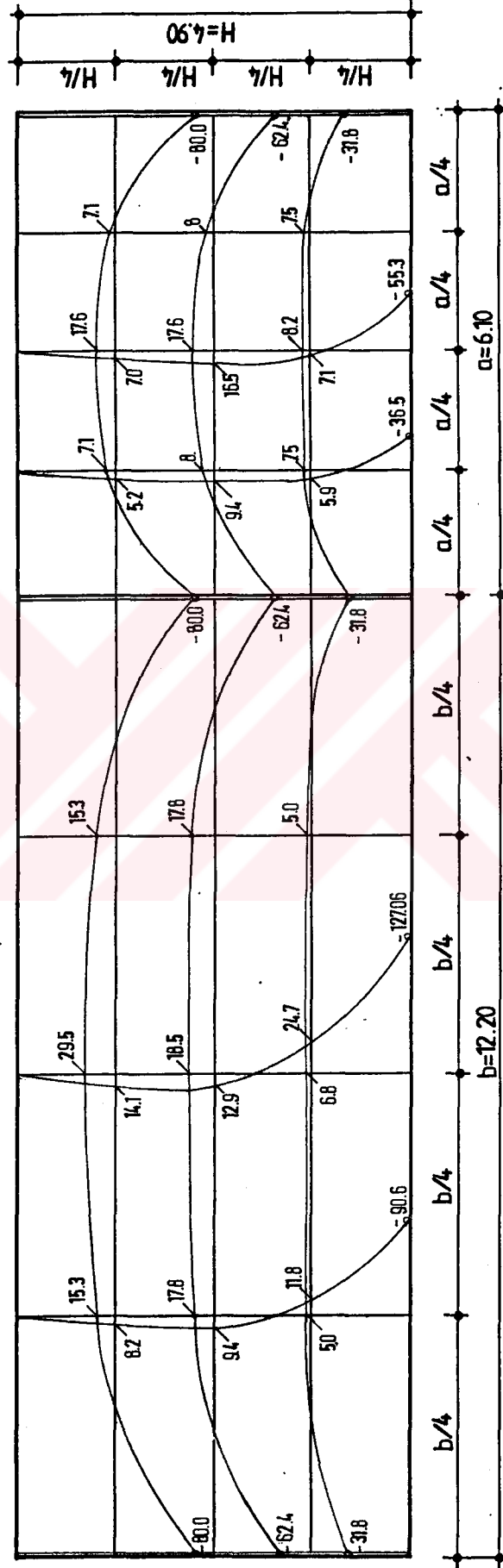
Çizelge 5.11c. Büyük ve Küçük Cidarlar için (c) Şikkındaki Moment Koşullarına Bağlı Olarak Çizelge 5.6'dan Alınan Moment Katsayıları ve Hesaplanan Moment Değerleri

| KATSAYILAR | | b/H=2.50 | | | | | | | | | | | |
|------------|------|----------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | a/H | x/H | y=0 | | y=b/4 | | y=b/2 | | z=a/4 | | z=0 | |
| | | | | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_y | η_x | η_z | η_x | η_z |
| 1.25 | 0 | 0 | 0.069 | 0 | 0.035 | 0 | -0.092 | 0 | -0.030 | 0 | -0.010 | | |
| | 0.25 | 0.026 | 0.059 | 0.015 | 0.034 | -0.018 | -0.089 | -0.006 | -0.024 | -0.002 | -0.003 | | |
| | 0.50 | 0.045 | 0.048 | 0.031 | 0.031 | -0.016 | -0.082 | 0.003 | -0.012 | 0.008 | 0.007 | | |
| | 0.75 | 0.044 | 0.029 | 0.034 | 0.020 | -0.012 | -0.059 | 0.011 | -0.002 | 0.0018 | 0.008 | | |

| MOMENTLER (kN.m) | | $m=\gamma\eta h^3$ | | | | | | | | | | |
|------------------|------|--------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--|
| a/H | x/H | M_x | M_y | M_x | M_y | M_x | M_y | M_x | M_z | M_x | M_z | |
| 1.25 | 0 | 0 | 81.2 | 0 | 41.2 | 0 | -108.2 | 0 | -35.3 | 0 | -11.8 | |
| | 0.25 | 30.6 | 69.4 | 17.6 | 40.0 | -21.2 | -104.7 | -7.1 | -28.2 | -2.4 | -3.5 | |
| | 0.50 | 52.9 | 56.5 | 36.5 | 36.5 | -18.8 | -96.5 | 3.5 | -14.1 | 9.4 | 8.2 | |
| | 0.75 | 51.8 | 34.1 | 40.0 | 23.5 | -14.1 | -69.4 | 12.9 | -2.4 | 2.1 | 9.4 | |



- ① : Serbest Mesnetli
② : Ankastré Mesnetli

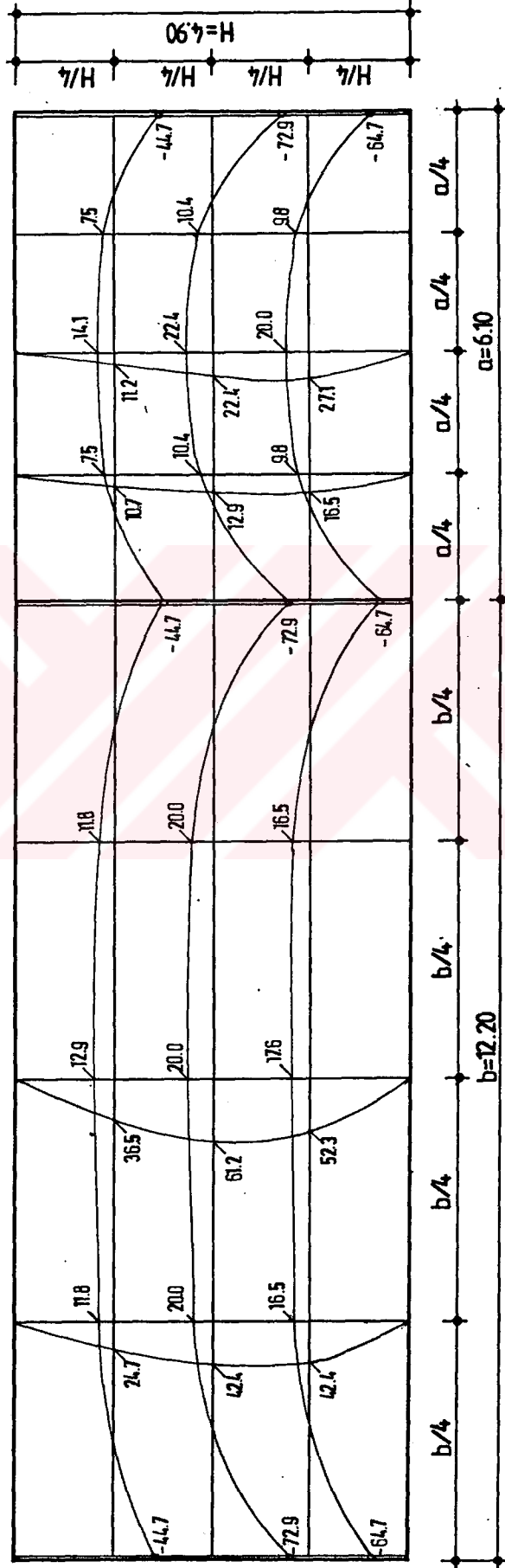
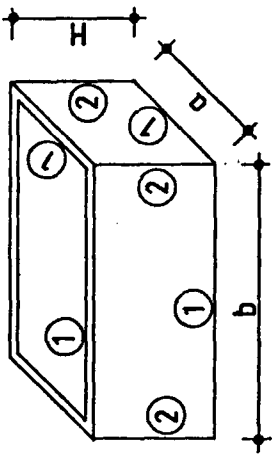


Ölçek : 0 50 100 150 Kk.m

Ölçek : 0 1 2 3 m

Şekil 5.5. Çizelge 5.9a ve Çizelge 5.9b de Büyük ve Küçük Cıdalar için Verilen Moment Değerlerine Bağlı Olarak Çizilen Moment Diyagramı

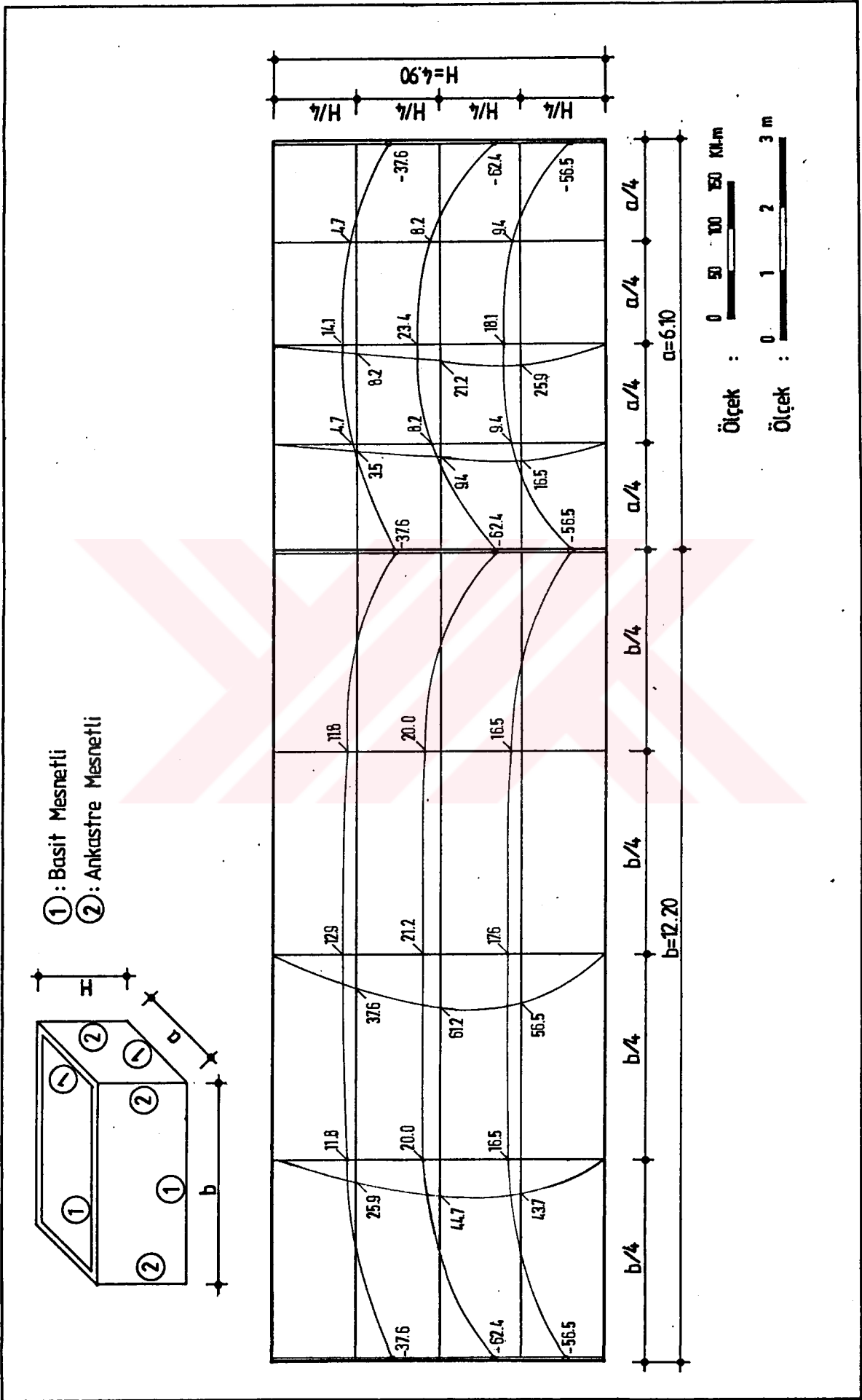
- ① : Basit Mesnetli
② : Ankastre Mesnetli



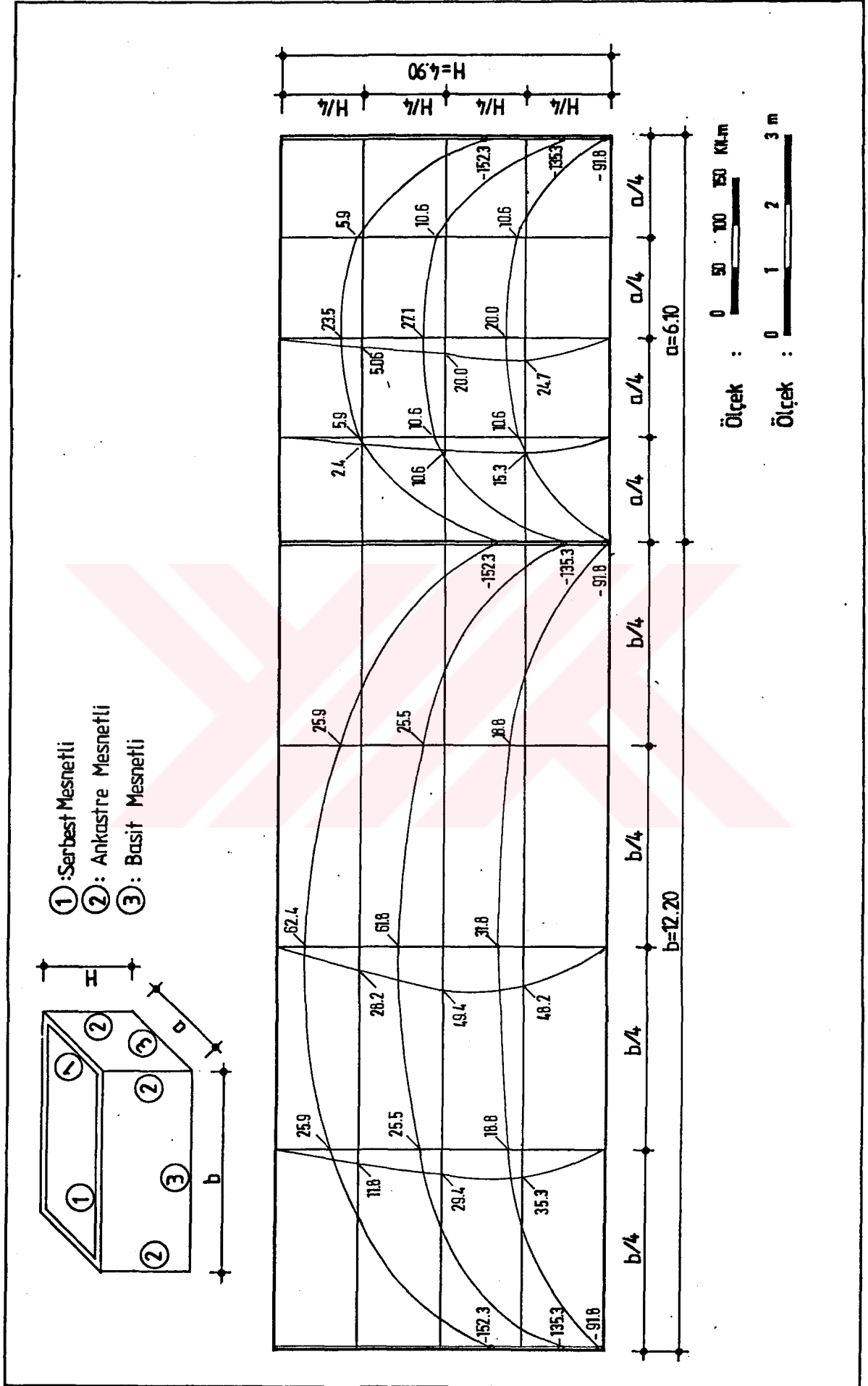
Ölçek : 0 50 100 150 kNm

Ölçek : 0 1 2 3 m

Şekil 5.6. Çizelge 5.10a ve Çizelge 5.10b de, Büyük ve Küçük Cıdalar için Verilen Moment Değerlerine Bağlı Olarak Çizilen Moment Diyagramı

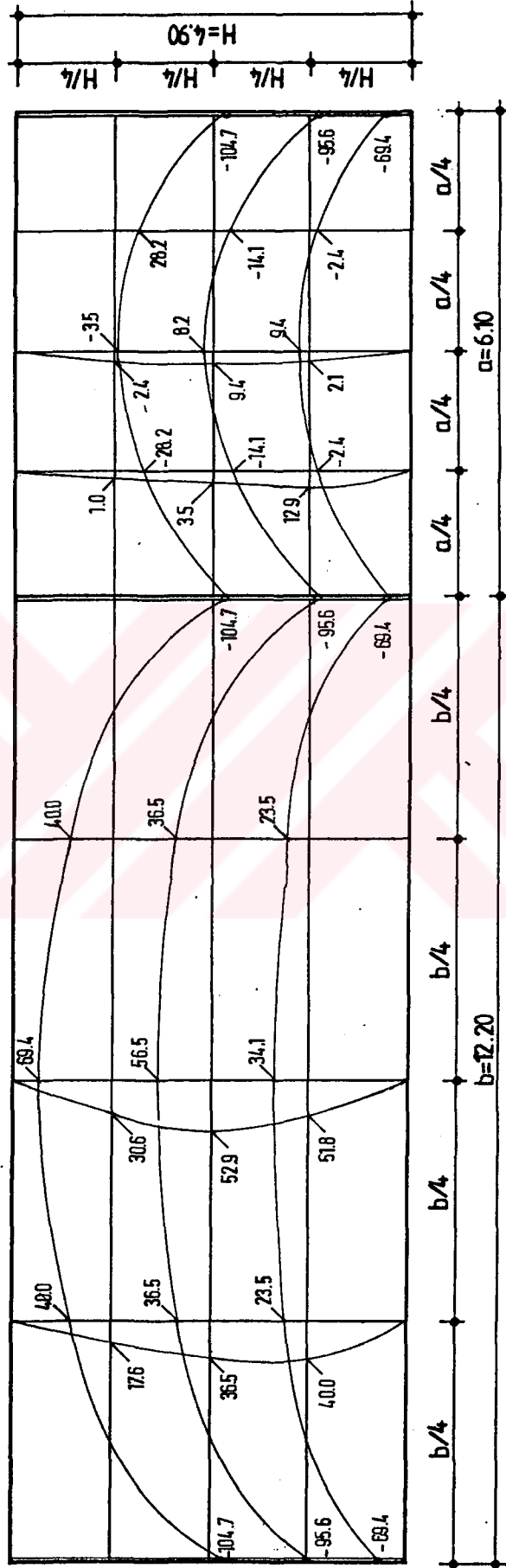
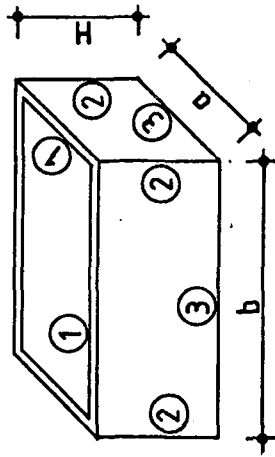


Şekil 5.7. Çizelge 5.10c de, Büyük ve Küçük Cıdarlar için Verilen Moment Değerlerine Bağlı Olarak Çizilen Moment Diyagramları



Seki 5.8. Çizelge 5.11a ve 5.11b de Büyük ve Küçük cidarlar için Verilen Moment Değerlerine Bağlı Olarak Çizilen Moment Diyagramları

- ① Serbest Mesnetli
 ② Ankastr Mesnetli
 ③ Basit Mesnetli



Ölçek : 0 50 100 250 kN-m

Ölçek : 0 1 2 3 m

Şekil 5.9. Çizelge 5.11c de Büyük ve Küçük Cıdalar için Verilen Moment Değerlerine Bağlı Olarak Çizilen Moment Diyagramları

BÖLÜM 6

DİKDÖRTGEN KESİTLİ SIVI DEPOLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE YAPISAL ÇÖZÜMLEMESİ

6.1. GİRİŞ

Sonlu elemanlar yöntemi yaklaşık bir yöntem olmakla beraber bilgisayar programlarına çok elverişli olduğundan, bilinen diğer yapısal çözümleme yöntemlerine göre çok daha güçlü bir yöntemdir. Argyis tarafından ortaya atılan bu yöntem hakkında 1954-1955 yıllarında birçok bildiri, 1956 yılında ise Turner, Clough, Martin ve Top tarafından çeşitli makaleler yayımlanmıştır (Holand ve Bell, 1970)

Bilindiği gibi sürekli ortamlar mekaniğinde, birçok problemin çözümü için, gerilme ve şekildeğiştirme dağılımlarının belirlenmesi gerekli olmaktadır.

Günümüzde bu tür problemlerin en kompleksi bile, bilgisayarların kullanılmasıyla, sonlu elemanlar yöntemine göre kolaylıkla çözülebilmektedir. Bu bölümde sonlu elemanlar yönteminin temel ilkeleri kısaca hatırlatılarak yöntemin, dikdörtgen eleman kullanımıyla, cidarları eğilmeli birer plaktan ibaret olan dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarına uygulanması üzerinde durulmaktadır.

6.2. Sonlu Elemanlar Yönteminin Temel İlkeleri

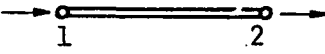
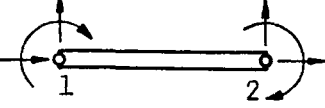
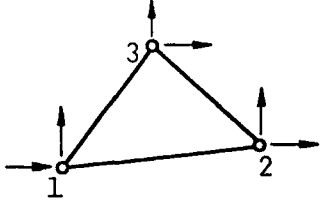
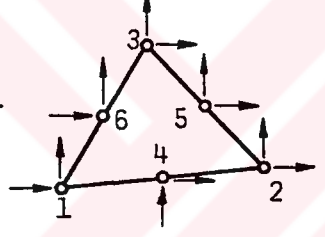
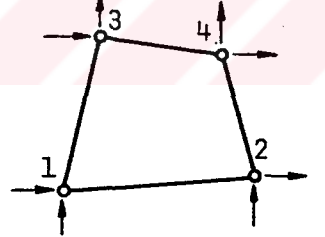
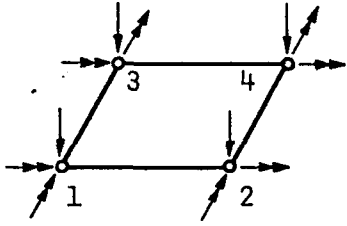
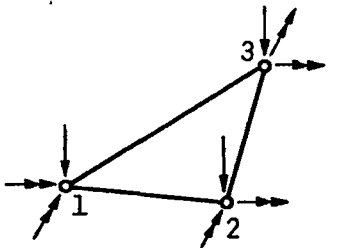
Sonlu elemanlar yöntemiyle çeşitli mühendislik yapıları, düğüm noktalarında birbiriyle birleşen, sonlu sayıda elemandan meydana geldiği dikkate alınmaktadır. Bu elemanların kuvvet-yerdeğiştirme bağıntılarının bilinmesi halinde, bilinen hesap yöntemleri kullanılarak çeşitli mühendislik yapılarının yapısal çözümlemesi dolayısıyla da davranışlarının incelenmesi mümkün olmaktadır.

Bir sürekli ortamı gerçekten temsil edebilmek ancak sonsuz sayıda eleman seçmekle mümkün olabilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin yaklaşıklığının büyük bir kısmında bu kabulden kaynaklanmaktadır. Plaklar, levhalar, kabuklar, barajlar ve benzeri yapılar içten hiperstatik yapılar gibi düşünülebileceklerinden hiperstatiklik derecesi sonsuzdur. Ancak, birçok mühendislik yapısının karmaşık ve düzensiz geometrik şekle sahip oluşu ve inşalarında kullanılan malzeme özelliklerinin de kompleks olması (non-linear, homogen olmayan) nedeniyle bu tür problemlerin çözümünde genellikle yaklaşık yöntemler kullanılmaktadır.

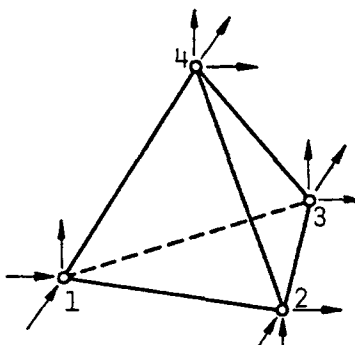
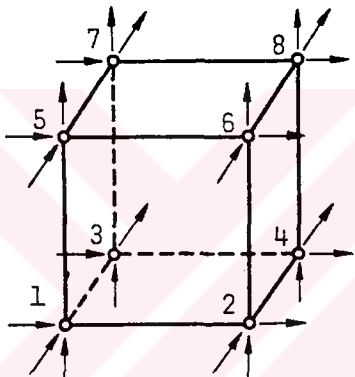
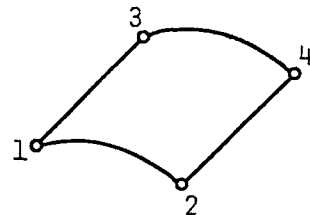
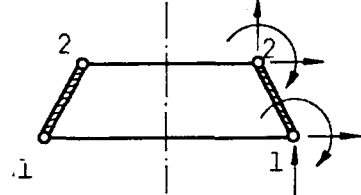
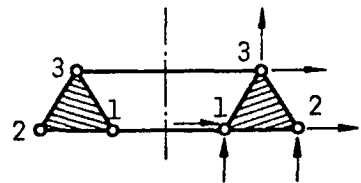
Bu nedenle sonlu elemanlar yönteminde de yapı, sonlu sayıda uygun elemanlara ayrılarak idealleştirilmektedir. Bu idealleştirmede, eleman sınırlarına etkiyen yayılı kesit etkileri dolayısıyla da gerilmeler, bu elemanların birleştiği düşünülen sonlu sayıda düğüm noktasında fiktif kuvvetlerle gösterilmektedir. Böylece, hiperstatik derecesi sonsuz olan yapıların çözümlemesi, sonlu sayıda uygun elemanlarla temsil edilen bir modeli üzerinde yapılabilir. Bu yöntemde elemanların her bir düğüm noktasına etkiyen bir yük vektörüne, bir yerdeğiştirme vektörü karşılık gelmektedir. Bir düzlem gerilme probleminde her düğüm noktasında, iki yük bileşenine karşılık gelen, sadece iki yerdeğiştirme bileşeni (serbestlik derecesi) bulunmaktadır. Plak eğilme problemlerinde ise üç ya da daha fazla serbestlik derecesi ortaya çıkmaktadır.

Çeşitli yapı ya da yapı elemanlarının çözümünde sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında kullanılan; çubuk, üçgen, dörtgen, dörtyüzlü ve pirizma gibi sonlu eleman örnekleri Çizelge 6.1 de verilmektedir. Çizelgedeki elemanların uygulama alanları her bir düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme bileşenleri ile düğüm noktası kuvvetleri gösterilmekte ve serbestlik dereceleri verilmektedir. Bu çizelgede verilen bir, iki ve üç boyutlu tipik elemanlar daha uygun çözüm elde etmek için, uzun araştırmalar sonunda elde edilen eleman tipleridir (Holand ve Bell, 1970). Bazı problem türleri için seçilen sonlu eleman ağları ve eleman tipleri Çizelge 6.2 de verilmektedir.

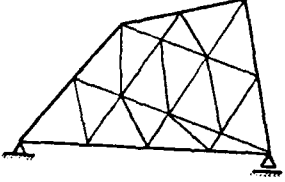
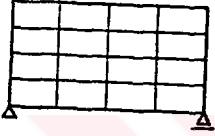
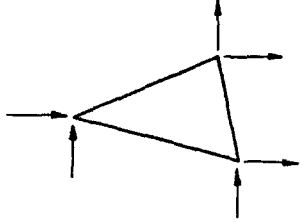
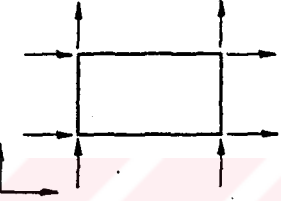
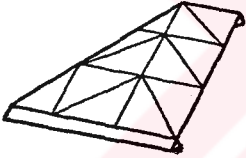
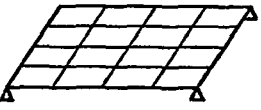
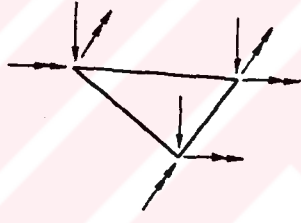
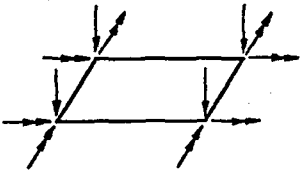
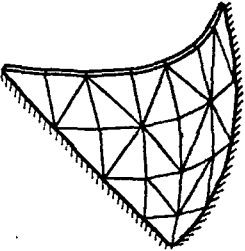
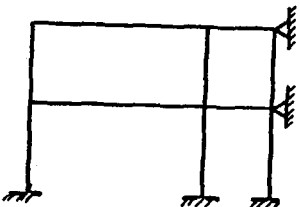

Çizelge 6.1. Sonlu Eleman Ağıının Oluşturulmasında Kullanılan Eleman Tipleri

| ELEMANLAR | Uygulama Alanı | Düğüm No. | Her düğüm noktasında serbestlik derecesi |
|---|----------------|-----------|--|
| Çubuk  | Kafes kiriş | 2 | 1 |
| Çubuk  | Çerçeveler | 2 | 3 |
| Üçgen (Sabit şekildeğiştirme)  | Düzlem Gerilme | 3 | 2 |
| Üçgen (Linear şekildeğiştirme)  | Düzlem Gerilme | 6 | 2 |
| Dörtgen  | Düzlem Gerilme | 4 | 2 |
| Dikdörtgen (Eğilme)  | Plak | 4 | 3 |
| Üçgen (Eğilme)  | Plak | 3 | 3 |

Çizelge 6.1 (Devam)

| | | | |
|--|---|----------|------------|
| <p>Dörtüzlü</p>  | <p>Üç Boyutlu Gerilme</p> | <p>4</p> | <p>3</p> |
| <p>Prizma</p>  | <p>Üç Boyutlu Gerilme</p> | <p>8</p> | <p>3</p> |
| <p>Dikdörtgen Kabuk Eleman</p>  | <p>Silindirik Kabuklar, Katlanmış Plaklar</p> | <p>4</p> | <p>5-6</p> |
| <p>Kesik Koni</p>  | <p>Simetri Eksenli Kabuklar</p> | <p>2</p> | <p>3</p> |
| <p>Halka, Üçgen Kesit</p>  | <p>Simetri Eksenli Cisimler</p> | <p>3</p> | <p>2</p> |

Çizelge 6.2. Sonlu Eleman Ağlarına Ait Bazı Örnekler

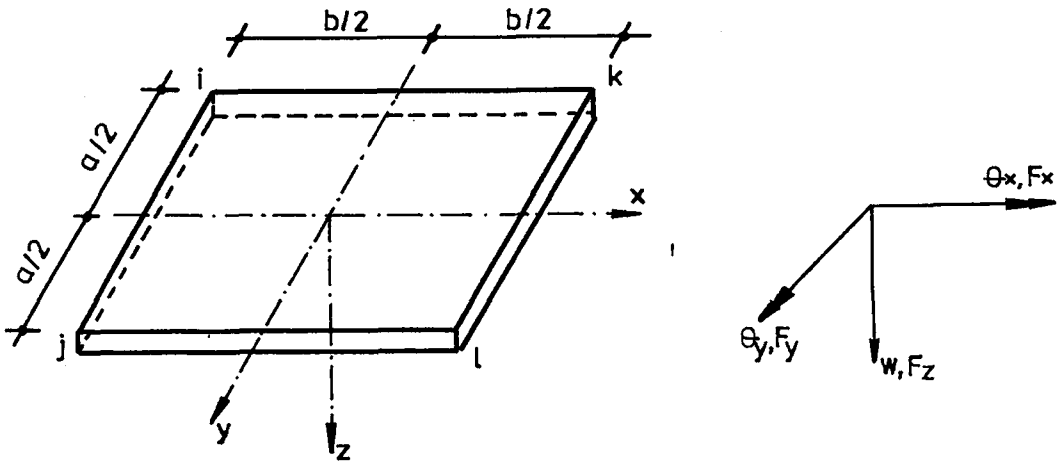
| PROBLEMİN TİPİ | Eleman Düğüm Noktası Yerdeğiştirmeleri ve Düğüm Noktası Kuvvetleri | Her Düğüm Noktasında Serbestlik Derecesi |
|---|---|--|
| <p>1) Düzlem Gerilme</p> <p>a) Üçgen elemanlar</p>  <p>b) Dikdörtgen elemanlar</p>  |   | 2 |
| <p>2) Eğilmeli Plaklar</p> <p>a) Üçgen elemanlar</p>  <p>b) Dikdörtgen Elemanlar</p>  |   | 3 |
| <p>3) Çift Eğrilikli Kabuklar</p>  | 1+2 | 5 |
| <p>4) Düzlem Çerçeve</p>  |  | 1 |

Yukarıdaki çizelgelerden de (Çizelge 6.1 ve 6.2) görüldüğü gibi sonlu elemanlar ağını oluşturan elemanların büyüklükleri ve şekilleri problemin önem ve cinsine göre düzensiz geometrik biçimlerde de seçilebilmektedir. Örneğin düzgün geometrik şekle sahip plaklarda dikdörtgen elemanlar basitlik sağlamakla beraber, düzgün olmayan plaklarda (plakta çatlak ya da boşluk bulunması halleri) üçgen elemanların seçilmesi daha uygun olabilmektedir (Holand ve Bell, 1970).

Burada sonlu elemanlar yönteminin mühendislik yapıları dışında daha birçok alanda, özellikle bilgisayarların gelişmesiyle kolaylıkla uygulanabildiğini de belirtmek uygun olmaktadır.

6.3. Sonlu Elemanlar Yönteminde Plak Problemleri İçin Dikdörtgen Elemanların Kullanılması

Birçok mühendislik problemi "plak problemi" sınıfına girmektedir. Bir dikdörtgen plak elemanının her düğüm noktasında, bir çökme, iki dönme olmak üzere; üç serbestlik derecesi ve bu serbestlik derecesine karşılık gelen üç düğüm noktası kuvveti bulunmaktadır. Şekil 6.1 de eni, boyu ve kalınlığı sırasıyla a , b ve t olan dikdörtgen bir plak elemanı uygun bir koordinat sisteminde verilmektedir.



Şekil 6.1. Dikdörtgen Bir Plak Elemanı ve Bir Düğüm Noktasının Serbestlik Dereceleri

Bir dikdörtgen plak elemanında her düğüm noktasında üç adet olmak üzere toplam oniki serbestlik derecesi bulunmaktadır. Bu nedenle problemin çözümünde oniki bilinmeyen katsayı içeren uygun bir yerdeğiştirme fonksiyonunun seçilmesi gerekmektedir. Bu yerdeğiştirme fonksiyonu ;

$$\{f\} = w = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 x^2 + \alpha_5 xy + \alpha_6 y^2 + \alpha_7 x^3 + \alpha_8 x^2 y + \alpha_9 xy^2 + \alpha_{10} y^3 + \alpha_{11} x^3 y + \alpha_{12} xy^3 \quad (6.1)$$

olarak seçilmektedir (Ghali ve Neville, 1986). $\{\delta^e\}$ x ve y koordinatlarına bağlı eleman düğüm noktalarının çökme ve dönmelerini göstermek üzere; bir düğüm noktasında düğüm noktası çökme ve dönmeleri

$$\{\delta\} = \begin{Bmatrix} w \\ \theta_x \\ \theta_y \end{Bmatrix} \quad (6.2)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir. Bu durumda bir dikdörtgen elemanda düğüm noktalarının çökme ve dönmeleri (parametreleri)

$$\{\delta^e\} = \{w_i, \theta_{x_i}, \theta_{y_i} \mid w_j, \theta_{x_j}, \theta_{y_j} \mid w_k, \theta_{x_k}, \theta_{y_k} \mid w_l, \theta_{x_l}, \theta_{y_l}\} \quad (6.3)$$

değerini almaktadır. Bu düğüm parametreleri matris formunda yazılırsa, bir düğüm noktasında;

$$\begin{Bmatrix} w \\ \theta_x \\ \theta_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & x^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & xy & y^2 & x^3 & x^2 y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & xy^2 & y^3 & x^3 y & xy^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \\ \alpha_9 \\ \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \end{Bmatrix} \quad (6.4)$$

ya da

$$\{\delta(x,y)\} = [f(x,y)] \{\alpha\} \quad (6.5)$$

şeklini almaktadır.

Bu dikdörtgen plak elemanında her bir düğüm noktasının koordinatları denklem (6.4) de yerine yazılırsa; örneğin i düğüm noktasında;

$$x_i = -\frac{b}{2}, \quad y_i = -\frac{a}{2}$$

$$[f(x,y)] = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{b}{2} & -\frac{a}{2} & \frac{b^2}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{ba}{4} & \frac{a^2}{4} & -\frac{b^3}{8} & -\frac{b^2a}{8} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{ba^2}{8} & -\frac{a^3}{8} & \frac{b^3a}{16} & \frac{a^3b}{16} \end{bmatrix}$$

değerini almaktadır. Benzer şekilde diğer düğüm noktası koordinatları yazılırsa eleman parametreleri

$$\{\delta^e\} = \begin{Bmatrix} \{\delta_i\} \\ \{\delta_j\} \\ \{\delta_k\} \\ \{\delta_\ell\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{\delta(x_i, y_i)\} \\ \{\delta(x_j, y_j)\} \\ \{\delta(x_k, y_k)\} \\ \{\delta(x_\ell, y_\ell)\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} [f(x_i, y_i)] \\ [f(x_j, y_j)] \\ [f(x_k, y_k)] \\ [f(x_\ell, y_\ell)] \end{Bmatrix} \{\alpha\} \quad (6.6)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklem daha açık yazılırsa,

$$\{\delta^e\} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{b}{2} & -\frac{a}{2} & \frac{b^2}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{ba}{4} & \frac{a^2}{4} & -\frac{b^3}{8} & -\frac{b^2a}{8} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{ba^2}{8} & -\frac{a^3}{8} & \frac{b^3a}{16} & \frac{a^3b}{16} \\ 1 & -\frac{b}{2} & \frac{a}{2} & \frac{b^2}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{ba}{4} & \frac{a^2}{4} & -\frac{b^3}{8} & -\frac{b^2a}{8} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{ba^2}{8} & -\frac{a^3}{8} & -\frac{b^3a}{16} & -\frac{ba^3}{16} \\ 1 & \frac{b}{2} & -\frac{a}{2} & \frac{b^2}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{ba}{4} & \frac{a^2}{4} & \frac{b^3}{8} & -\frac{b^2a}{8} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{ba^2}{8} & -\frac{a^3}{8} & -\frac{b^3a}{16} & -\frac{a^3b}{16} \\ 1 & \frac{b}{2} & \frac{a}{2} & \frac{b^2}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{ba}{4} & \frac{a^2}{4} & \frac{b^3}{8} & \frac{b^2a}{8} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{ba^2}{8} & \frac{a^3}{8} & \frac{b^3a}{16} & \frac{ba^3}{16} \end{bmatrix} \{\alpha\} \quad (6.7)$$

şeklını alır. Bu da kısaca

$$\{\delta^e\} = [A] \{\alpha\} \quad (6.8)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu denklemde bilinmeyen katsayılar vektörü olan α ,

$$\{\alpha\} = [A]^{-1} \{\delta^e\} \quad (6.9)$$

denkleminde elde edilebilir.

Bir dikdörtgen plak elemanında herhangi bir noktadaki şekildeğiştirme

$$\{\varepsilon(x,y)\} = \left\{ \begin{array}{c} -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ \frac{2\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{array} \right\} \quad (6.10)$$

ifadesi ile verilmektedir. (6.1) denkleminde verilen yerdeğiştirme fonksiyonunun türevlerinden şekildeğiştirme bileşenleri;

$$\{\varepsilon(x,y)\} = \left[\begin{array}{cccc} -2\alpha_4 & -6\alpha_7 x & -2\alpha_8 y & -6\alpha_{11} xy \\ -2\alpha_6 & +2\alpha_9 x & +6\alpha_{10} y & +6\alpha_{12} xy \\ \alpha_5 & +2\alpha_8 x & +2\alpha_9 y & +3\alpha_{11} x^2 + 3\alpha_{12} y^2 \end{array} \right]$$

olarak elde edilmektedir. Bu denklem

$$\{\varepsilon(x,y)\} = \left[\begin{array}{cccccccccccc} 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & -6x & -2y & 0 & 0 & -6xy & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & -2x & -6y & 0 & -6xy \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 4x & 4y & 0 & 6x^2 & 6y^2 \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \\ \alpha_7 \\ \alpha_8 \\ \alpha_9 \\ \alpha_{10} \\ \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \end{array} \right\} \quad (6.11)$$

şeklinde, ya da

$$\{\varepsilon(x,y)\} = [C] \{\alpha\} \quad (6.12)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (6.9) daki $\{\alpha\}$ değeri yerine yazılırsa (6.12) denklemi

$$\{\varepsilon(x,y)\} = [C] [A]^{-1} \{\delta^e\} \quad (6.13)$$

şeklini alır. $[B] = [C] [A]^{-1}$ olarak gösterilirse, (6.13) denklemi

$$\{\varepsilon(x,y)\} = [B] \{\delta^e\} \quad (6.14)$$

şekline gelir. izotrop bir plak için moment eğrilik bağıntısı;

$$[D] = N \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (6.15)$$

$$N = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \quad (6.16)$$

olmak üzere;

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = [D] [B] \{\delta^e\} \quad (6.17)$$

şeklindedir.

E_x , E_y , ν_x , ν_y ve G ortotrop malzeme sabitlerini ve

$$\begin{aligned} D_x &= \frac{E_x t^3}{12(1-\nu_x \nu_y)} \\ D_y &= \frac{E_y t^3}{12(1-\nu_x \nu_y)} \\ D_1 &= \frac{\nu_x E_x t^3}{12(1-\nu_x \nu_y)} = \frac{\nu_x E_x t^3}{12(1-\nu_x \nu_y)} \end{aligned} \quad (6.18)$$

Timoshenko ve Woinowisky-Krieger tarafından kullanılan ortotropik rijitlikleri göstermek üzere; ortotrop bir plak için (6.15) ifadesi,

Çizelge 6.3. İzotrop Bir Plak Elemanın Dört Köşesindeki Momentler

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------|-----------|----------|-----------------|-----------|-----------|-----------------|------------|----------|-----------------|-----------|---|
| M_{xi} | $6p^{-1} + 6vp$ | $4vc$ | $-4b$ | $-6vp$ | $2vc$ | 0 | $-6p^{-1}$ | 0 | $-2b$ | 0 | 0 | $\left. \begin{array}{l} \{\delta\}_i \\ \{\delta\}_j \\ \{\delta\}_k \\ \{\delta\}_l \end{array} \right\}$ |
| | $6p + 6vp^{-1}$ | $4c$ | $-4vb$ | $-6p$ | $2c$ | 0 | $-6vp^{-1}$ | 0 | $-2vb$ | 0 | 0 | |
| | $-(1-v)$ | $-(1-v)b$ | $(1-v)c$ | $(1-v)$ | 0 | $-(1-v)c$ | $(1-v)$ | $-(1-v)$ | $(1-v)b$ | 0 | 0 | |
| | $-6vp$ | $-2vc$ | 0 | $6p^{-1} + 6vp$ | $-4vc$ | $-4b$ | 0 | $-6p^{-1}$ | 0 | $-2b$ | 0 | |
| M_{yj} | $-6p$ | $-2c$ | 0 | $6p + 6vp^{-1}$ | $-4c$ | $-4vb$ | 0 | 0 | 0 | $-2vb$ | | |
| M_{xyi} | $-(1-v)$ | 0 | $(1-v)c$ | $(1-v)$ | $-(1-v)b$ | $-(1-v)c$ | $(1-v)$ | 0 | 0 | $(1-v)b$ | 0 | |
| M_{xk} | $-6p^{-1}$ | 0 | $2b$ | 0 | 0 | 0 | $6p^{-1} + 6vp$ | $4vc$ | $4b$ | $2vc$ | 0 | |
| M_{yk} | $-6vp^{-1}$ | 0 | $2vb$ | 0 | 0 | 0 | $6p + 6vp^{-1}$ | $4c$ | $4vb$ | $2c$ | 0 | |
| M_{xyk} | $-(1-v)$ | $-(1-v)b$ | 0 | $(1-v)$ | 0 | 0 | $(1-v)$ | $(1-v)b$ | $(1-v)c$ | 0 | $-(1-v)c$ | |
| M_{x1} | 0 | 0 | 0 | $-6p^{-1}$ | 0 | $2b$ | $-6vp$ | $-2vc$ | 0 | $6p^{-1} + 6vp$ | $4b$ | |
| M_{y1} | 0 | 0 | 0 | $-6vp^{-1}$ | 0 | $2vb$ | $-6p$ | $-2c$ | 0 | $6p + 6vp^{-1}$ | $4vb$ | |
| M_{xy1} | $-(1-v)$ | 0 | 0 | $(1-v)$ | $-(1-v)b$ | 0 | $(1-v)$ | 0 | $(1-v)c$ | $-(1-v)$ | $(1-v)b$ | $-(1-v)c$ |

$$p = c/b \quad (c=b, b=a)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} D_x & D_1 & 0 \\ D_1 & D_y & 0 \\ 0 & 0 & D_{xy} \end{bmatrix} \quad (6.19)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (6.17) den bir izotrop plak elemanın dört köşesinde momentler Çizelge 6.3'deki gibi hesaplanabilmektedir (Ghali ve Neville, 1986).

Bir dikdörtgen eğilme elemanınının, 12 düğüm koordinatlarına göre, rijitlik matrisi

$$[K^e] = \begin{bmatrix} a/2 & b/2 \\ f & f \\ -a/2 & -b/2 \end{bmatrix} [B]^T [D] [B] \, dx \, dy \quad (6.20)$$

bağıntısıyla, yük vektörü ise

$$\{F^e\} = q \begin{bmatrix} a/2 & b/2 \\ f & f \\ -a/2 & -b/2 \end{bmatrix} [B]^T [D] [B] \, dx \, dy \, \{\delta^e\} \quad (6.21)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

SAYISAL UYGULAMA: 6.1. Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Dikdörtgen Kesitli Bir Su Deposunun Yapısal Çözümlemesi

Depo iç boyutları olarak eni, boyu ve yüksekliği sırasıyla $a=6.10$ m, $b=12.20$ m, $H=4.90$ m olan dikdörtgen kesitli betonarme bir su deposunun tam dolu halde yapısal çözümlemesi sonlu elemanlar yöntemiyle, çeşitli mesnet koşullarına göre, yapılmaktadır. Mesnet koşulu olarak daima düşey ayrıtlar ankastre olmak üzere;

- Üst kenar serbest-alt kenar ankastre mesnetli
- Üst ve alt kenar basit mesnetli
- Üst kenar serbest-alt kenar basit mesnetli
- Üst kenar basit mesnetli-alt kenarın ankastre mesnetli olması halleri dikkate alınmaktadır. Yapısal çözümlemede depo

bir çözüm için toplam otuziki elemanlı, diğer bir çözüm için ise, seksen elemanlı bir eleman ağı ile gösterilmiştir (Şekil 6.2a ve Şekil 6.2b). Çözümde "Structural Analysis Programmes (SAP 80)" adındaki paket program kullanılmıştır.

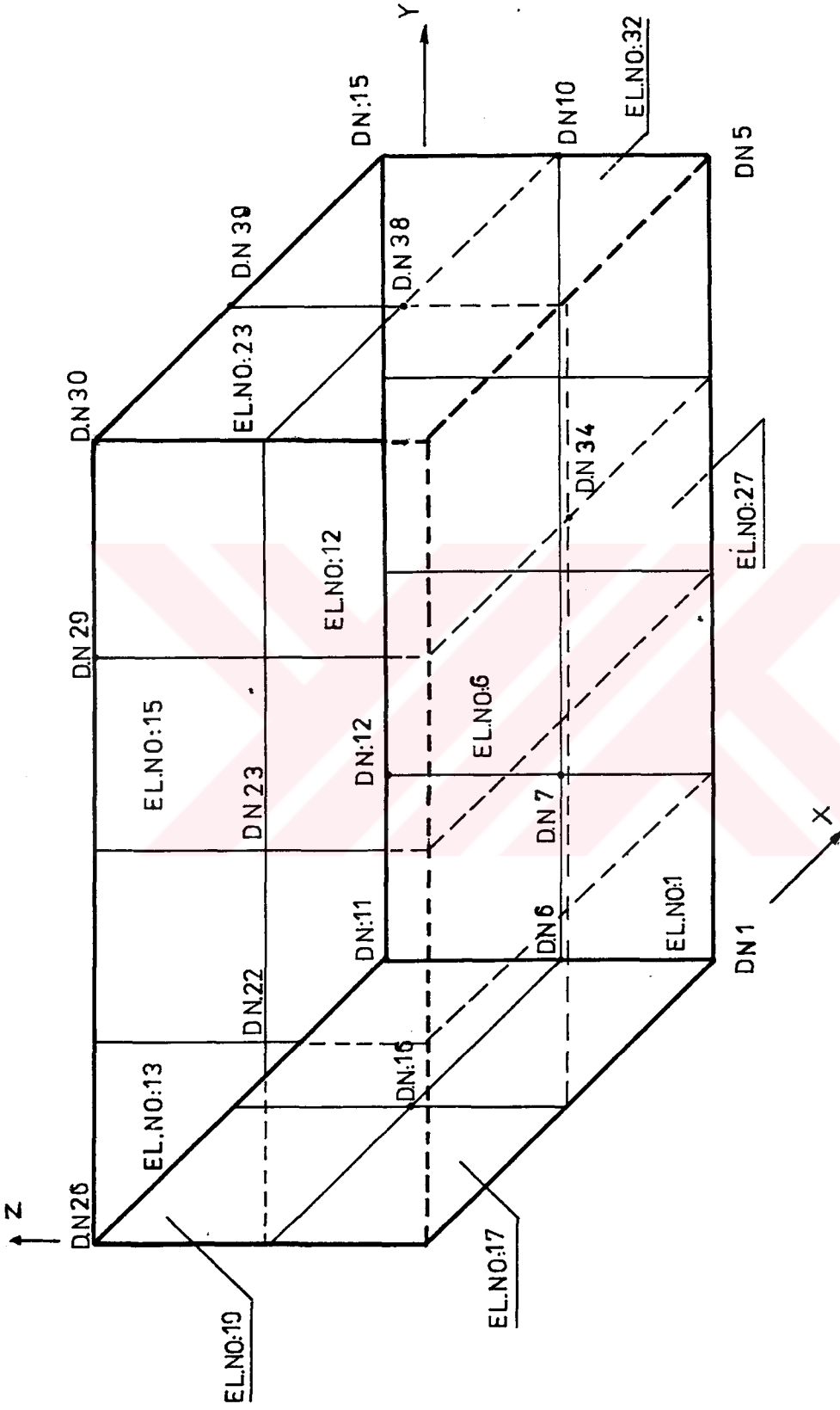
Yukarıda belirtilen mesnet koşullarına göre elde edilen moment değerleri Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6 da verilmektedir. Mesnet koşulları aynı olan; 32 ve 80 elemanlı modellerden elde edilen sonuçlar aynı şekil üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 de verilen sonuçların bu özel depoya ait olduğunu ve şimdiden genelleştirilmelerinin doğru olamayacağını belirtmek uygun olmaktadır. Deponun daha fazla elemana ayrılarak yapısal çözümlemesi yapılmak istenmişse de kullanılan paket programın yüz elemanla sınırlandırılmış olması buna imkan vermemiştir.

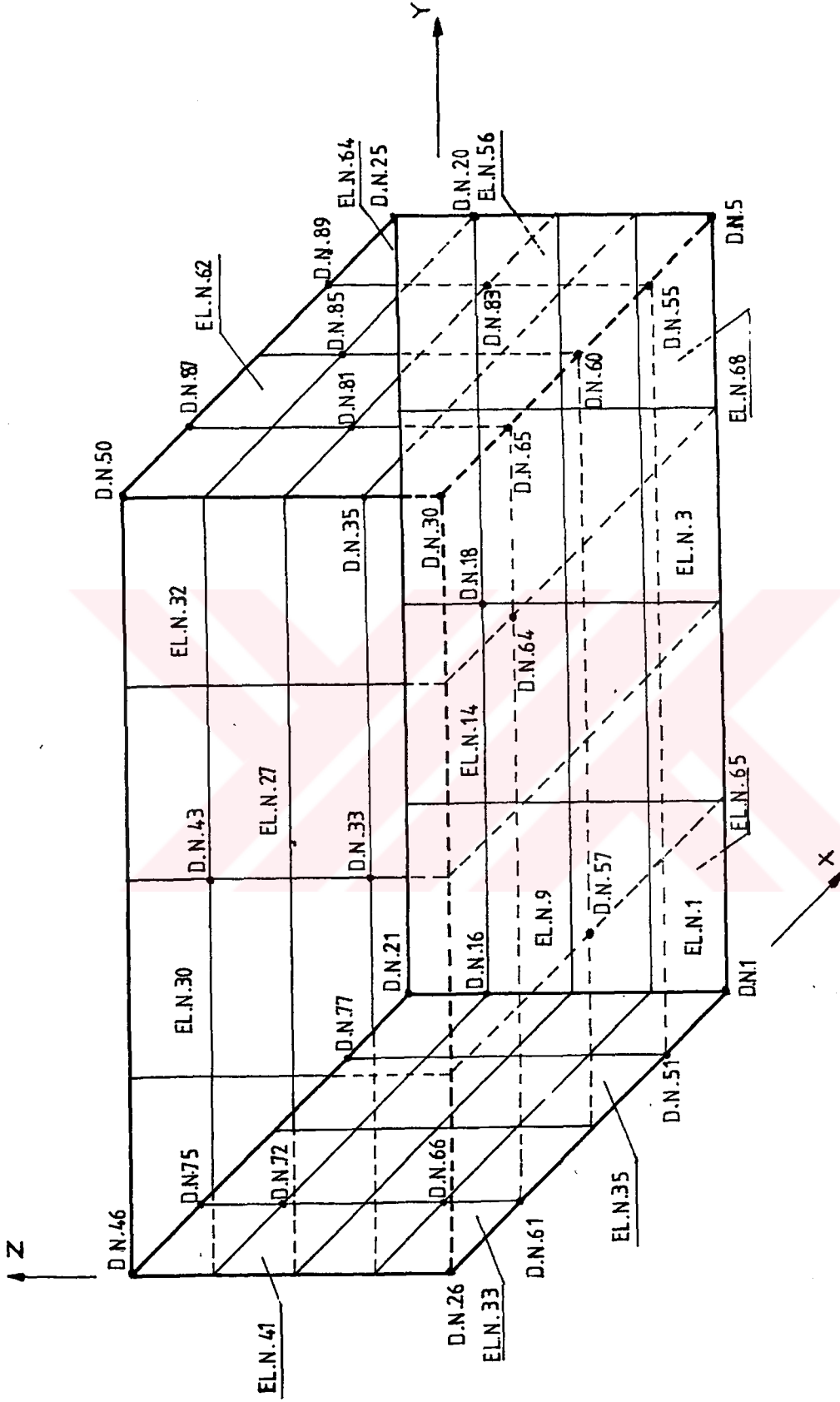
Diğer yöntemlerle Bölüm 8 de yapılan karşılaştırmalarda 80 elemanlı model çözümünden elde edilen sonuçlar dikkate alınacaktır.

Çizelge 6.4. Depo Cidarlarında Eleman Ağının Değiştirilmesinden Dolayı Elde Edilen Moment Değerlerinin Karşılaştırılması

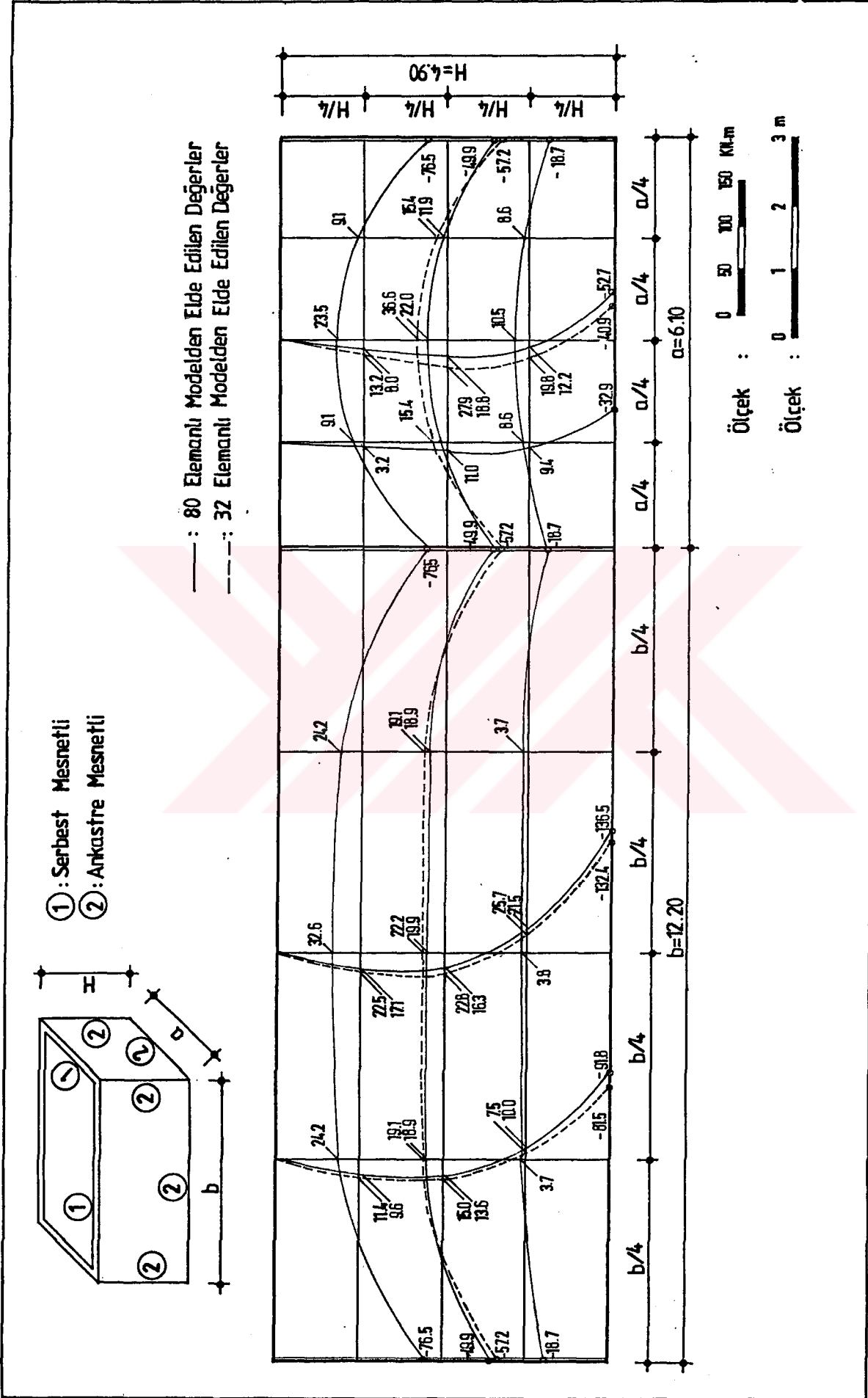
| Mesnet Koşulları | | (a) | (b) | (c) | (d) | |
|--|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Depo cidarlarının; 32 elemana ayrılarak yapılan çözümünden elde edilen moment değerlerinin, 80 elemanlıdan elde edilen moment değerlerine göre durumları | Açıklık Momentleri | Yatay | %12 daha büyük | %25 daha büyük | %9 daha büyük | %12 daha büyük |
| | | Düsey | %32 daha büyük | %58 daha büyük | %32 daha büyük | %24 daha büyük |
| | Düsey Kenarda Mesnet Momentleri | %15 daha büyük | %18 daha küçük | %2 daha büyük | %45 daha küçük | |



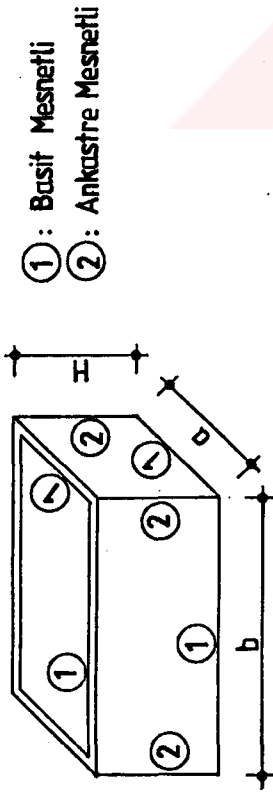
Şekil 6.2.a. Dikdörtgen Sıvı Deposunun 32 Elemanlı Sonlu Elemanlar Modeli



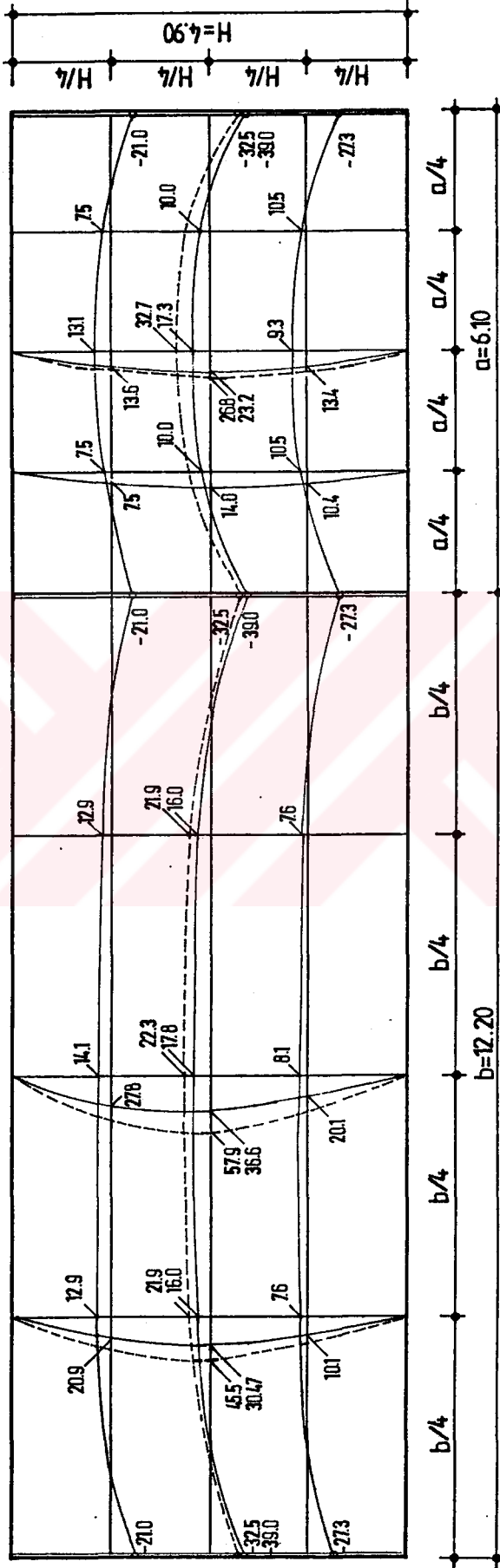
Şekil 6.2b. Dikdörtgen Sıvı Deposunun 80 Elemanlı Sonlu Elemanlar Modeli



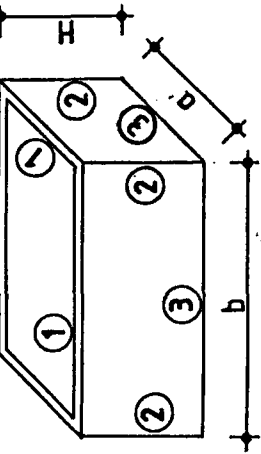
Şekil 6.3. Üst Kenarları Serbest, Alt Kenarları Ankastre Mesnetli Olan Deponun Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Moment Diyagramları



— : 80 Elemanlı Modelden Elde Edilen Değerler
- - - : 32 Elemanlı Modelden Elde Edilen Değerler

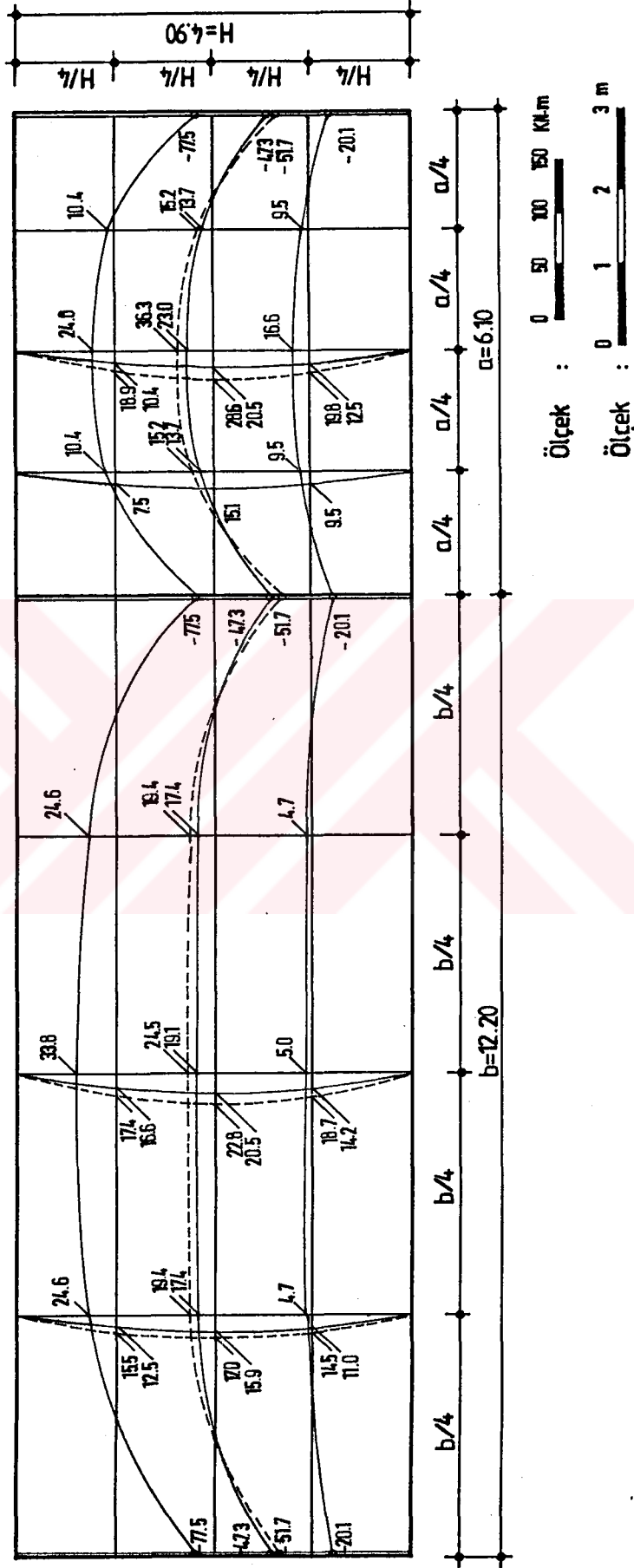


Şekil 6.4. Üst ve Alt Kenarları Basit Mesnetli Olan Deponun Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Moment Diyagramları

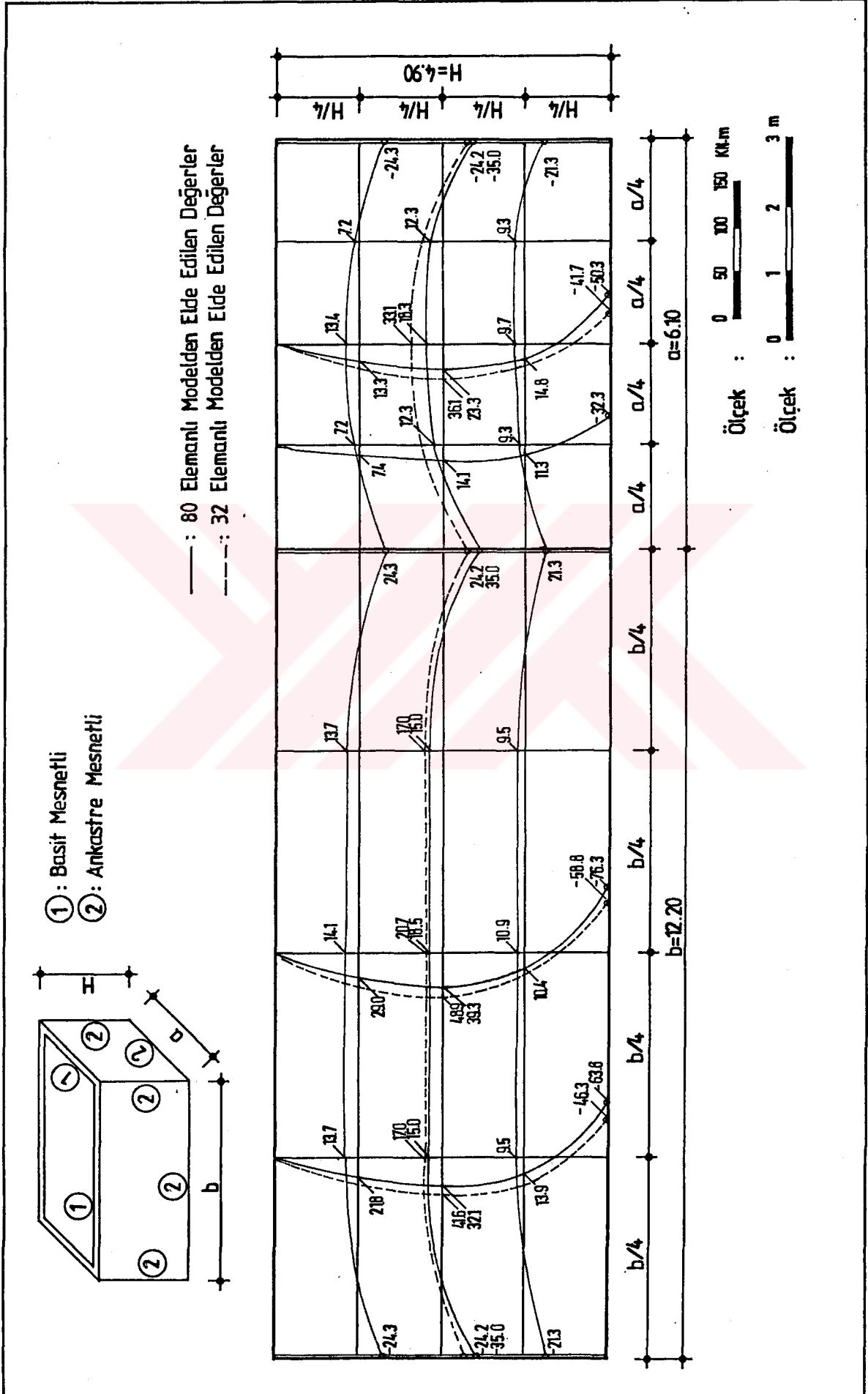


- ①: Serbest Mesnetli
 ②: Ankastre Mesnetli
 ③: Basit Mesnetli

— : 80 Elemanlı Modelden Elde Edilen Değerler
 - - - : 32 Elemanlı Modelden Elde Edilen Değerler



Şekil 6.5. Üst Kenarları Serbest ve Alt Kenarları Basit Mesnetli Olan Deponun Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Moment Diyagramları



Şeki 1 6. 6. Üst Kenarları Basit, Alt Kenarları Ankastre Mesnetli Olan Deponun Sonlu Elemanlar Yöntemine Göre Moment Diyagramları

BÖLÜM 7

PLAKLARIN PLASTİK MAFSAL ÇİZGİLERİ TEORİSİNE GÖRE HESABI

7.1. GİRİŞ

Bu bölümde plastik mafsal çizgileri teorisi üzerinde durulmakta ve teori dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının projelendirilmesine tatbik edilmektedir. Bunun için önce hesaplarda dikkate alınan sınır durumlar ve göçme şekilleri ile betonarme plakların genel davranışları irdelenmekte, daha sonra sınır çözümüleme yönteminin temel ilkeleri verilmekte ve tüm bu bilgilerin ışığında plastik mafsal çizgileri teorisi dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarına uygulanmaktadır.

7.2. PLAKLARDA SINIR DURUMLAR VE GÖÇME ŞEKİLLERİ

Bir yapının emniyeti, dikkate alınan çeşitli sınır durumlara uygun göçme kriterlerinin kullanılmasıyla sağlanabilir.

Plakların hesabında ise çatlama sınır durumu, şekildeğiştirme sınır durumu ve göçme sınır durumu olmak üzere üç farklı durumu dikkate almak gerekmektedir. Betonarme plaklarda göçme genellikle zımbalama ya da eğilme dayanımının tükenmesiyle meydana gelmektedir. Bu bölümde eğilme dayanımının tükenmesinden doğan göçme üzerinde durulmaktadır. Ancak zımbalama göçmesine karşı emniyetin de yönetmeliklere uygun olarak sağlanması gerekmektedir.

Bu bölümde plakların zımbalama göçmesine göre emniyetinin sağlandığı, dolayısıyla da göçmenin, eğilme dayanımının tükenmesiyle meydana geldiği kabul edilmektedir.

7.3. EĞİLME DAYANIMININ TÜKENMESİYLE OLUŞAN GÖÇME

7.3.1. Betonarme Plakların Davranışı

Betonarme plakların artan yükler altında davranışı, zimbala- ma göçmesinin olmayacağı kabulüyle, genellikle aşağıdaki aşama- lardan meydana gelmektedir.

a) Elastik Aşama:

Bu aşamada eğilme momenti dağılımı elastik dağılıma karşılık gelmektedir.

b) Çatlama Aşaması:

Bu aşamada çekme bölgesinde betonun çatlamasıyla, çatlama kesitin eylemsizlik momenti giderek azalmakta ve bu azalma eğilme momentlerinin dağılımının değişmesine neden olmaktadır. Çatlama kesitteki momentler daha hızlı artmakta, ancak donatıdaki geril- meler akma gerilmesinden küçük kaldığı sürece, çatlak açıklıkları sınırlı kalmaktadır.

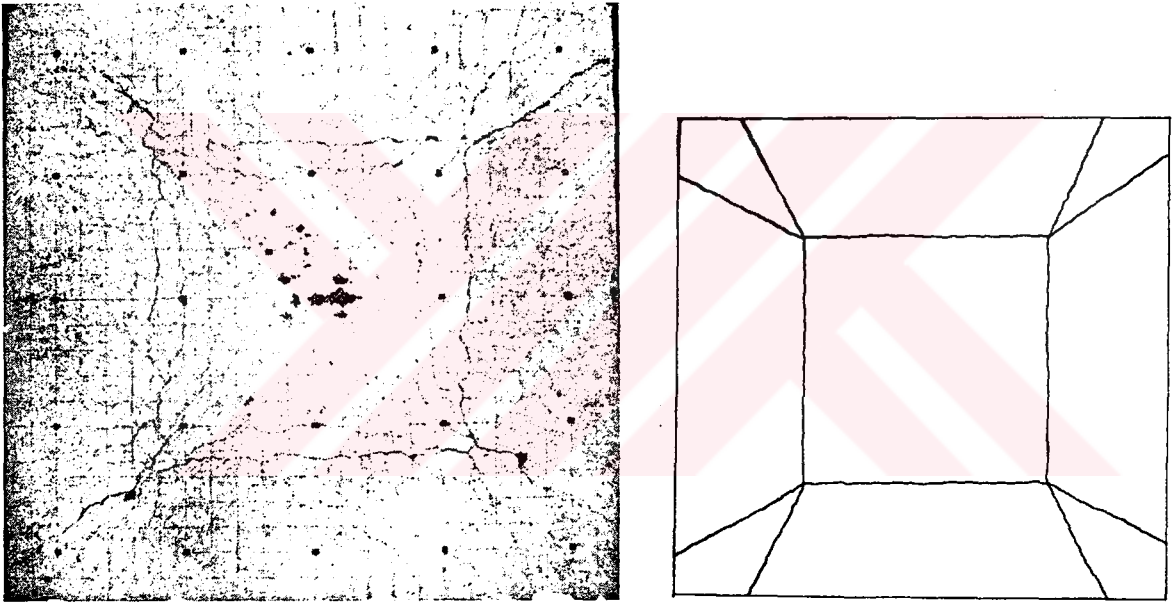
c) Plastikleşme Aşaması:

Asal çekme donatısı oranının dengeli donatı oranından küçük olması halinde, plaklarda genellikle durum böyledir, donatılar yük artmaya devam ettikçe momentin en büyük olduğu bölgede gide- rek akarlar. Donatının akma gerilmesine ulaştığı kesitler şekil- değiştirmeye devam eder. Ancak bu kesitlerde momentlerdeki artış ihmal edilecek kadar küçüktür. Bu nedenle momentlerdeki yeniden dağılımlar bir önceki aşamaya göre büyük değerlere ulaşır. Dona- tılardaki akma en fazla açılan çatlakların yoğunlaştığı dar bir şerit boyunca yayılır. Bu şeritlere bu bölgede "plastik mafsallı çizgileri" adı verilmektedir. Bu çizgiler özellikle plak gibi düzlem taşıyıcının şekline, mesnet koşullarına, donatıların da- ğılımına ve yükleme şekline bağlı olarak gelişir. Bununla bera- ber plastik mafsallı çizgileri şemasının daima bir doğru parçası olduğu kabul edilebilir.

d) Göçme Aşaması:

Plastik mafsallı çizgileri belirli bir gelişme safhasına ula- şınca, plak "mekanizma" durumuna ulaşır. Diğer bir deyişle, yükün

küçük bir artımına karşı, plak kararsız denge konumuna gelir ve plastik mafsalsal çizgisi etrafında dönerek şekil değiştirmeye devam eder. Dönmeler basınç bölgesindeki betonun ezilmesine kadar devam eder. Bu aşama sonunda tüm plastik mafsalsal çizgileri boyunca beton ezildiğinden plak taşıma kapasitesini kaybederek göçer. Durum böyle olunca bu çizgilere plastik mafsalsal çizgileri adının verilmiş olmasının gerekçesi daha iyi anlaşılmaktadır. Örnek olarak Şekil 7.1a ve Şekil 7.1b de basit mesnetli köşeleri tutulmamış simetrik tekil yük etkisindeki, basit mesnetli kare plağın plastik mafsalsal çizgilerinin deneysel ve idealize edilmiş şeması verilmektedir (Maldague, 1964).



Şekil 7.1. Köşelerinden Tutulmamış Dört Simetrik Tekil Yük Etkisinde Basit Mesnetli Bir Kare Plağın Plastik Mafsalsal Çizgileri Şeması

7.3.2. Göçme Sınır Durumuna Göre Hesapta Kullanılan Yöntemler

Ortalama düzlemine dik yüklerin etkisindeki plakların göçme sınır durumu hesabına ait bazı yabancı standartlarda aşağıdaki hükümler yer almaktadır (UNESCO, 1968).

Göçme sınır durumu denetimi için yeniden dağılımı dikkate alan yöntemler, özellikle plastik mafsalsal çizgileri teorisi ancak

aşağıdaki durumlarda uygulanabilir:

- 1) İncelenen yapının göçme şekli kesin olarak belli olmalı ya da uygun deneylerle belirlenmelidir.
- 2) Bu yöntemlerin temel kabulleri tamamen sağlanmalıdır.
- 3) Hesaplarda en elverişsiz yükleme durumu dikkate alınmalıdır.

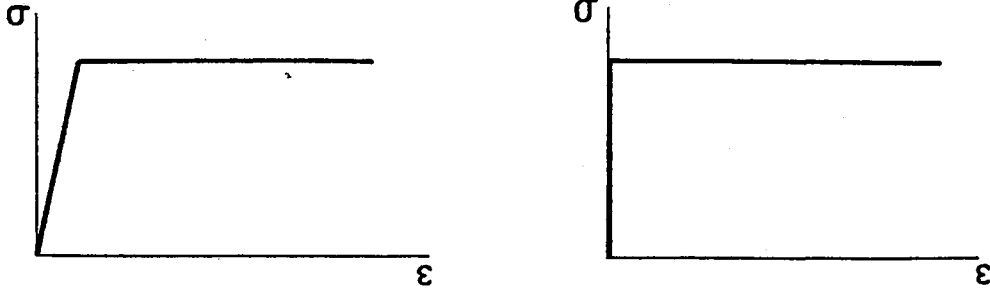
7.3.2.1. Elasto-Plastik Teori

Burada, hatırlatmak amacıyla düzlem taşıyıcı olan bir plağın yüklemenin başlangıcından göçme anına kadar davranışlarını belirtmek için en genel yöntem olan elasto-plastik teori üzerinde durulmaktadır. Bilindiği gibi bu teori, çatlama olayından ya da daha genel bir deyişle plastik şekildeğiştirmelerden doğan, elastik olmayan şekildeğiştirmelerin etkisini de dikkate almaktadır. Böylece plastik şekildeğiştirmelere karşılık gelen yeniden dağılımlar da değerlendirilmiş olmaktadır.

Bu teorinin uygulanması amacıyla geliştirilen pratik bir yöntemin temel ilkeleri 1950 den itibaren Franco Levi tarafından yayınlanmıştır (Levi,1950). Yöntem bu tarihten beri Levi ve Callari tarafından geliştirilmiştir (Callari, 1964 ve Levi,1965). Buna benzer bir yöntem 1966 da Massonet ve Cornelis tarafından geliştirilmiştir (Massonet ve Cornelis, 1966). Elasto-plastik teori yapıların davranışlarının göçmeye göre incelenmesine değil aynı zamanda kullanım yükleri altında incelenmesine de imkan vermektedir. O tarihlerde uygulanması son derece zor olan bu yöntem bugün artık bilgisayarların kullanıma girmesiyle yapıların boyutlandırılmasında da kullanılabilecek duruma gelmiştir.

7.3.2.2. Genel Sınır Çözümleme Teorisi

Genel sınır çözümleme teorisi sadece göçme sınır durumunu dikkate almaktadır. Bu hesapta gerçek malzeme yerine tamamen plastik olan ideal bir malzeme konmaktadır. Teknik literatürde bu malzeme elastik-plastik ya da rijit-plastik olarak dikkate alınmaktadır (Şekil 7.2).



a) Elasto-plastik malzeme

b) Rijit-plastik malzeme

Şekil 7.2. İdeal Plastik Malzemeler

Bu iki kabule bağlı olarak genel teoremler birbirinin aynıdır. Bununla beraber betonarme plaklarda malzemenin rijit-plastik olduğu kabulü genellikle dolaylı bir şekilde yapılmaktadır. Burada sınır çözümlene yönteminin kullanılmasıyla elde edilecek göçme yüklerinin genellikle birbirinden farklı olacağını vurgulamak uygun olmaktadır. Gerçekten bu teori bir üst sınır ile bir alt sınırın var olduğunu ve gerçek göçme yükünün bu sınırlar arasında olduğunu göstermektedir. Yalnız bazı özel durumlarda göçme yükünün üst sınır ve alt sınıra karşılık gelen değerlerinin çakışması halinde elde edilen çözüme kesin çözüm adı verilmektedir.

Sınır çözümlene yöntemi ancak tam plastik malzemedan yapılmış herhangi bir sisteme uygulanabilir. Bununla beraber aşağıda plakların çözümlenmesi özel durumu için bazı ayrıntılı bilgilerle de verilmektedir.

Sınır çözümlene teorisi aşağıda belirtilen iki temel durumu dikkate almaktadır:

Plastikleşme sınır durumu:

a) Plaktaki eğilme momentleri, statikçe kabul edilebilir, bir dağılım gösterir. Diğer bir deyişle, bu momentler iç dengededirler ve uygulanan yükleride dengelerler. Öyleki plağın hiçbir kesitinde bu momentlerin değeri m direnme momentinden daha büyük olamaz.

b) Göçme mekanizması kinematik olarak kabul edilebilir olmalıdır. Diğer bir deyişle, göçme mekanizması plağın mesnet koşullarını sağlar. Yükler de, plastik şekildeğıştirmelerde ısının açığa çıkması gibi, pozitif bir iş yaparlar.

Aynı bir plak için belirli bir yük sistemini dengeleyen, statikçe kabul edilebilir sonsuz sayıda bir moment dağılımı mevcuttur. Benzer şekilde belirli bir yük sistemine kinematik olarak kabul edilebilir çeşitli mekanizma durumları da karşılık gelebilir. Statikçe kabul edilebilir her bir moment dağılımına karşılık, dikkate alınan elemanın çevresi üzerindeki denge denklemleri belirli bir P yükünün elde edilmesine karşılık gelmektedir. Aynı şekilde kinematik olarak kabul edilebilen her bir mekanizmaya iç kuvvetlerin işinin dış kuvvetlerin işine eşitliğinden belirli bir P yükü karşılık gelir. Yukarıda belirtilen temel iki sınır çözümlene teoremi aşağıda özetlenmektedir:

- Alt sınır teoremi (kinematik teorem):

Göçme yükü, kinematik olarak kabul edilebilir çeşitli mekanizmalara karşılık gelen tüm P yüklerinin alt sınırıdır. Diğer bir deyişle bu çeşitli P yükleri göçme yükünün üst sınırıdır. Bu nedenledir ki bu teoreme karşılık gelen çözümlere üst sınır çözümleri adı verilmektedir.

- Üst sınır teoremi (statik teorem):

Göçme yükü, statik olarak kabul edilebilir çeşitli moment dağılımlarına karşılık gelen tüm P yüklerinin üst sınırıdır. Diğer bir deyişle bu çeşitli P yükleri göçme yükünün alt sınırlarıdır. Bu nedenledir ki bu teoreme karşılık gelen çözümlere alt sınır çözümleri adı verilmektedir.

Bu iki teorem teklik teoremi adı verilen aşağıdaki teoremle de ifade edilebilir:

Kinematik olarak kabul edilebilir bir göçme mekanizmasına, statikçe kabul edilebilir bir moment dağılımı karşılık getirilebilirse bu iki duruma karşılık gelen göçme yükü gerçek göçme yüküdür. Bu durumda elde edilen çözüme, kesin çözüm adı verilmektedir.

7.3.2.3. Sınır Çözümleme Teorisinin Betonarme Plaklara Uygulanması

7.3.2.3.1. Uygulama Koşulları

Betonarme malzemesi ideal plastik malzeme tanımına, tam uymamakla beraber, kullanılan donatı oranının dengeli donatı oranından küçük olması koşuluyla bu teori büyük bir yaklaşıklıkla betonarmeye tatbik edilebilmektedir. Pratik olarak plaklarda asal çekme donatısı oranı devamlı bu koşulu sağlamaktadır. Durum böyle olunca artan yükler altında göçme anına kadar betonarme bir plak ardışık olarak madde 7.3.1 de belirtilen davranış aşamalarını gösterir. Daha önce de belirtildiği gibi göçme, plastik mafsallık çizgileri boyunca donatının çekme gerilmesi altında giderek plastikleşmesini takiben, plağın bir mekanizmaya dönüşmesiyle meydana gelmektedir.

Burada sınır çözümleme teorisinin sadece belirgin bir akma sınırı gösteren (yumuşak çelik) donatıyla donatılmış betonarme yapılara uygulanmasının uygun olacağını belirtmek gerekmektedir. Bununla beraber Maldageu tarafından betonarme plaklar (Maldageu, 1964), Illinois Üniversitesinde (University of Illinois, 1963) betonarme kirişli ve kirişsiz döşemeler üzerinde gerçekleştirilen deneylerde pekleştirilmiş donatı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu tip donatılarla donatılmış elemanların hesabında sınır çözümleme yönteminin kullanılmasının pratik ihtiyaçlar için yeterli doğrulukta olduğu gösterilmiştir (UNESCO, 1968). Bu hesaplarda bu tür çeliklerin akma sınırı olarak %2 kalıcı şekil değiş-tirmeye karşılık gelen gerilme değeri dikkate alınmıştır (itibari akma dayanımı).

7.3.2.3.2. Plastikleşme Kriteri

Betonarme plaklar için genellikle plastikleşme kriteri homojen malzemedan meydana gelen plaklarınkinden çok daha karmaşıktır. Gerçekten betonarme plaklar genellikle ızgara şeklinde iki tabaka (iki sıra altta ve iki sıra üstte) donatıya sahiptir. Bunlardan alt yüze yakın olarak yerleştirilen ızgaraya pozitif

donatı ızgarası, üst yüze yakın olarak yerleştirilene de negatif donatı ızgarası adı verilmektedir. Bu her iki ızgaranın tüm plakta homojen olma zorunluluğu bulunmamaktadır. Plağın çeşitli bölgelerinde farklı sistem donatılar bulunabilir. Örneğin, mesnetleri üzerinde sürekli olan bir plakta negatif donatı ızgarası normal olarak mesnetler üzerinde ve açıklıkta farklı donatı oranlarına sahiptir. Benzer şekilde pozitif donatı ızgarası plağın açıklığında ve mesnetleri civarında aynı donatı oranına sahip olmayabilir.

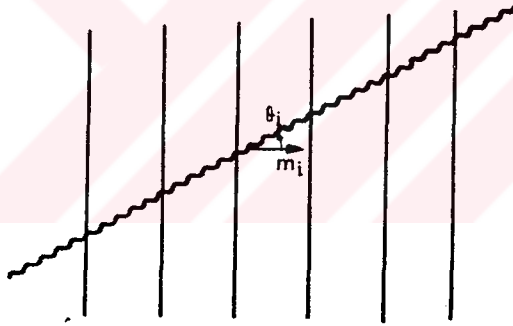
Durum böyle olunca, aynı işaretli, pozitif ya da negatif, plastik mafsal çizgilerinde aynı sistem donatının bulunma zorunluluğu yoktur. Diğer taraftan belirli bir plastik mafsal çizgisi boyunca donatı oranları da birbirine eşit olmayabilir. Bu çalışmada belirli bir plastik mafsal çizgisi boyunca sadece tek sistem donatının var olduğu kabul edilmektedir. Ancak, Jones tarafından plastik mafsal çizgisinin iki farklı sistem donatıya rastlaması halinin hesabına imkan veren bir yöntem geliştirilmiştir (Jones, 1965). Diğer taraftan, en genel halde, bir donatı sistemi isteğe bağlı "r" adet doğrultuya sahip olabilir. Bu tip donatı sistemine anizotrop donatı sistemi adı verilmektedir. Her bir "i" donatı çubuğu doğrultusunda plağın birim genişliğine m_i direnme momenti karşılık gelmektedir. Bu m_i momenti "i" doğrultusuna dik bir \vec{m}_i vektörüyle gösterilebilir. Durum böyle olunca bir referans doğrultusuna göre donatı çubuklarının "r" adet doğrultularına göre $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_r$ açıları dolayısıyla da $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_r$ direnme momentlerinin bilinmesi sistemin tamamen tanımlanmış olmasını sağlamaktadır.

Sistemin sadece birbirine dik iki doğrultuda donatı çubuklarına sahip olması özel haline ortotrop sistem, daha özel bir durum olan, birbirine dik iki doğrultuda donatı miktarı dolayısıyla da bu doğrultulardaki direnme momentlerinin birbirine eşit olması halinde izotrop sistem adı verilmektedir. Bir genelleme olarak plaktaki üst ve alt donatı ızgaralarının herbirinin sadece bir ortotrop tip donatı sistemine sahipse ve her iki ızgaradaki donatı çubuklarının doğrultuları ikişer ikişer birbirine paralelse yine bu donatı sistemi ortotrop sistem olarak adlandırılmaktadır. Benzer şekilde plaktaki üst ve alt donatı ızgaralarının her

biri sadece bir izotrop tip donatı sistemine sahipse ve her iki ızgaradaki donatı çubuklarının doğrultuları ikişer ikişer birbirine paralel ise yine bu donatı sistemi izotrop sistem olarak adlandırılmaktadır.

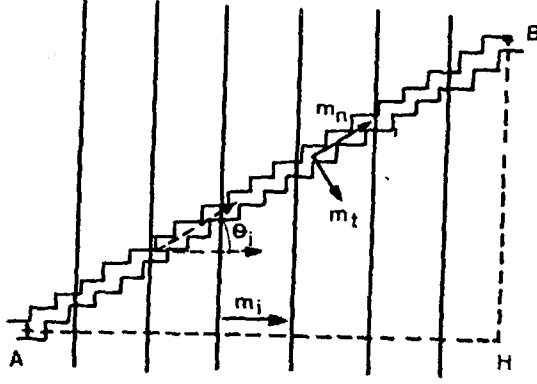
a) Johansen'in Plastikleşme Kriteri

Birçok doğrultuda $(1, 2, \dots, i, \dots, r)$ donatı çubuğuna sahip bir donatı sisteminin geçtiği bir plastik mafsalsal çizgisi parçası dikkate alınsın. Diğer taraftan sözkonusu plastik mafsalsal çizgisinin pozitif bir plastik mafsalsal çizgisi olduğu kabul edilsin. Donatı çubuğu doğrultularına karşılık gelen plağın birim genişliğinin direnme momentleri $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_r$ olsun. Bu momentler plak düzleminde yer alan ve karşılık geldiği donatı doğrultusuna dik olan $\vec{m}_1, \vec{m}_2, \dots, \vec{m}_i, \dots, \vec{m}_r$ vektörleriyle gösterilsin. \vec{m}_i momenti ile plastik mafsalsal çizgisi arasında trigonometrik yönde pozitif olarak ölçülen açı θ_i ile gösterilsin (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Plastik Mafsalsal Çizgisinden Geçen i Doğrultusunda Donatı Çubukları

Johansen, her bir donatı çubuğunun plastik mafsalsal çizgisi içinde ilk doğrultusunu koruyarak plastikleştiğini kabul etmektedir. Yani plastik mafsalsal çizgisiyle iki kısma ayrılmış aynı donatı çubuğu, bu çizginin iki tarafında kalan plak parçası dönme yaparken, aynı doğrultuda kalmaktadır. Bu kabule göre Johansen " i " çubuklarının her bir doğrultusu için plastik mafsalsal çizgisinin dikkate alınan doğrultuya, sırasıyla paralel ve dik sonsuz sayıda doğru elemanlardan meydana geldiği sonucuna varmaktadır. Bir başka deyişle plastik mafsalsal çizgisi merdiven basamakları şeklinde meydana gelmektedir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Johansen Kriterine Göre Plastik Mafsalları Çizgileri Şekli

İlk önce "i" çubuklarının tek bir doğrultuya sahip olduğu kabul edilsin: m_n ve m_t sırasıyla plastik mafsalları çizgisinin birim genişliğinde, bu çizgide plastik dönmenin meydana geldiği anda, bu çizgiye dik doğrultudaki eğilme momenti ile burulma momentini gösterebilir (Şekil 7.4). AB uzunluğundaki plastik mafsalları çizgisinden geçen tüm donatı çubuklarının plastikleştiği kabul edilir. Bu momentlerin "i" doğrultusunda ve bu "i" doğrultusuna dik doğrultuda izdüşümleri

$$AB \cdot m_n \sin \theta_i - AB \cdot m_t \cos \theta_i = 0$$

$$AB \cdot m_n \cos \theta_i + AB \cdot m_t \sin \theta_i - AB \cdot \cos \theta_i \cdot m_i = 0$$

şeklindedir. Bu bağıntılardan;

$$m_n = m_i \cos^2 \theta_i \quad (7.1)$$

$$m_t = m_i \sin \theta_i \cos \theta_i$$

olarak elde edilir. r adet doğrultuda donatı çubuğuna sahip bir genel donatı sistemi durumunda plastik mafsalları çizgisinin birim uzunluğundaki m_n eğilme momenti ve burulma momentleri

$$m_n = \sum_{i=1}^r m_i \cos^2 \theta_i \quad (7.2)$$

$$m_t = \sum_{i=1}^r m_i \cos \theta_i \sin \theta_i$$

şeklinde ifade edilebilir.

Herhangi bir x referans eksenleriyle plastik mafsal çizgisinin yaptığı açı φ ile ve $\vec{m}_1, \vec{m}_2, \dots, \vec{m}_i, \dots, \vec{m}_r$ momentlerinin aynı eksenle yaptığı açılar $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_r$ ile gösterilirse $\theta_i = \varphi - \alpha_i$ olmak üzere (7.2) bağıntıları

$$\begin{aligned} m_n &= \frac{1}{2} \cos 2\varphi \sum_{i=1}^r m_i \cos 2\alpha_i + \frac{1}{2} \sin 2\varphi \sum_{i=1}^r m_i \sin 2\alpha_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^r m_i \\ m_t &= \frac{1}{2} \cos 2\varphi \sum_{i=1}^r m_i \sin 2\alpha_i - \frac{1}{2} \sin 2\varphi \sum_{i=1}^r m_i \cos 2\alpha_i \end{aligned} \quad (7.3)$$

şeklini alır. Bu bağıntılar birbirine dik I ve II gibi iki plastik mafsal çizgisi doğrultusunun varlığını göstermektedir. Bu doğrultularda $m_t = 0$ olduğundan sözkonusu dik iki doğrultu:

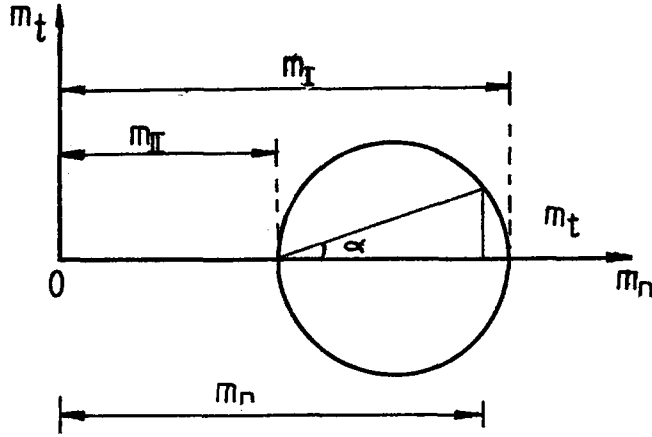
$$\operatorname{tg} 2\varphi_0 = \frac{\sum_{i=1}^r m_i \sin 2\alpha_i}{\sum_{i=1}^r m_i \cos 2\alpha_i} \quad (7.4)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu plastik mafsal çizgilerine dik olan momentler (asal momentler),

$$m_I, m_{II} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^r m_i \pm \sqrt{\left(\sum_{i=1}^r m_i \cos 2\alpha_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^r m_i \sin 2\alpha_i \right)^2} \quad (7.5)$$

bağıntısı ile belirlenir. Diğer taraftan m_I ve m_{II} nin belli olması halinde Mohr dairesi yardımıyla m_n ve m_t momentleri belirlenebilir (Şekil 7.5) (UNESCO, 1968). Sistemde sadece iki doğrultuda donatı çubuğu bulunması özel durumunda donatı çubuklarından birinin doğrultusu referans eksenini olarak alınır, örneğin, bu doğrultu 1 doğrultusu olsun. Böylece (7.4) ve (7.5) bağıntılarında $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = \alpha$, $m_1 = m$ ve $m_2 = \mu m$ olarak yerine konmak suretiyle sözkonusu bağıntılar.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} 2\varphi_0 &= \frac{\mu \sin 2\alpha}{1 + \mu \cos 2\alpha} \\ m_I, m_{II} &= \frac{1}{2} m (1 + \mu \pm \sqrt{1 + 2\mu \cos 2\alpha + \mu^2}) \end{aligned} \quad (7.6)$$



Şekil 7.5. Mohr Dairesi Yardımıyla m_n ve m_t Momentlerinin Belirlemesi

şeklini alır. Bunlara ilaveten $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ise (ortotrop donatı sistemi) (7.6) bağıntıları

$$\text{tg}2\varphi_0 = 0$$

$$m_I = m$$

$$m_{II} = \mu m$$

şeklini alır. Burada donatı çubuklarının doğrultuları asal moment doğrultuları ile çakışmıştır. m momentiyle ya da $\alpha = \frac{\pi}{2}$ doğrultusuyla θ açısı yapan plastik mafsall çizgisindeki m_t burulma ve m_n eğilme momentleri

$$m_n = m \cos^2 \theta + \mu m \sin^2 \theta$$

$$m_t = m(1-\mu) \sin \theta \cos \theta$$

(7.7)

bağıntısıyla hesaplanır.

Son olarak, eğer donatı sistemi izotropsa ($\mu=1$) $m_I=m_{II}=m$ olur ve Mohr dairesi bir noktaya dönüşür. Diğer taraftan bu özel durum için plastik mafsall çizgilerinin konumu ne olursa olsun, $m_n=m$ ve $m_t=0$ olmaktadır.

b) Johansen'in Kriterinin İrdelenmesi

Johansen kriterinin uygulanmasında, farklı donatı sistemlerine bağlı olarak, kesişen plastik mafsall çizgilerinin kesim

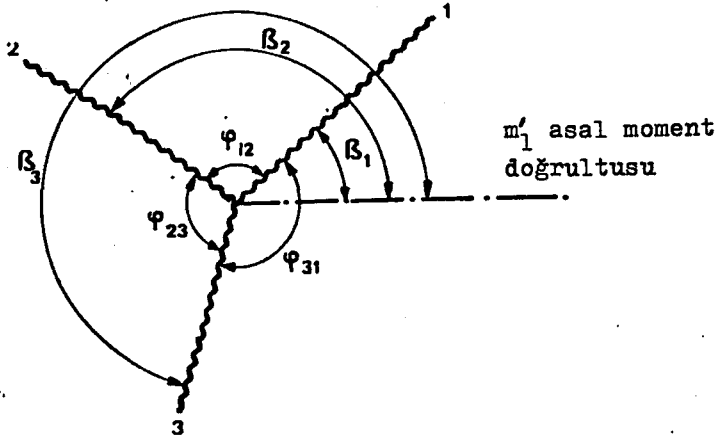
noktaları civarında bazı zorluklarla karşılaşılmaktadır. Örneğin, üç farklı donatı sistemine bağlı 1, 2 ve 3 numaralı üç plastik mafsalsal çizgisinin kesiştiği düğüm noktası dikkate alınsın. Bu üç plastik mafsalsal çizgisi üzerindeki m_n eğilme momenti ve m_t burulma momentinin değerleri aşağıdaki bağıntılarla belirlenir.

$$\begin{aligned} m_{n1} &= \sum_{i=1}^{r_1} m_{1i} \cos^2 \theta_{1i} \\ m_{t1} &= \sum_{i=1}^{r_1} m_{1i} \sin \theta_{1i} \cos \theta_{1i} \end{aligned} \quad (7.8)$$

$$\begin{aligned} m_{n2} &= \sum_{i=1}^{r_2} m_{2i} \cos^2 \theta_{2i} \\ m_{t2} &= \sum_{i=1}^{r_2} m_{2i} \cos \theta_{2i} \sin \theta_{2i} \end{aligned} \quad (7.9)$$

$$\begin{aligned} m_{n3} &= \sum_{i=1}^{r_3} m_{3i} \cos^2 \theta_{3i} \\ m_{t3} &= \sum_{i=1}^{r_3} m_{3i} \cos \theta_{3i} \sin \theta_{3i} \end{aligned} \quad (7.10)$$

Oysa, m_{n1} , m_{n2} ve m_{n3} eğilme momentleri plastik mafsalsal çizgilerinin kesim noktasında, Mohr dairesi yardımıyla, m_I' ve m_{II}' asal momentlerinin belirlenmesine imkan vermektedir. Durum böyle olunca kesim noktasında üç plastik mafsalsal çizgisine etkiyen m_{ns1} , m_{ns2} ve m_{ns3} burulma momentleri de belirlenmiş olur. m_{n1} , m_{n2} ve m_{n3} momentlerine bağlı olarak m_{ns1} , m_{ns2} ve m_{ns3} değerlerinin hesaplanması istensin. Bunun için üç plastik mafsalsal çizgisinin trigonometrik yönde 1, 2 ve 3 ile numaralandırıldığı ve trigonometrik yönde pozitif olarak ölçülen plastik mafsalsal çizgileri arasındaki açılar da φ_{12} , φ_{23} ve φ_{31} ile gösterilsin. Bu açılardaki birinci indis plastik mafsalsal çizgisini, ikinci indis ise bunu takip eden ikinci plastik mafsalsal çizgisini göstermektedir (Şekil 7.6). Diğer taraftan β_1 , β_2 ve β_3 , m_I' asal momenti doğrultusuyla 1, 2 ve 3 plastik mafsalsal çizgileri arasında trigonometrik



Şekil 7.6. Üç Plastik Mafsalsal Çizgisinin Kesişmesi Hali

yönde pozitif olarak ölçülen açılarını göstermek üzere Mohr dairesi yardımıyla,

$$\begin{aligned}
 m_{n1} &= \frac{m'_I + m'_{II}}{2} + \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \cos 2\beta_1 \\
 m_{n2} &= \frac{m'_I + m'_{II}}{2} + \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \cos 2\beta_2 \\
 &= \frac{m'_I + m'_{II}}{2} + \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \cos 2(\beta_1 + \varphi_{12}) \quad (7.11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{n3} &= \frac{m'_I + m'_{II}}{2} + \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \cos 2\beta_3 \\
 &= \frac{m'_I + m'_{II}}{2} + \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \cos 2(\beta_1 + \varphi_{12} + \varphi_{23})
 \end{aligned}$$

$$m_{ns1} = \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \sin 2\beta_1$$

$$m_{ns2} = \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \sin 2\beta_2 = \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \sin 2(\beta_1 + \varphi_{12}) \quad (7.12)$$

$$m_{ns3} = \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \sin 2\beta_3 = \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \sin 2(\beta_1 + \varphi_{12} + \varphi_{23})$$

bağıntıları yazılabilir. $\varphi_{31} = 2\pi - (\varphi_{12} + \varphi_{13})$ olmak üzere yukarıdaki ilk dört bağıntı arasından

$$\frac{m'_I + m'_{II}}{2}, \quad \frac{m'_I - m'_{II}}{2} \quad \text{ve} \quad \beta_1$$

değerleri yok edilirse, (7.12) bağıntıları,

$$m_{ns1} = \frac{m_{n1} - m_{n2}}{2} \cot \varphi_{12} - \frac{m_{n2} - m_{n3}}{2} \cot \varphi_{23} + \frac{m_{n3} - m_{n1}}{2} \cot \varphi_{31}$$

$$m_{ns2} = \frac{m_{n2} - m_{n3}}{2} \cot \varphi_{23} - \frac{m_{n3} - m_{n1}}{2} \cot \varphi_{31} + \frac{m_{n1} - m_{n2}}{2} \cot \varphi_{12}$$

$$m_{ns3} = \frac{m_{n3} - m_{n1}}{2} \cot \varphi_{31} - \frac{m_{n1} - m_{n2}}{2} \cot \varphi_{12} + \frac{m_{n2} - m_{n3}}{2} \cot \varphi_{23}$$

(7.13)

şeklini alır. Görüldüğü gibi m_{ns1} , m_{ns2} ve m_{ns3} değerleri, m_{n1} , m_{n2} ve m_{n3} 'e bağlı olarak tamamen belirlenmiş olmaktadır. Bu da genellikle üç plastik mafsallı çizgisinin kesim noktasında

$$m_{ns1} \neq m_{t1}$$

$$m_{ns2} \neq m_{t2}$$

$$m_{ns3} \neq m_{t3}$$

olduğunu göstermektedir. m_{t1} , m_{t2} ve m_{t3} her bir plastik mafsallı çizgisi üzerinde

$$\sum_{i=1}^r m_i \sin \theta_i \cos \theta_i \quad (7.14)$$

değerini almaktadır. Bu nedenle kesim noktasında Johansen'in plastikleşme kriteri sağlanmamaktadır. Ancak sadece aynı sistem donatıya sahip kesişen üç plastik mafsallı çizgisi özel durumunda (bu durumda kesim noktasında m'_I ve m'_{II} asal momentler ortak sistemin m_I ve m_{II} asal momentleriyle çakışmaktadır) yukarıdaki burulma momentleri,

$$m_{ns1} = m_{t1}$$

$$m_{ns2} = m_{t2}$$

$$m_{ns3} = m_{t3}$$

olmaktadır. Bu da bu özel durum için Johansen'in plastikleşme kriterinin kesim noktasında da sağlandığını göstermektedir. Bu özel durum dışında plastik mafsal çizgilerinin kesim noktasında Johansen'in plastikleşme kriteri geçerliliğini yitirdiğinden bu durumlarda gerçekçi sonuca ancak aşağıdaki iki farklı çözüm yolundan biriyle ulaşılabilir.

Birinci çözüm:

Plastik mafsal çizgilerinin kesim noktası civarının dışında ki bölgelerinde Johansen kriteri geçerli olduğu kabul edilebilir. Bu durumda, örneğin 1 numaralı plastik mafsal çizgisinde m_n eğilme ve m_t burulma momentleri sırasıyla;

$$m_{n1} = \sum_{i=1}^r m_{1i} \cos^2 \theta_{1i} \quad (7.15)$$

$$m_{t1} = \sum_{i=1}^r m_{1i} \sin \theta_{1i} \cos \theta_{1i}$$

bağıntıları ile hesaplanır. Diğer taraftan yukarıda da belirtildiği gibi plastik mafsal çizgileri kesim noktası civarında çok küçük bir bölgenin bozulmuş olduğu ve bu bölgede Johansen kriterinin geçersiz kaldığı kabul edilir. Kesişen 1, 2 ve 3 numaralı her bir plastik mafsal çizgisi üzerine (Bkz.Şekil 7.6) düğüm noktası civarında sırasıyla $m_{ns1}-m_{t1}$, $m_{ns2}-m_{t2}$ ve $m_{ns3}-m_{t3}$ değerlerinde ek burulma momentleri yerleştirilir. Bu birinci çözüm dolaylı olarak Johansen (Gehler ve Amos,1932) ve Jones (Maldaque,1964) tarafından, açık olarak da Nielsen (Callari,1964) tarafından kullanılmıştır.

İkinci çözüm:

Bu ikinci çözümde 1 nci plastik mafsal çizgisi üzerinde m_n eğilme momentinin,

$$m_{n1} = \sum_{i=1}^r m_{1i} \cos^2 \theta_{1i} \quad (7.16)$$

bağıntısıyla hesaplanabileceği kabul edilmektedir. Bu çözümün Johansen çözümünden farklı plastik mafsal çizgisi üzerinde m_{ns1}

burulma momentinin herhangi bir değer alabilir olmasıdır. Bu çözümdede, doğru şeklindeki plastik mafsalsal çizgilerinin kesim noktasına Mohr dairesi yardımıyla elde edilen m_{ns} burulma momentleri konabildiğinden, hiç bir zorluk bulunmamaktadır.

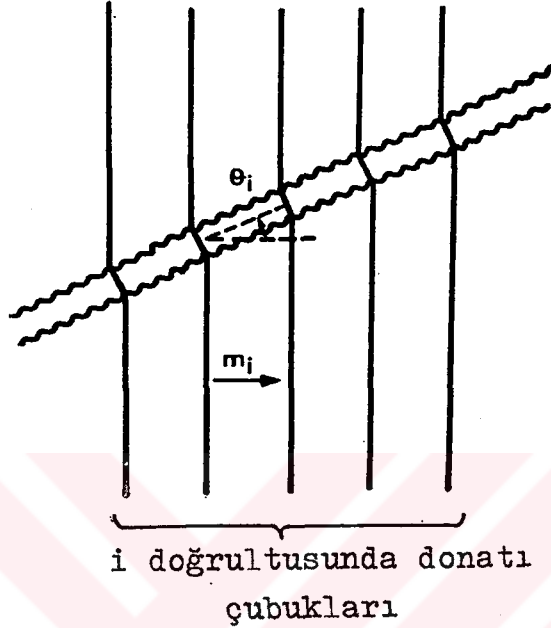
Özellikle Kemp ve Morley (M.C.R., 1965) tarafından uygulanan bu ikinci çözümün, deneyler plastik mafsalsal çizgilerinin kesişme noktası civarında bozulmuş bölgenin varlığını doğruladığından, gerçeğe daha az yakın olabileceği açıktır. Gerçekten deneyler plastik mafsalsal çizgilerinin oluşturduğu düğüm noktalarının hemen yakınında bozulmuş bölgenin bulunduğunu ortaya koymuştur. Öyleki plastik mafsalsal çizgileri kesim noktası civarında gerçek anlamda bir kesim noktası meydana getirilmeden plastik mafsalsal çizgileri çok sayıda dallara ayrılmaktadır.

Bununla beraber matematiksel olarak bozulmuş bölge kavramını izah etmek son derece zordur. Durum böyle olunca, eğer Johansen kriterinin temelini teşkil eden plastik mafsalsal çizgilerinin doğrusal olduğu kabulü yine geçerli sayılırsa, matematiksel ispatının yapılabilmesi yönünden, sadece m_n eğilme momenti kriterinin kullanılmasını tercih etmek gerekmektedir. Daha sonra madde 7.4.3 de görüleceği gibi iş yöntemi de Johansen'in orijinal kriteri ya da m_n eğilme momenti kriterinden farksız bir şekilde uygulanabilmektedir. Gerçekten, plastik mafsalsal çizgilerindeki burulma momentleri, hiç bir iş yapmadıklarından, iş yönteminde işlemlere girmemektedir. Buna karşılık denge yönteminde burulma momentleri etkin bir şekilde işlemlere girmektedir. Zira denge yönteminde düğüm noktası kuvvetlerinin belirlenmesi burulma momentine de bağlıdır. Bu çalışmada, Kemp ve Morley'in de yaptığı gibi, düğüm noktası kuvvetlerinin ifadelerinin çıkartılmasında m_n eğilme momenti kriteri kullanılmaktadır. Bununla beraber Kemp'in de yaptığı gibi bu çalışmada Johansen'in plastikleşme kriterine uygun olan düğüm noktası kuvvetleri de verilmektedir.

c) Donatı çubuklarının sapma etkisi (kinking effect):

Bazı kaynaklar, plastik mafsalsal çizgilerinden geçen donatı çubuklarının plastik mafsalsal çizgilerinin içinde de ilk doğrultularından sapmadığını kabul eden, Johansen kriterinin bu temel

kabulünü benimsemektedir. Gerçekten, donatı çubuklarının plastik mafsal çizgisine dik doğrultuda plastikleştiğini kabul eden bir başka kriter de düşünülebilir. Bu durumda eğilme momentinin (m_n) ifadesi;



Şekil 7.7. Plastik Mafsal Çizgilerinde Donatıların İlk Doğrultularından Sapması

$$m_n = \sum_{i=1}^r m_i \cos^2 \theta_i$$

yerine

$$m_n = \sum_{i=1}^r m_i \cos \theta_i \quad (7.17)$$

şeklinde olur. Donatı çubuklarının ilk doğrultularından saptığını kabul etme suretiyle hesaplanan belirli bir m_n eğilme momenti değeri Johansen kabulüyle hesaplanan m_n eğilme momentinden daha büyüktür. Daha gerçekçi kabulün bu iki kabul arasında bulunabileceği düşünülebilir. Wales (Swansea) Üniversitesinde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre Kwiecinski, donatı çubuklarının hepsinin saptadığını dikkate almak suretiyle yeni bir kriter oluşturmuştur. Bu kriterin verdiği sonuçlar, Johansen kriterinin verdiği sonuçlarla, donatı çubuklarının tümünün saptığını kabul eden kriterin verdiği sonuçlar arasında bulunmaktadır (Kwiecinski, 1965).

Kwiecinski'nin gerçekleştirdiği deneyler ile Sözen ve Lenschow'un Illinois Üniversitesinde gerçekleştirdikleri deneyler, plastik mafsallı çizgisi içinde tüm donatı çubuklarının saptığını kabul eden kriterin kullanılmasının emniyetsiz tarafta olduğunu göstermiştir. Buna karşılık Johansen kriteri her zaman gerçek eğilme momentinden daha küçük m_n eğilme momenti verdiği için kullanılması daima emniyetli tarafta bulunmaktadır.

Bu sonuç, deneysel olarak doğrudan betonarme plakların basit eğilmede göçme kriterini belirlemek için Massonnet yönetiminde Liège Üniversitesi yapı ve malzeme laboratuvarında sistematik olarak gerçekleştirilen deneylerin ilk sonuçlarıyla da desteklenmektedir. (UNESCO,1968). Gerçekten, şimdiye kadar gerçekleştirilen deneyler Johansen kriterinin uygulanması ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara göre emniyetli tarafta olduğunu göstermektedir.

7.3.2.4. Plastik Mafsallı Çizgileri Teorisi

Plastik mafsallı çizgileri adı verilen teori Ingerslev tarafından ortaya atılmış ve Johansen'in doktora tezinde 1943 yılında geliştirmiştir (Johansen, 1962). Bu teorinin konusu kinematik teoriyi (altsınır) betonarme düzlem taşıyıcıların pratik hesabına uygulamaktadır. Bu nedenle bu teoriye göre belirli bir düzlem taşıyıcıya ait göçme yükü (P), gerçek göçme yüküne eşit ya da daha büyük olarak bulunmaktadır. Kullanılan kinematik mekanizmanın, gerçek göçme mekanizması olması halinde hesaplanan P yükü gerçek göçme yüküne eşit olmaktadır. Bu son koşulun sağlandığından emin olabilmek için, doğrudan deneysel denetim yapılmadığı takdirde, dikkate alınan plak için aynı göçme yükünü veren statikçe kabul edilebilen bir moment dağılımının belirlenmiş olması gerekmektedir. Diğer bir deyişle P yükünün kesin göçme yükü olduğu ancak, sadece teklik teoremi kullanılmak suretiyle gösterilebilir.

Bugün, çok az sayıda kesin çözüm yöntemi bulunmaktadır. Yani aynı göçme yükünü veren kinematikçe kabul edilebilir bir mekanizmaya statikçe kabul edilebilir bir moment dağılımını karşılık

getirmek daima mümkün olmamaktadır. Bu kesin çözümler genellikle basit plak şekilleri içindir. Bugün kesin çözümü bilinen bazı plak çözümleri Ek-A da verilmektedir. Aşağıda (madde 7.4) Johansen'in plastik mafsal çizgileri teorisi üzerinde özetle durulmaktadır. Gerçekten, bu konuda pratik uygulamalar için özellikle çok daha kapsamlı olan (Steinmann, 1960), (Wood, 1961), (Jones, 1962) ve (Massonnet ve Save, 1963) kaynaklara başvurmak gerekmektedir. Bu konuda kaynak (M.C.R., 1965)'e de başvurulabilir.

7.4. PLASTİK MAFSAL ÇİZGİLERİ TEORİSİ

7.4.1. Teorinin İlkeleri

Plastik mafsal çizgileri teorisi betonarmenin hesaplarda rijit-plastik bir malzeme olarak dikkate alınabileceğini kabul etmektedir. Durum böyle olunca göçme durumunda mekanizmaya ait çeşitli elemanların elastik şekilde değişimleri plastik şekilde değişimler yanında ihmal edilmektedir. Böylece göçme mekanizması plastik mafsal çizgileri ortak, düzlem rijit elemanlardan meydana gelmektedir. Bu da plastik şekilde değişimlerin yoğunlaştığı plastik mafsal çizgilerinin de doğru parçaları olduğu sonucuna götürmektedir. Diğer bir deyişle, düzlem taşıyıcı plâğın şekilde değişimleri kendisini meydana getiren rijit elemanların, sadece mesnet koşullarına bağlı olarak, dönmelerinden meydana gelmekte ve şekilde değiştirmiş yüzey çok yüzlü bir şekle dönüşmektedir.

Daha önce (madde 7.3.2.3.2b) de belirtildiği gibi $1, 2, 3, \dots, i, \dots, r$ doğrultularında yerleştirilmiş donatı çubukları sisteminin geçtiği plastik mafsal çizgilerindeki m_n eğilme momenti değerinin, sözkonusu doğrultulardaki direnme momentleri sırasıyla $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_r$ olmak üzere;

$$m_n = \sum_{i=1}^r m_i \cos^2 \theta_i \quad (7.18)$$

bağıntısı ile hesaplanabileceği kabul edilmektedir. Madde 7.3.2.3.2b de (ikinci çözümde) belirtildiği gibi plastik mafsal

çizgisindeki burulma momenti açıkça belirtilmemiştir.

Plastik mafsallı çizgileri teorisinin uygulanması aşağıda belirtilen ardışık iki aşamada gerçekleştirilir:

a) Birinci aşamada plağın şekli, mesnet koşulları ve yüklenme durumuna bağlı olarak mümkün olabilecek çeşitli göçme mekanizmaları belirlenir. Bu mekanizmaların her biri X_1, X_2, \dots, X_p nin geometrik parametresi olan p ye bağlıdır (bkz.Şekil 7.9).

b) İkinci aşamada ise, birinci aşamada belirlenen mümkün olabilecek göçme mekanizmalarından en küçük göçme yükünü veren mekanizma durumu araştırılır. Bu mekanizma X_1, X_2, \dots, X_p geometrik parametrelerin özel değerleriyle tanımlanır. Bu araştırma, mekanizmayı meydana getiren çeşitli rijit elemanların denge koşullarının sağlanması esasına dayanmaktadır. Bunun için kolaylıkla iki farklı yöntem kullanılabilir. Bunlardan biri, virtüel iş denklemi yardımıyla tüm plağın genel olarak denge şartlarını ifade etmektedir. Bunun için plağın çeşitli doğrultularındaki direnme momentlerinin, bunlardan biri olarak seçilen ve referans momenti (m) olarak adlandırılan momente oranlarının daha önceden bilindiği kabul edilerek göçme yükü (P), mekanizmanın geometrik parametresi p dolayısıyla da m referans direnme momentinin fonksiyonu olarak elde edilir. Buradan $P(X_1, X_2, \dots, X_p, m)$ fonksiyonunu minimum yapan $p(X_1, X_2, \dots, X_p)$, parametresinin değerleri araştırılır. Bu da aynı zamanda $m(X_1, X_2, \dots, X_p, P)$ fonksiyonunun maksimumunun aranması demektir.

İkinci yöntem ise, mekanizmayı meydana getiren n adet rijit elemanın her birinin denge şartlarını araştırmaktır. Bu ikinci yöntem, denge denklemlerinde plastik mafsallı çizgilerine etkiyen burulma momentleri ve kesme kuvvetlerine statikçe eşdeğer olan "düşüm noktası kuvvetlerini" dikkate almayı gerektirmektedir.

Yukarıda belirtilen yöntemlerin herhangi birinin uygulanmasıyla, göçme mekanizmalarından en küçük göçme yükünü veren mekanizma belirlenir. Bu mekanizmaya karşılık gelen yük altsınır teoremini sağlar.

Burada eğer tüm plakta, teklik teoremiyle bulunacak göçme yükünün elde edilmesine imkan veren statikçe kabul edilebilir bir moment dağılımı varsa, bu ikinci yöntemle bulunan göçme yükünün kesin göçme yükü olmayacağını belirtmek uygun olmaktadır.

7.4.2. Mümkün Olabilecek Göçme Mekanizmasının Araştırılması

Bu araştırma, Őekildeġiřtirmelerin plastik mafsal çizgilerinde yoġunlařtıġı temel kabulüne baġlı, ařaġıdaki teoremlerin uygulanmasıyla mümkün olmaktadır.

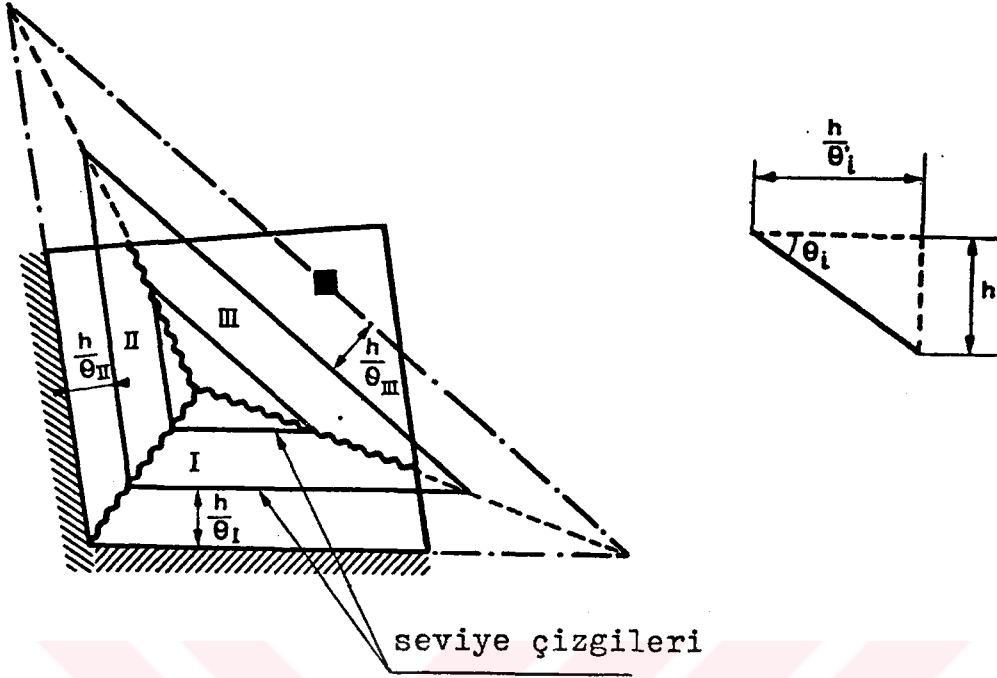
Teorem 1: Plaġın iki rijit elemanı arasındaki plastik mafsal çizgisi, bu elemanların dönme eksenlerinin kesim noktasından geğer. Bu da dikkate alınan plak elemanın kenarlarının birinin üzerinde mesnetlenmiş olması halinde, dönme ekseninin mesnet çizgisiyle ęakıřması tekil bir mesnete oturan plak elemanlarında ise, dönme ekseninin tekil mesnetten geğmesini gerektirmektedir (Şekil 7.8).

Plaġın farklı elemanlarının θ_1 dönmeleri belli ise bu teoremin uygulanması, tüm göçme mekanizmalarının belirlenmesine imkan verir. Oysa nihai sınır durumda plak mekanizmaya dnřtġnden, göçme mekanizması belli ise, ęeřitli elemanların θ dönme ağılları ortak bir yaklaşıklıkla tanımlanır. Benzer olarak,

Teorem 2: Eġer plaġın farklı rijit elemanlarının dönme eksenleri ve ęeřitli θ_1 ağıllarının arasından seçilen herhangi birine oranları biliniyorsa göçme mekanizması bellidir.

Eġer Őekildeġiřtirmiř plak, keyfi olarak seçilen bir h mesafesinden mesnetler düzlemine paralel bir düzlemle kesildiġi düşünülürse, bu düzlemin plaġın farklı elemanlarıyla arakesitleri Őekildeġiřtirmiř plaġın seviye çizgilerini meydana getirmektedir. Bu seviye çizgilerinin, dikkate alınan elemanın dönme eksenine uzaklıkları h/θ_1 dir (Şekil 7.8).

Diġer taraftan, bu seviye çizgileri birbirini plastik mafsal çizgisi üzerinde kesmektedir. Bu durumda plastik mafsal çizgileri dönme eksenlerinin kesim noktasıyla seviye çizgilerinin kesim noktalarının birleştirilmesiyle belirlenirler (Şekil 7.8). Teorem 2 ye göre, plastik mafsal çizgilerinin n adet elemana bölmesi halinde her bir elemanın dönme eksenini belli ise, göçme mekanizmasının belirlenmesi için $(n-1)$ tane geometrik parametrenin saptanması gerekmektedir.



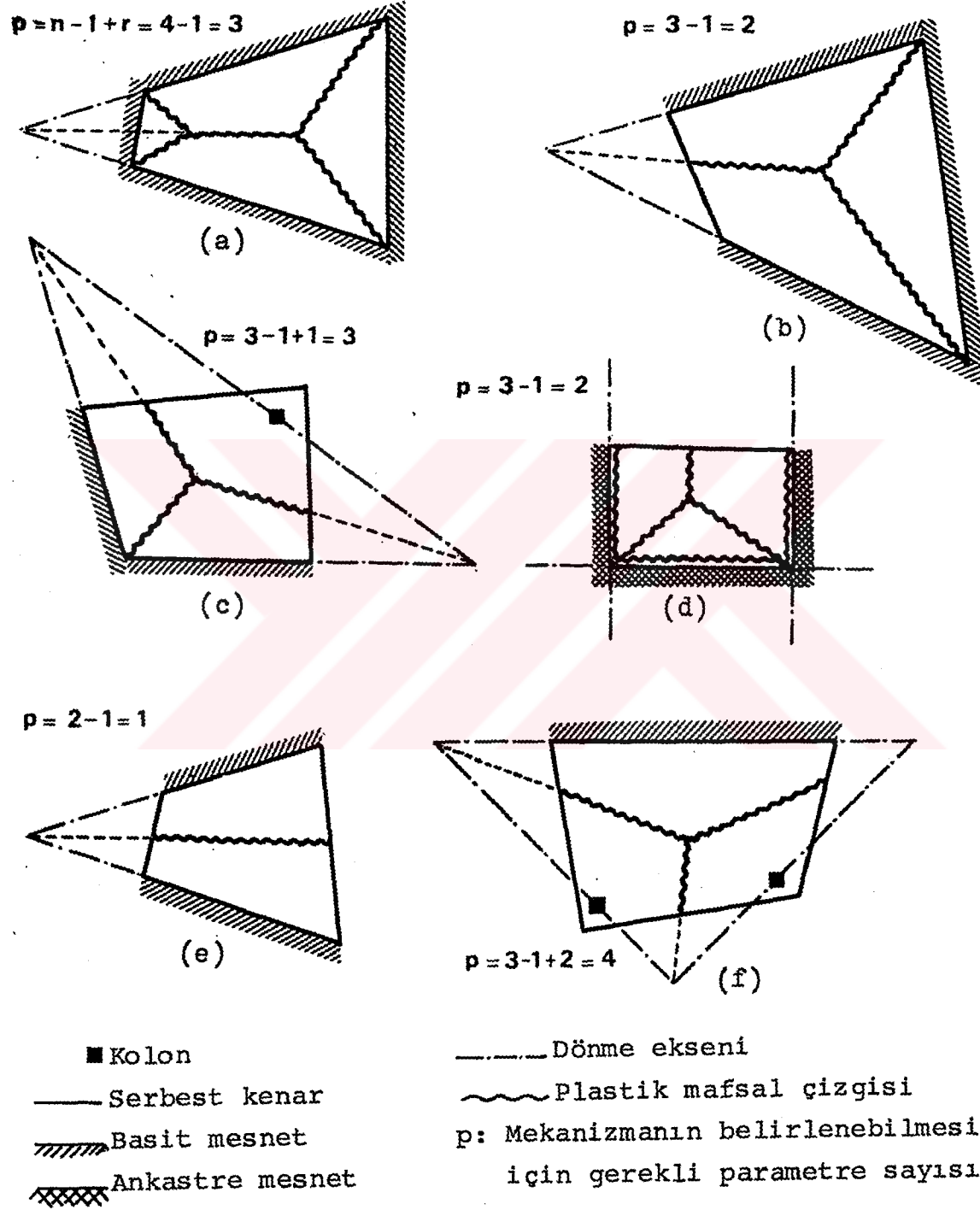
Şekil 7.8. Plastik Mafsal Çizgilerinin Belirlenmesi

Genel olarak, mekanizmayı meydana getiren n adet plak elemanının dönme eksenlerinin hepsi önceden belli değildir. r belli olmayan dönme eksenleri sayısını göstermek üzere, göçme mekanizmasının belirlenebilmesi için $p=(n-1)+r$ adet geometrik parametrenin saptanması gerekmektedir (Şekil 7.9).

Durum böyle olunca, genel olarak göçme mekanizması sadece geometrik şekildeğiştirmenin dikkate alınmasıyla belirlenmektedir. Bu belirleme, madde 7.4.1 de belirtildiği gibi, ya iş teoremi ya da rijit elemanların denge yöntemiyle (düğüm noktası kuvvetleri yöntemi) yapılabilir. Bu iki yöntem sırasıyla madde 7.4.3 ve 7.4.4 de verilmektedir.

7.4.3. Virtüel İş Yönteminin Uygulanması

X_1, X_2, \dots, X_p nin geometrik parametresi olan p ye bağlı şekildeğiştirme koşullarına göre belirlenmiş mümkün olan çeşitli mekanizmalarda plağın herhangi bir noktasına, plağın bağlarıyla uyum içinde bir δ yerdeğiştirmesi verilsin. Bu durumda iş denklemi, dikkate alınan yerdeğiştirme için, dış kuvvetlerinin



Şekil 7.9. Mümkün Olabilecek Örnek Göçme Mekanizmaları

işinin iç kuvvetlerin işine eşitlenmesiyle elde edilir. Mekanizmanın sadece doğrusal plastik mafsalsal çizgilerine sahip olması halinde; δ_i , p_i tekil yükünden doğan yerdeğiştirmeyi, δ_j , p_j eşit yayılı yükünden doğan yerdeğiştirmeyi, α , bir plastik mafsalsal çizgisi üzerindeki dönmeyi, m_n , bir plastik mafsalsal çizgisi üzerinde birim boydaki normal eğilme momentini göstermek üzere; virtüel iş denklemi

$$\sum p_i \delta_i + \iint p_j \delta_j dx dy = \int m_n \alpha ds \quad (7.19)$$

şeklindedir. δ_i ve δ_j yerdeğiştirmeleri ile α dönmelerinin hepsi δ yerdeğiştirmesinin fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. δ ise eşitliğin her iki tarafında bulunduğundan birbirini götürmektedir.

m_n eğilme momentleri, dikkate alınan plastik mafsalsal çizgisine karşılık gelen donatı ızgarasının çeşitli doğrultularındaki direnme momentlerine bağlı olarak belirlenebilir. Eğer plağın çeşitli doğrultularındaki negatif ve pozitif direnme momentlerinin, bu momentler arasında seçilen ve referans direnme momenti adı verilen m momentine oranlarının bilindiği kabul edilirse iş denklemi yardımıyla göçme mekanizmasının p geometrik parametresi, m referans direnme momentine ve P toplam yükü arasında bir bağıntı elde edilir. Bu bağıntı $P=p(X_1, X_2, \dots, X_p, m)$ ya da $m=m(X_1, X_2, \dots, X_p, P)$ şeklindedir.

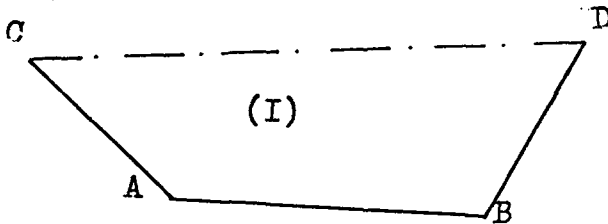
Bu durumda p geometrik parametresinin P toplam yük fonksiyonunu minimum yapan ya da m fonksiyonunu maksimum yapan değerleri belirlenir. Bu belirleme işi ya ardışık sayısal yaklaşım ya da aşağıdaki iki denklem takımlarından birinin kullanılmasıyla yapılabilir.

$$\begin{array}{ll} \frac{\partial p}{\partial X_1} = 0 & \frac{\partial m}{\partial X_1} = 0 \\ \frac{\partial p}{\partial X_2} = 0 & \text{ya da} \quad \frac{\partial m}{\partial X_2} = 0 \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial p}{\partial X_p} = 0 & \frac{\partial m}{\partial X_p} = 0 \end{array} \quad (7.20)$$

7.4.4. Düğüm Noktası Kuvvetleri Yöntemi (Denge Yöntemi)

Bu ikinci yöntem mekanizmayı meydana getiren n adet rijit elemanın her birinin denge denklemlerinin yazılması esasına dayanmaktadır. Böylece en genel durumda $3n$ adet denge denklemi elde edilmektedir. Daha önce de görüldüğü gibi iş denkleminin uygulanmasında plastik mafsalları çizgisine etkiyen burulma momentleriyle kesme kuvvetlerinin, bunların yaptıkları işin toplamı sıfır olduğundan, bilinmesi zorunlu değildir. Buna karşılık mekanizmayı meydana getiren her bir rijit elemanların denge denklemini yazmak için plastik mafsalları çizgilerine etkiyen kesme kuvveti ve burulma momentlerine statikçe eşdeğer kuvvetlerin bilinmesi zorunlu olmaktadır.

AB, AC ve BD plastik mafsalları çizgileriyle sınırlı bir mekanizmanın (I) numaralı rijit elemanı dikkate alınsın (Şekil 7.10). k_{AB} ve k_{BA} (k_A ve k_B) AB plastik mafsalları çizgisi üzerinde sırayla A ve B uç noktalarının her birine (I) nolu elemandan dolayı etkiyen burulma momentleri ve kesme kuvvetlerine statikçe eşdeğer kuvvetler olsun. Benzer şekilde bir taraftan k_{AC} ve k_{CA} , diğer taraftan k_{BD} ve k_{DB} sırasıyla AC ve BD plastik mafsalları çizgileri üzerine etkiyen burulma momentleri ve kesme kuvvetlerine statikçe eşdeğer kuvvetleri gösterebiliriz. Bu çalışmada plastik mafsalları çizgilerinin uçlarına etkiyen bu kuvvetler uç kuvvetleri olarak adlandırılmaktadır. K_A , (I) nolu eleman üzerindeki A noktasına, bu noktada kesilen plastik mafsalları çizgilerindeki burulma momentleri ve kesme kuvvetlerine statikçe eşdeğer kuvvetlerin cebrik toplamı olarak ($K_A = k_{AB} + k_{AC}$) etkiyen tekil bir düğüm noktası kuvvetini göstermektedir.



Şekil 7.10. Göçme Mekanizmalarının Bir Rijit Elemanı

Johansen düğüm noktası kuvvetlerini, plastik mafsallı çizgilerinin kendisine ait herhangi bir nokta etrafındaki dönmelemlerin sonsuz küçük olduğunu kabul etmek suretiyle belirlemiştir. Yeni araştırmalarda, özellikle Kemp, Morley, Nielsen, Wood ve Jones (M.C.R., 1965) bu konuyu, düğüm noktası kuvvetleri yönteminin iş yönteminden sadece şekil olarak farklı olduğunu göstermek amacıyla, incelemiştir. Netice itibarıyla düğüm noktası kuvvetleri yönteminde izlenen yol m referans direnme momentinin sabit değerlerine karşılık gelen plastik mafsallı çizgilerinin konumlarının araştırılmasından ibarettir. Diğer taraftan yeni araştırmalarda düğüm noktası kuvvetlerinin belirlenme koşullarını çok daha kesin bir şekilde ortaya koymuştur. Bu çalışmanın bundan sonraki kısmında bu yeni araştırmalar ve özellikle Kemp'in makalesi dikkate alınmaktadır (M.C.R., 1965).

7.4.4.1. Düğüm Noktası Kuvvetlerinin Belirlenmesi

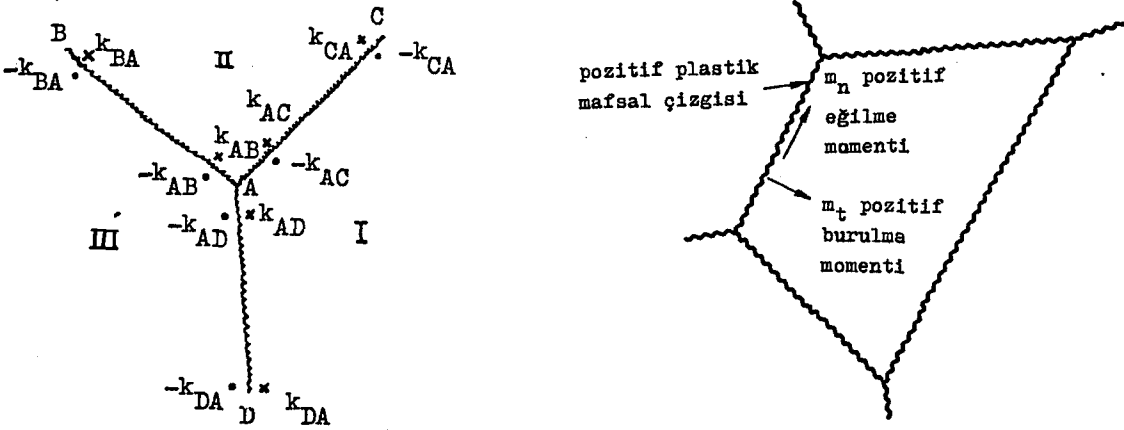
A) İşaret Kuralı ve Grafik Gösterilim

Aşağıya doğru etkiyen kuvvetlerin yönü pozitif olarak dikkate alınmaktadır. Plastik mafsallı çizgilerinin şematik gösteriliminde aşağı doğru etkiyen düşey kuvvetler çarpı (x) işaretiyle, yukarı doğru etkiyenler ise nokta (.) ile gösterilmektedir (Şekil 7.11a).

Plaçın alt yüzünde çekme gerilmesi meydana getiren eğilme momentleri pozitif olarak dikkate alınmaktadır. Plaçın rijit bir elemanına, bu elemanı sınırlayan plastik mafsallı çizgilerinin biri üzerinde, etkiyen burulma momenti elemana göre saat ibresinin yönünde pozitif olarak dikkate alınmaktadır.

Pozitif eğilme momentleri, dikkate alınan rijit eleman etrafında saat ibresi yönünde yönlendirilen vektörlerle gösterilmektedir. Pozitif burulma momentleri ise, aynı elemanın içine doğru yönlendirilmiş vektörlerle gösterilmektedir (Şekil 7.11b).

B) Plastik Mafsallı Çizgilerinin Kendilerini Meydana Getiren Herhangi Bir Nokta Etrafında Dönmesinden Meydana Gelen Momentlerin Değişimi:



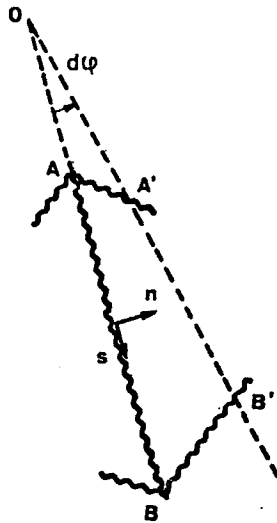
a) Pozitif ve negatif kuvvetlerin gösterilimi

b) Eğilme ve burulma momentlerinin pozitif yönleri

Şekil 7.11. Eğilme ve Burulma Momentlerinin Pozitif Yönleriyle Pozitif ve Negatif Kuvvetlerin Gösterilimi

Konumu m referans momentinin sabit değerine karşılık geldiği kabul edilen bir AB plastik mafsal çizgisi dikkate alınsın (Şekil 7.12).

Bu durumda AB çizgisi üzerinde m_n momentinin değeri (7.18) bağıntısıyla ifade edilen plastikleşme kriteriyle elde edilir. AB plastik mafsal çizgisine O noktası etrafında sonsuz küçük $d\varphi$ açısı kadar dönme hareketi yaptırılsın ve yeni konumu A'B' olsun (Şekil 7.12).



Şekil 7.12. AB Plastik Mafsal Çizgisinin O Noktası Etrafında $d\varphi$ Kadar Dönməsi

AB doğrultusu, plak düzleminin belirli bir doğrultusuna, örneğin, mesnetlenmiş kenarlardan birine göre trigonometrik yönde pozitif olarak ölçülen, φ açısı ile gösterilsin. O noktası eksen takımının orijini alınmak üzere; n ve s eksenleri sırasıyla plak düzleminde AB ye dik ve teğet eksenler olarak seçilsin. n eksenini ile herhangi bir X doğrultusu arasında trigonometrik yönde pozitif olarak ölçülen açı α olsun. Bu durumda A'B' çizgisi üzerinde m_n eğilme momenti artık plastikleşme kriterini sağlamamaktadır. AB doğrusu üzerinde O noktasından S kadar uzakta herhangi bir S noktası dikkate alınsın. Çizginin dönmesinden sonra bu nokta S' ne gelmekte ve S ve S' noktaları arasında m_n eğilme momentinin dm_n değişimi

$$dm_n = \frac{\partial m_n}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial m_n}{\partial n} dn + \frac{\partial m_n}{\partial s} ds \quad (7.21)$$

şeklinde olmaktadır. $d\alpha = d\varphi$, $dn = -s d\varphi \cos d\varphi$ ve $ds = -s d\varphi \sin d\varphi$ olduğundan $d\varphi > 0$ için (7.21) bağıntısı

$$\frac{dm_n}{d\varphi} = \frac{\partial m_n}{\partial \alpha} - s \frac{\partial m_n}{\partial n} \quad (7.22)$$

şekline gelmektedir.

Diğer taraftan, m_I' ve m_{II}' X doğrultusuyla γ , $\gamma + \frac{\pi}{2}$ açıları yapan asal momentleri göstermek üzere m_n ve m_{ns} ;

$$m_n = \frac{m_I' + m_{II}'}{2} + \frac{m_I' - m_{II}'}{2} \cos 2(\alpha - \gamma)$$

$$m_{ns} = \frac{m_I' - m_{II}'}{2} \sin(2\alpha - \gamma)$$

bağıntılarıyla hesaplanır. Buradan;

$$\frac{\partial m_n}{\partial \alpha} = -(m_I' - m_{II}') \sin(2\alpha - \gamma) = -2m_{ns}$$

bulunur. Bu (7.22) de yerine konur ve gerekli düzen yapılırsa

$$S \frac{\partial m_n}{\partial n} = - \frac{dm_n}{d\varphi} - 2m_{ns} \quad (7.24)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda,

$$\frac{dm_n}{d\varphi} = \frac{d}{d\varphi} \sum_{i=1}^r m_i \cos^2 \theta_i = \sum_{i=1}^r \frac{\partial}{\partial \theta_i} m_i \cos^2 \theta_i \frac{d\theta_i}{d\varphi} \quad (7.25)$$

şeklinde yazılabilir. $\frac{d\theta_i}{d\varphi} = 1$ olduğundan m_t , Johansen plastikleşme kriterine göre burulma momentinin değerini göstermek üzere; (7.25) bağıntısı

$$\frac{dm_n}{d\varphi} = -2 \sum_{i=1}^r m_i \sin \theta_i \cos \theta_i = -2m_t \quad (7.26)$$

şekline gelir. Sonuç olarak, bu (7.24) de yerine konursa

$$S \frac{\partial m_n}{\partial n} = 2(m_t - m_{ns}) \quad (7.27)$$

bağıntısı elde edilir.

Plaçın ortotrop olarak donatılmış olması özel durumunda da (7.27) bağıntısı değişmez. İzotrop donatılı plaklar için $m_t = 0$ olduğundan (7.27) bağıntısı,

$$S \frac{\partial m_n}{\partial n} = -2 m_{ns} \quad (7.28)$$

şekline gelir.

C) Uç Kuvvetlerin Hesabı

AB plastik mafsallı çizgisinden intikal eden kuvvetler sisteme statikçe eşdeğer ve A ile B noktalarına tatbik edilen k_A ve k_B uç kuvvetlerinin belirlenmesi istenmektedir. Diğer bir deyişle bir taraftan kesme kuvvetleri ve

$$q_n = \frac{\partial m_n}{\partial n} - 2 \frac{\partial m_{ns}}{\partial s} \quad (7.29)$$

Thomson ve Tait genel denklemiyle belirlenen burulma momentlerine, diğer taraftan A ve B uç noktalarına etkiyen ve bu noktalardaki burulma momentlerinden meydana gelen m_{nsA} ve m_{nsB} kuvvetlerinden doğan A ve B noktalarına tatbik edilen k_A ve k_B uç kuvvetlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bunun için sözkonusu kuvvetlerin O noktasına göre momentini almak gerekmektedir. OA ve OB mesafeleri sırasıyla S_A ve S_B ile gösterilmek üzere bu moment;

$$k_B S_B - k_A S_A = m_{nsB} S_B - m_{nsA} S_A + \int_{S_A}^{S_B} q_n \cdot s \cdot ds$$

$$= m_{nsB} S_B - m_{nsA} S_A + \int_{S_A}^{S_B} (S \frac{\partial m_n}{\partial n} - 2 S \frac{\partial m_{ns}}{\partial s}) ds$$

değerindedir. (2.27) bağıntısı burada yerine konursa

$$k_B S_B - k_A S_A = m_{nsB} S_B - m_{nsA} S_A + \int_{S_A}^{S_B} [2m_t - 2(m_{ns} + S \frac{\partial m_{ns}}{\partial s})] ds$$

$$= m_{nsB} S_B - m_{nsA} S_A + 2m_t (S_B - S_A) - 2m_{nsB} S_B + 2m_{nsA} S_A$$

elde edilir. Bunun da sadeleştirilmesiyle;

$$k_B S_B - k_A S_A = -(m_{nsB} - 2m_t) S_B + (m_{nsA} - 2m_t) S_A \quad (7.30)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntı, plağın ortotrop olarak donatılmış olması halinde değişmez. İzotrop olarak donatılmış olması halinde ise

$$k_B S_B - k_A S_A = -m_{nsB} S_B + m_{nsA} S_A \quad (7.31)$$

şekline gelir. (7.30) bağıntısı, birçok özel durumun dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır:

1) Plastik mafsal çizgisinin hareketsiz (sabit) bir noktadan geçme zorunluluğunun bulunması hali (iki serbestlik dereceli):

Bu durumda plastik mafsal çizgisine A ve B uç noktalarının her biri etrafında ardışık bir dönme vermek mümkündür (Bkz. Şekil 7.12). O noktasının sırasıyla B noktasıyla çakıştığı ($S_B=0$)

ve A noktasıyla çakıştığı ($S_A=0$) kabulüne göre (7.30) bağıntısı iki kez yazılırsa uç kuvvetleri

$$\begin{aligned} k_A &= -m_{nsA} + 2 m_t \\ k_B &= -m_{nsB} + 2 m_t \end{aligned} \quad (7.32)$$

olarak elde edilir.

2) Plastik mafsal çizgisinin, uç noktalarından farklı, hareketsiz bir O noktasından geçme zorunda olması hali (bir serbestlik dereceli):

Bu durumda (7.30) bağıntısı genel şeklini korur. (7.30) bağıntısından k_A ve k_B uç kuvvetleri bağımsız olarak belirlenemez. Bununla beraber hareketsiz O noktasından geçen eksene göre momentlerin toplamı bellidir. Zaten denge yönteminde işlemlere bu toplam moment girmektedir.

Bu ikinci durumda bir başka özel durum ise O 'nun AB doğrultusunda A dan sonsuz uzakta bulunması halidir. Diğer bir deyişle plastik mafsal çizgisinin sabit bir doğrultuya paralel olması durumudur. Bu durumda $l = S_B - S_A$ konarak (7.30) bağıntısı

$$k_B \left(1 + \frac{l}{S_A}\right) - k_A = -(m_{nsB} - 2m_t) \left(1 + \frac{l}{S_A}\right) + (m_{nsA} - 2m_t)$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntıda $S_A \rightarrow \infty$ için

$$k_B - k_A = -m_{nsB} + m_{nsA} \quad (7.33)$$

şekline gelir. Buradan da iki uç kuvveti doğrudan belirlenemez. Bununla beraber cebirsel toplamları bellidir. Bu da, bu kuvvetlerin plastik mafsal çizgisinin doğrultusuna paralel bir eksene göre momentlerin toplamının hesaplanmasına imkan vermektedir. Bu durumda yine denge denkleminde işleme girecek olan bu toplam momenttir.

3) Plastik mafsal çizgisinin uç noktalarından birinin hareketsiz olması hali (bir serbestlik dereceli):

Plastik mafsal çizgisinin iki ucundan birinin, örneğin A noktasının hareketsiz (tesbit edilmiş, ankre) olduğu ya da

stasiyoner olduğu (örneğin simetriden dolayı ya da A da büyük bir tekil yükün bulunması hali veya plağın kenarında bir süreksizliğin bulunması hali) kabul edilsin. Bu durumda (7.30) bağıntısında $S_A=0$ yazılırsa hareketli B ucundaki uç kuvveti

$$k_B = -m_{nsB} + 2m_t \quad (7.34)$$

bağıntısıyla belirlenir. Buna karşılık A hareketsiz ucundaki uç kuvveti belirsizdir. Bunun plastik mafsal çizgisi üzerine etkiyen düşey kuvvetlerin dengesini yazmak suretiyle belirlenmesi istenirse, F_{AB} A ve B noktaları arasında \overline{AB} uzunluğu üzerinde etkiyen kuvvetlerin toplamını göstermek üzere

$$k_B - k_A = F_{AB} + m_{nsB} - m_{nsA} \quad (7.35)$$

yazılabilir. k_B nin (7.34) deki değeri bu bağıntıda yerine konursa

$$k_A = -F_{AB} + 2m_t - 2m_{nsB} + m_{nsA} \quad (7.36)$$

olarak elde edilir. Görüldüğü gibi k_A uç kuvveti ancak F_{AB} nin bilinmesi halinde hesaplanabilmektedir.

4) Plastik mafsal çizgisinin iki ucunun hareketsiz olması hali (sıfır serbestlik dereceli):

Bu durumda uç kuvvetlerinin hiç birinin doğrudan hesaplanması mümkün değildir.

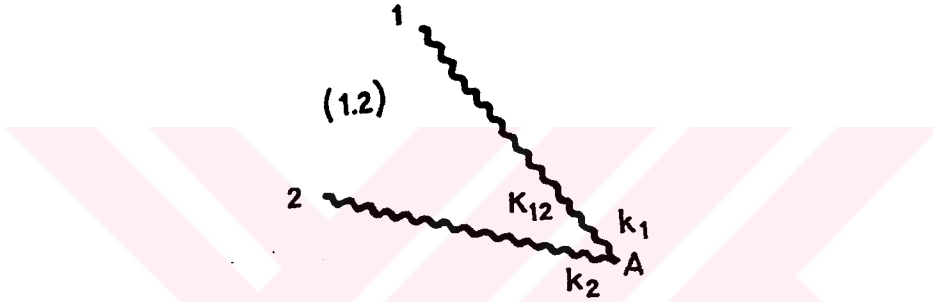
Özetle, bir plastik mafsal çizgisinin uçlarından birine etkiyen uç kuvvetlerin genel ifadesi $2m_t - m_{ns}$ şeklindedir. Bu ifade ancak aşağıdaki durumlarda kullanılabilir:

- Plastik mafsal çizgisinin iki ucunda hareketli olması halinde,
- Plastik mafsal çizgisinin iki ucunun uçlarından birinden farklı hareketsiz bir noktadan geçmek zorunda olması halinde. Bu durumda hesaplanan uç kuvvetleri ancak hareketli noktadan geçen bir eksene göre alınan momentlerinin toplamının belirlenmesinde kullanılabilir.
- Plastik mafsal çizgisinin bir ucunun hareketli diğer ucunun hareketsiz olması halinde. Herhangi bir plastik

mafsal çizgisinin hareketsiz ucundaki uç kuvveti $2m_t - m_{ns}$ ifadesiyle doğrudan hesaplanamaz.

D) Düşüm Noktası Kuvvetlerinin Hesabı

Trigonometrik yönde numaralanan 1 ve 2 nolu plastik mafsal çizgileriyle sınırlanmış ve bir göçme mekanizmasının elemanı olan (1.2) rijit elemanında plastik mafsal çizgilerinin kesim noktasında (A noktası) etkiyen K_{12} düşüm noktası kuvveti, bu iki plastik mafsal çizgisinin herbirine A noktasında karşılık gelen k_2 ve k_1 uç kuvvetlerinin $K_{12} = k_2 - k_1$ cebrik toplamı olarak elde edilir (Şekil 7.13).



Şekil 7.13. A Düşüm Noktası Kuvvetinin Belirlenmesi

Aşağı doğru etkiyen düşüm noktası kuvvetleri pozitif olarak dikkate alınmaktadır. A noktasının hareketli olması halinde, m_{ns1} ve m_{ns2} 1 ve 2 plastik mafsal çizgileri üzerinde gerçek uç burulma momentlerini, m_{t1} ve m_{t2} ise 1 ve 2 plastik mafsal çizgilerinin her biri üzerinde Johansen plastik mafsal kriterine ait burulma momenti değerlerini göstermek üzere;

$$K_{12} = -m_{ns2} + 2m_{t2} + m_{ns1} - 2m_{t1}$$

ya da

$$K_{12} = m_{ns1} - m_{ns2} - 2(m_{t1} - m_{t2}) \quad (7.37)$$

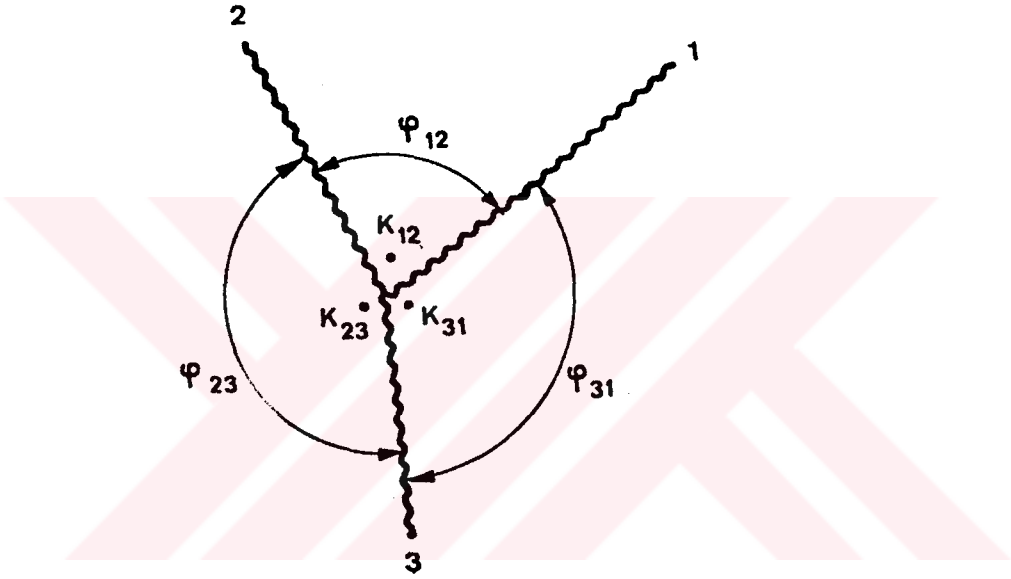
olarak elde edilir.

Aşağıda herhangi bir plağın rijit elemanlarını geçen trigonometrik yönde sırasıyla 1, 2 ve 3 ile numaralanan üç plastik mafsal çizgisinin kesişmesi hali için düşüm noktası kuvvetlerinin ifadeleri verilmektedir (Şekil 7.14).

12, 23 ve 31 üç rijit elemanın (Bkz.Şekil 7.14) her birine A noktasında etkiyen düğüm noktası kuvvetleri sırasıyla;

$$\begin{aligned} K_{12} &= m_{ns1} - m_{ns2} - 2(m_{t1} - m_{t2}) \\ K_{23} &= m_{ns2} - m_{ns3} - 2(m_{t2} - m_{t3}) \\ K_{31} &= m_{ns3} - m_{ns1} - 2(m_{t3} - m_{t1}) \end{aligned} \quad (7.38)$$

bağıntıları ile elde edilir.



Şekil 7.14. Üç Plastik Mafsal Çizgisinin Kesişmesi Halinde Düğüm Noktası Kuvvetinin Belirlenmesi

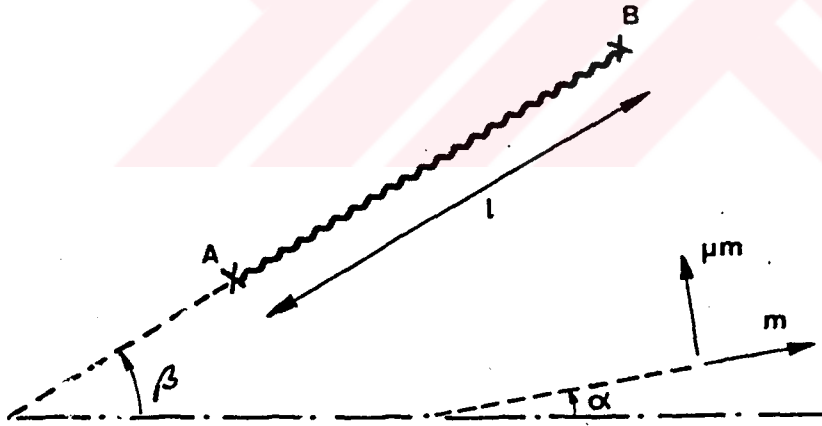
m_{ns1} , m_{ns2} ve m_{ns3} yerine daha önce madde 7.3.2.3.2b de (7.13) bağıntısıyla verilen değerleri (7.38) bağıntılarında yerlerine konursa, düğüm noktası kuvvetlerinin ifadeleri

$$\begin{aligned} K_{12} &= (m_{n1} - m_{n3}) \cot \varphi_{13} - (m_{n2} - m_{n3}) \cot \varphi_{23} - 2(m_{t1} - m_{t2}) \\ K_{23} &= (m_{n2} - m_{n1}) \cot \varphi_{21} - (m_{n3} - m_{n1}) \cot \varphi_{31} - 2(m_{t2} - m_{t3}) \\ K_{31} &= (m_{n3} - m_{n2}) \cot \varphi_{32} - (m_{n1} - m_{n2}) \cot \varphi_{12} - 2(m_{t3} - m_{t1}) \end{aligned} \quad (7.39)$$

şeklini alır.

Bu bağıntılar, düğüm noktası kuvvetleri için (Johansen, 1962) ve (Jones, 1962) kaynaklarında verilen bağıntılar ile eşdeğer

değildir. Çünkü bu kaynaklarda Johansen'in madde 7.3.2.3.2b de tanımlanan plastikleşme kriteri dikkate alınmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi Johansen plastikleşme kriterine göre plastik mafsalsal çizgilerine (7.15) bağıntılarıyla belirtilen sabit bir m_n eğilme momenti ile bir m_t momenti etkimektedir. Oysa, (7.39) bağıntıları, burulma momenti açıkça belirtilmemiş olduğundan, m_n eğilme momenti kriterine dayanmaktadır. Bu nedenle (7.39) bağıntılarının kullanılması mekanizmayı oluşturan rijit elemanların denge denklemlerinin yazılmasında Johansen kriterine göre hesaplanan m_t momentlerini dikkate almamayı gerektirmektedir. Denge denklemleri, hem m_n eğilme momenti ve hem de Johansen plastikleşme kriterine göre bulunan m_t burulma momenti dikkate alınarak yazılabilir. Gerçekten, rijit elemanın dönme eksenine β açısı yapan bir plastik mafsalsal çizgisi dikkate alınsın ve AB plastik mafsalsal çizgisinin m ve μm asal momentlerine karşılık gelen ortotrop bir donatı sistemine sahip olduğu kabul edilsin. m momenti elemanın dönme eksenine ile α açısı yapsın (Şekil 7.15).



Şekil 7.15. Elemanın Dönme Ekseniyle β Açısı Yapan Bir Plastik Mafsalsal Çizgisi

m_n eğilme momenti kriteri kullanılırsa plastik mafsalsal çizgisinin birim uzunluğundaki m_n eğilme momenti

$$m_n = m \cos^2(\beta - \alpha) + \mu m \sin^2(\beta - \alpha) \quad (7.40)$$

bağıntısı ile belirlenir. Bu momentin dönme eksenine üzerindeki bileşeni;

$$[m \cos^2 (\beta-\alpha) + \mu m \sin^2 (\beta-\alpha)] \sin \beta \quad (7.41)$$

dir. Eğer Johansen kriteri kullanılırsa m ve μm asal momentlerinin dönme eksenini üzerinde izdüşümlerini almak yeterlidir. Bu işlem yapılırsa birim uzunlukta $m \cos \alpha + \mu m \sin \alpha$ moment değeri elde edilir. Kolaylık için bu son yol izlenirse (7.39) bağıntılarını;

$$\begin{aligned} K'_{12} &= K_{12} - (m_{t2} - m_{t1}) \\ K'_{23} &= K_{23} - (m_{t3} - m_{t2}) \\ K'_{31} &= K_{31} - (m_{t1} - m_{t3}) \end{aligned} \quad (7.42)$$

şeklinde yazmak gerekmektedir. Bu bağıntıda K_{12} , K_{23} ve K_{31} yerine yazılırsa

$$\begin{aligned} K'_{12} &= (m_{n1} - m_{n3}) \cot \varphi_{13} - (m_{n2} - m_{n3}) \cot \varphi_{23} - (m_{t1} - m_{t2}) \\ K'_{23} &= (m_{n2} - m_{n1}) \cot \varphi_{21} - (m_{n3} - m_{n1}) \cot \varphi_{31} - (m_{t2} - m_{t3}) \\ K'_{31} &= (m_{n3} - m_{n2}) \cot \varphi_{32} - (m_{n1} - m_{n2}) \cot \varphi_{12} - (m_{t3} - m_{t1}) \end{aligned} \quad (7.42a)$$

bağıntıları elde edilir. Bu bağıntılar, şeklen biraz farklı olmakla beraber, (Jones, 1962) kaynağında silindirik koordinatlar da verilen bağıntılara eşdeğerdir. Gerçekten (Jones, 1962) kaynağının 147. sayfasında (9.12) bağıntısındaki Q_{12} düğüm noktası kuvveti için verilen bağıntı,

$$Q_{12} = (m_{n3} - m_{n1})_3 \cot \varphi_{13} - (m_{n3} - m_{n2})_3 \cot \varphi_{23} + (m_{t2})_3 - (m_{t1})_3$$

şeklindedir. Bu bağıntıdaki $(m_{n1})_3$, $(m_{n2})_3$ ve $(m_{n3})_3$ momentleri sırasıyla 1, 2 ve 3 plastik mafsallara çizgilerine karşılık gelen donatı sistemlerine bağlı eğilme momentlerinden dolayı 3 nolu plastik mafsallara çizgisi üzerindeki eğilme momentleri, $(m_{t1})_3$, $(m_{t2})_3$ ise sırasıyla 1 ve 2 plastik mafsallara çizgilerine karşılık gelen donatı sistemlerine bağlı üç nolu plastik mafsallara çizgisi üzerindeki burulma momentleridir. Aşağıdaki bağıntılar kolaylıkla yazılabilir.

$$m_{n1} \cot \varphi_{13} - m_{t1} = (m_{n1})_3 \cot \varphi_{13} + (m_{t1})_3$$

ve

$$-m_{n2} \cot \varphi_{23} + m_{t2} = -(m_{n2})_3 \cot \varphi_{23} - (m_{t2})_3$$

Bu bağıntılar yardımıyla (7.43) bağıntılarından K'_{12} , düğüm noktası kuvveti ifadesi,

$$K'_{12} = (m_{n1} - m_{n3})_3 \cot \varphi_{13} - (m_{n2} - m_{n3})_3 \cot \varphi_{23} + (m_{t1})_3 - (m_{t2})_3$$

şeklinde yazılabilir.

Diğer taraftan işaret kurallarının farklı olduğu dikkate alınır, Jones Q_{12} 'nin yukarıya doğru pozitif kabul etmiştir, $K'_{12} = -Q_{12}$ olur. Görüldüğü gibi her iki bağıntı birbirine özdeştir.

Momentler için Jones sembolleri kullanılır ve (7.43a) bağıntılarına yukarıda belirtilen işaret kuralı uygulanırsa düğüm noktası kuvvetlerine ait bağıntılar;

$$K'_{12} = (m_{n1} - m_{n3})_3 \cot \varphi_{13} - (m_{n2} - m_{n3})_3 \cot \varphi_{23} + (m_{t1})_3 - (m_{t2})_3$$

$$K'_{23} = (m_{n2} - m_{n1})_1 \cot \varphi_{21} - (m_{n3} - m_{n1})_1 \cot \varphi_{31} + (m_{t2})_1 - (m_{t3})_1 \quad (7.42b)$$

$$K'_{31} = (m_{n3} - m_{n2})_2 \cot \varphi_{23} - (m_{n1} - m_{n2})_2 \cot \varphi_{12} + (m_{t3})_2 - (m_{t1})_2$$

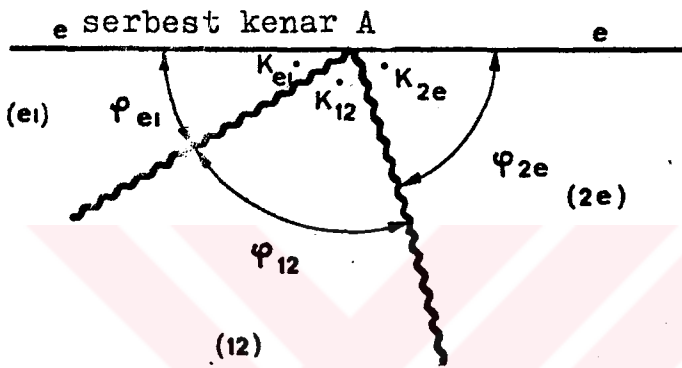
şeklinde yazılabilir.

Düğüm noktasında, düğüm noktası kuvvetlerinin dengede olabilmesi için farklı donatı sistemine sahip üçten fazla plastik mafsal çizgisinin bir düğüm noktasından geçmesi mümkün değildir. Bununla beraber kesişen tüm plastik mafsal çizgilerinin aynı sistem donatıya sahip olmaları özel halinde her bir plastik mafsal çizgisi üzerindeki asal momentler plastik mafsal çizgilerinin kesim noktasında hem doğrultu ve hem de büyüklük olarak çakışırlar. Bu özel durumda herhangi bir sayıdaki plastik mafsal çizgisi aynı noktada kesişebilir (UNESCO, 1968).

Bu durumda m_{ns} gerçek uç burulma momentleri, Johansen plastikleşme kriterindeki burulma momentlerine eşit olduğundan, tüm

düğüm noktalarındaki kuvvet, düğüm noktasının hareketli olması halinde, sıfırdır.

Eğer bir plastik mafsalsal çizgisi serbest (mesnetsiz) bir kenara rastlarsa (Şekil 7.16) serbest kenardan dolayı meydana gelen uç kuvveti bu kenardaki gerçek uç burulma momentine (m_{nse}) eşittir. Aksine, bir mesnetli kenar söz konusu ise mesnet reaksiyonu bilinmedikçe uç kuvvetinin belirlenmesi mümkün değildir. Serbest olan bir kenarın hareketli bir A noktasında kesişen iki



Şekil 7.16. Plastik Mafsalsal Çizgilerinin Serbest Kenarda Kesişiminin Şematik Gösterilimi

plastik mafsalsal çizgisi dikkate alınsın (Şekil 7.16), (e₁) elemanı üzerindeki A noktasına uygulanan düğüm noktası kuvveti;

$$K_{e1} = k_1 - k_e = -m_{ns1} - m_{nse} + 2m_{t1}$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Madde 7.3.2.3.2 de verilen uç burulma momentleri bağıntılarını kullanılır ve burada üç çizginin trigonometrik yönden 1, 2 ve 3 yerine e, 1 ve 2 olarak numaralandığı kabul edilerek;

$$-m_{ns1} - m_{nse} = -(m_{ne} - m_{n1}) \cot \varphi_{e1}$$

bağıntısı elde edilir. $m_{ne} = 0$ olduğundan düğüm noktası kuvvetleri

$$K_{e1} = m_{n1} \cot \varphi_{e1} + 2m_{t1}$$

(7.44a)

$$K_{e2} = -m_{n2} \cot \varphi_{2e} - 2m_{t2}$$

olarak ya da denge denklemlerinde Johansen'in plastikleşme kriterine uygun m_{t1} ve m_{t2} burulma momentleri dikkate alınarak

$$\begin{aligned} K'_{e1} &= m_{n1} \cot \varphi_{e1} + m_{t1} \\ K'_{e2} &= -m_{n2} \cot \varphi_{e2} - m_{t2} \end{aligned} \quad (7.44b)$$

bağıntılarıyla hesaplanır. K_{e1} ve K_{e2} (ya da K'_{e1} ve K'_{e2}) kuvvetleri kenar düğüm kuvvetleri adını taşımaktadır. 1 ve 2 plastik mafsalsal çizgileri arasında plak elemanı üzerindeki A noktasına etkiyen düğüm noktası kuvveti (K_{12}) ise daha önce verilen (7.39) genel bağıntılarından;

$$K_{12} = m_{n2} \cot \varphi_{e2} - m_{n1} \cot \varphi_{e1} - 2(m_{t1} - m_{t2}) \quad (7.45a)$$

şeklinde ya da denge denklemlerinde Johansen kriteri burulma momenti dikkate alınmak suretiyle (7.43) genel bağıntılarından;

$$K'_{12} = m_{n2} \cot \varphi_{e2} - m_{n1} \cot \varphi_{e1} - (m_{t1} - m_{t2}) \quad (7.45b)$$

şeklinde hesaplanır.

Plağın, izotrop donatı sistemine sahip olması durumunda yukarıdaki bağıntılar (7.44 ve 7.45)

$$\begin{aligned} K_{e1} &= K'_{e1} = m_{n1} \cot \varphi_{e1} \\ K_{e2} &= K'_{e2} = -m_{n2} \cot \varphi_{e2} \end{aligned} \quad (7.46)$$

$$K_{12} = K'_{12} = m_{n2} \cot \varphi_{e2} - m_{n1} \cot \varphi_{e1}$$

şeklini almaktadır.

7.4.4.2. Denge Denklemleri ve Çözümleri

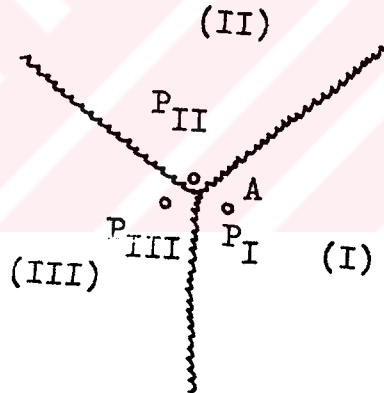
Yukarıda verilen (7.46) bağıntılarıyla doğrudan hesaplanabilen düğüm noktası kuvvetleriyle incelenen mekanizmayı meydana getiren n adet rijit elemanın denge denklemini yazmak mümkün olmaktadır. Genellikle bu denge denklemlerinin sayısı $3n$ dir.

Gerçekten belirli bir rijit eleman için bir düşey kuvvetler denge denklemi yazılabilir. Özellikle simetri durumunda ya da mesnet çizgisine bitişik elemanlar durumunda denge denklemi sayısı azalır.

Denge denklemlerindeki bilinmeyenler aşağıda verilmektedir.

a) Yukarıda madde 7.4.4.1 de verilen yöntemle, hareketsiz düğüm noktalarında düğüm noktası kuvvetleri doğrudan hesaplanmamaktadır.

Plastik mafsalsal çizgilerinin kesim noktası olan bir A noktasına bir P tekil yükün etki etmesi özel durumunda (Şekil 7.17) bu P kuvveti, A noktasında kesişen plastik mafsalsal çizgileri ile ayrılmış, sırasıyla (I), (II)... rijit elemanlara etkiyen zıt işaretli P_I , P_{II} ... kuvvetleriyle dengelenmektedir. (I), (II)... elemanları için düşey kuvvetlerin denge denklemleri, daha sonra ilgili elemanların moment denge denklemlerinde işleme giren, P_I , P_{II} ... kuvvetlerinin değerlerini vermektedir.



Şekil 7.17. Plastik Mafsalsal Çizgilerinin Kesim Noktasına Tekil Yükün Etkimesi Hali

b) Mekanizmayı belirleyen X_1, X_2, \dots, X_p nin geometrik parametresi olan p.

c) m referans momenti.

Madde 7.4.3 de plağın çeşitli doğrultularındaki pozitif ve negatif direnme momentlerinin, bu momentler arasından seçilen ve referans direnme momenti adı verilen m momentine oranlarının bilindiği kabul edilmişti. Burada uygulanan yüklerin bilindiği kabul edilmektedir.

Mekanizmayı meydana getiren farklı rijit elemanların denge denklemlerinden meydana gelen denklem takımının çözümü, bilinmeyen düğüm noktası kuvvetleriyle göçme mekanizmasını tanımlayan p geometrik parametresi değerinin hesaplanmasına imkan vermektedir. Tüm bu işlemler sonunda göçme mekanizmasına karşılık gelen göçme yüküyle m referans momenti arasında bir bağıntı elde edilir.

Eğer dikkate alınması gereken çok sayıda göçme mekanizması varsa, dikkate alınan her bir mekanizma için elde edilen m değerlerinin karşılaştırılmasıyla m referans direnme momentinin en büyük değerini veren bir yük sistemine karşılık gelen en uygun mekanizma elde edilir. Plağın farklı doğrultularındaki donatı oranlarına bağlı olarak belirlenen çeşitli direnme momentlerinin bu referans direnme momentlerine oranları önceden belirlenmiş olduğundan her bir doğrultudaki direnme momentleri kolaylıkla hesaplanabilir.

Burada, denge yöntemiyle elde edilen çözümün bir altsınır çözümü olduğunu ve sadece kinematik olarak (plastisite kriterini sağlayan) kabul edilebilir bir göçme mekanizmasına, statikçe kabul edilebilir bir moment dağılımının karşılık getirilmesiyle (teklük teoremi) elde edilen çözümün kesin çözüm olduğunu göstermenin mümkün olabileceğini belirtmek uygun olmaktadır.

Denge denklemlerinin meydana getirdiği denklem takımları alışılmış yöntemlerle doğrudan çözülebileceği gibi X_1, X_2, \dots, X_p parametrelerinin tümünü tahmin ederek ardışık yaklaşım yöntemleriyle de çözülebilir. Böylece mekanizmanın her bir elemanına tatbik edilen yüklerle m referans momenti arasında bir bağıntı elde edilir. Böylece çeşitli elemanlar için elde edilen m_1, m_2, \dots, m_n değerlerinin karşılaştırılması, elde edilen yaklaşımın derecesi dolayısıyla da plastik mafsallı çizgilerinin konumu, diğer bir deyişle en iyi yaklaşımı elde etmek için X_1, X_2, \dots, X_p parametrelerinin ne yönde değişmesi gerektiği hakkında bir fikir verir. Bu fikirden yararlanarak yeni seçilen X_1, X_2, \dots, X_p değerleriyle hesap tekrarlanır. Bu tekrar işlemine tatmin edici yaklaşım elde edilinceye kadar devam edilir.

7.4.5. Plastik Mafsal Çizgileri Teorisi Konusunda Özel Durumlar

Buraya kadar plakların göçme sınırına göre (eğilme momenti etkisinde) hesabında kullanılan plastik mafsal çizgileri teorisinin başlıca ilkeleriyle uygulama süreci özetlenmiştir.

Bu bölümde üzerinde durulmayan, plastik mafsal çizgileri hakkındaki özel konularda aşağıda verilen kaynaklara başvurulabilir:

- Ortotrop bir plağın yerine eşdeğer bir izotrop plak koymak suretiyle bazı durumlarda ortotrop plakların doğrudan hesabından kaçınmaya imkan veren affinite ile değişim yöntemi (Johansen, 1962, s.67-74) ve (Wood, 1961, s.117-126).

- Aynı anda birçok yük sisteminin uygulanması halinde, elastik teorinin süperpozisyon yönteminin sınır çözümlenmeye genişletilmesi (Johansen, 1962, s.74-81), (Wood, 1961, s.41-45) ve (Massonet ve Save, 1963, s.261-264).

- Köşelerde ve tekil yük civarındaki özel mekanizmalar ve plastik mafsal çizgilerinin eğrisel olması, yelpaze şeklinde göçme mekanizmaları genel hali (Johansen, 1962, s.82-136) ve (Wood, 1961, s.28-36 ve s.52-57).

Plağın kenarlarında giriş bulunması halinde, plak-giriş etkileşimi (Johansen, 1962, s.136-142), (Wood, 1961), (Massonet ve Save, 1963, s.264-269) ve (Karaesmen ve Robinson, 1965).

- Kemerleşme ve zar (membran) etkileri (Wood, 1961, s.225-261) ve (Massonet ve Save, 1963, s.302-308).

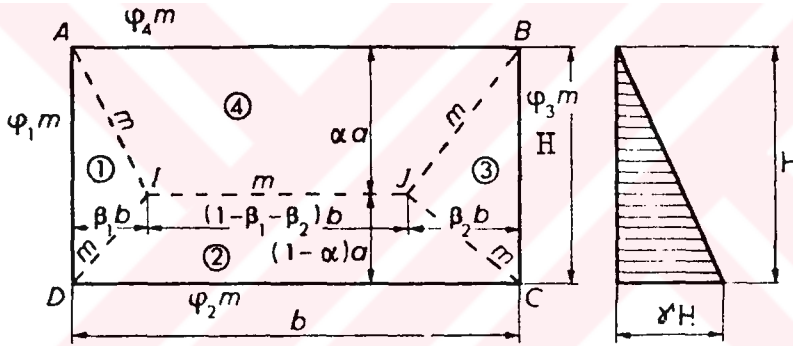
7.5. Dikdörtgen Kesitli Betonarme Sıvı Depolarının Plastik Mafsal Çizgileri Teorisine Göre Yapısal Çözümlemesi

7.5.1. Yapısal Çözümlemede İzlenen Yol

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının plastik mafsal çizgilerine göre yapısal çözümlemesi, her türlü mesnet koşulları için, Johansen'in plastikleşme kriteri kullanılarak yapılabileceği daha önce de ayrıntılı olarak belirtilmişti. Mesnet koşulları

bir φ mesnet katsayısı ile dikkate alınmaktadır. Bu mesnet katsayısı basit mesnet için 0, ankastre mesnet için 1.00 ve elastik mesnet için 0-1.00 arasında bir değer almaktadır (Doğangün,1989).

Aşağıda dört kenarında oturan, hidrostatik basınç etkisinde dikdörtgen betonarme bir plağa ait plastik mafsalsal çizgileri verilmektedir (Şekil 7.18). IJ yatay plastik mafsalsal çizgisinden itibaren plak dört parçaya ayrılmaktadır. Genellikle, plakların dört kenarı boyunca mesnet koşulları birbirinden farklıdır. Bu nedenle plaktaki birim moment m ile gösterilirse, plak kenarları boyunca dört farklı ($\varphi_1 m$, $\varphi_2 m$, $\varphi_3 m$ ve $\varphi_4 m$) momentleri meydana gelir. Her bir kenar momenti için φ_1 , φ_2 , φ_3 ve φ_4 mesnet katsayıları; plağın boyutlarına ve mesnet koşullarına bağlı olarak seçilir.



Şekil 7.18. Dikdörtgen Plakta Plastik Mafsalsal Çizgileri

IJ plastik mafsalsal çizgisinin yatay olduğu bilinmekle beraber, konumu kesin olarak bilinmediğinden plastik mafsalsal çizgilerine ait üç bilinmeyen (α , β_1 , β_2) bulunmaktadır. Bunlara m birim momenti de eklenirse bilinmeyen sayısı dört olmaktadır. Buna karşılık, dört plak parçasına ait dört denge denklemi bulunmaktadır. Her bir parça üzerindeki kuvvetler; bu parçaların boyutlarına ve her bir parçaya etkiyen γH sıvı yüküne bağlıdır. Plak parçalarının yüzeyleriyle sıvı basıncının oluşturduğu hacimleri, (bu hacimler bileşke kuvvetlerdir) prizma ve piramit şeklindeki elemanter hacim bileşenlerine ayırarak, elde edilen kuvvetler bu plak parçaları üzerine etkililir. Bu durumda, her elemanter hacmin ağırlık merkezinin, plak kenarlarına uzaklığı hesaplanabilir (Şekil 7.19). Bu durumda çözüm daima mümkün olmaktadır. Ancak,

elemanter olmasına rağmen bu hesap şekliyle çok yüksek dereceli denklemler ortaya çıkmaktadır. AD ve BC kenar koşullarının özdeş olduğu ($\varphi_1 = \varphi_3$ ve $\beta_1 = \beta_2$) sık rastlanan durumlarda bile üç bilinmeyenli üç denklem gerekmektedir. Bu da teorik çözümün pratik olmadığını göstermektedir. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde genellikle ardışık yaklaşım yöntemlerinin kullanılması tercih edilmektedir. Burada kullanılan ardışık yaklaşım hesap yönteminde izlenen yol aşağıda verilmektedir (Bkz.Şekil 7.19).

- α, β_1 ve β_2 tahmini olarak seçilir,
- Geometrik olarak bilinen dört plak parçasının her birine etkiyen P_1, P_2, P_3 ve P_4 hidrostatik yükler ile G_1, G_2, G_3 ve G_4 ağırlık merkezleri hesaplanır,
- Denge denklemleri, aşağıdaki şekilde, yazılır.

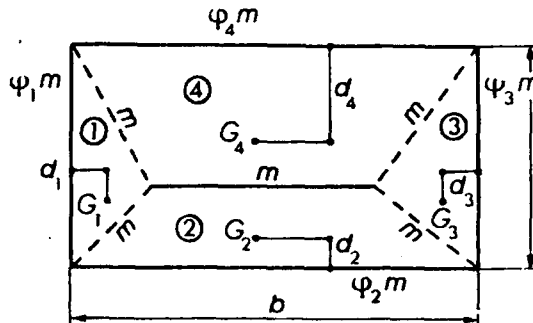
$$P_1 \cdot d_1 = m \cdot H + \varphi_1 \cdot m \cdot H = mH(1 + \varphi_1) \quad (7.47)$$

$$P_2 \cdot d_2 = m \cdot b(1 + \varphi_2) \quad (7.48)$$

$$P_3 \cdot d_3 = m \cdot H(1 + \varphi_3) \quad (7.49)$$

$$P_4 \cdot d_4 = m \cdot b(1 + \varphi_4) \quad (7.50)$$

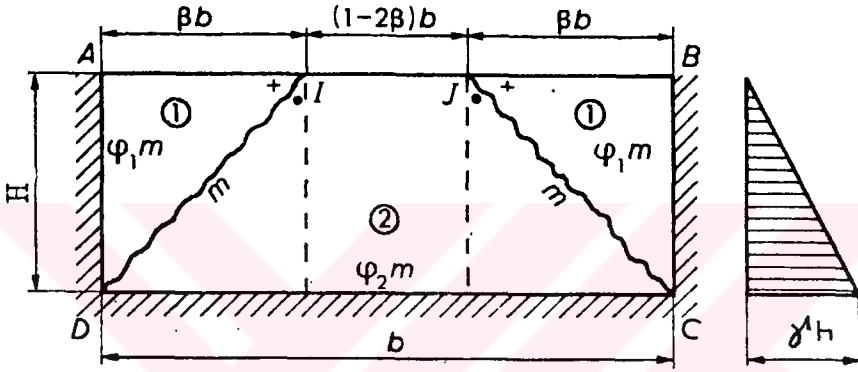
Görüldüğü gibi bu denklemlerin her birinde sadece hesaplanacak m bilinmeyenleri bulunmaktadır. Bu denklemlerden bulunan m değerinin birbirine eşit olması, plastik mafsalları konumunun doğru seçilmiş olduğunu gösterir. Aksi halde yeniden seçilen α, β_1 ve β_2 değerleriyle hesabı yeniden yapmak gerekir. Deponun üstü açık olması halinde üst kenar serbest olacağından bu problem basitleşir. Bu durumda iki plastik mafsalları çizgilerinin düşey bir eksene göre simetrik olmaları problemi daha da basitleştirmektedir.



Şekil 7.19. Dikdörtgen Plakın Plastik Mafsalları Çizgileriyle Rijit Parçalara Ayrılması

7.5.2. Dikdörtgen Kesitli Betonarme Sıvı Depolarının Çeşitli Yük ve Mesnet Koşulları İçin Yapısal Çözümlemesi

a) Dikdörtgen kesitli betonarme bir sıvı deposunun bir kenarından serbest, diğer üç kenarından mesnetli hidrostatik yük etkisindeki bir cidarında plastik mafsallı çizgileri boyunca meydana gelen birim momentin bulunması istensin (Şekil 7.20).



Şekil 7.20. Üç Kenarından Mesnetli, Hidrostatik Yük Etkisinde Dikdörtgen Bir Plakta Plastik Mafsallı Çizgileri

Bunun için, plakda plastik mafsallı çizgileriyle birbirinden ayrılan ① ve ② nolu plak parçalarına etkiyen kuvvetler ve bu kuvvetlerin ağırlık merkezlerinin kenarlara olan uzunlukları belirlenerek her plak parçası için denge denklemi yazılırsa;

1 nolu plak parçası için:

Bu parçaya etkiyen yük, yüksekliği γH tabanı $\frac{1}{2} \beta b H$ olan bir piramitin hacminden ibarettir. Bu şekilde hesaplanan yükün tatbik noktasının (piramitin ağırlık merkezi) AD kenarına uzaklığı $d = \beta b / 4$ dür. ① nolu parçaya etkiyen kuvvet

$$P_1 = \frac{1}{3} \frac{1}{2} \beta b H \gamma h$$

ve I noktasına etkiyen düğüm noktası kuvveti

$$K_I = m \cot \alpha = \frac{1}{\tan \alpha} = \frac{m \beta b}{H}$$

olarak belirlenir. P_1 kuvvetinin AD kenarına göre momenti

$$\frac{1}{3} \frac{1}{2} \beta b H \gamma h \frac{\beta b}{4} = \frac{\beta^2 H b^2 \gamma h}{24}$$

dır. Bu durumda (1) nolu plak parçasının denge denklemi

$$\frac{\beta^2 H b^2 \gamma h}{24} + \frac{m \beta^2 b^2}{H} = m H (1 + \varphi_1)$$

olarak yazılabilir. Buradan (1) nolu plak parçası için birim moment;

$$m = \frac{\beta^2 b^2 \gamma h H^2}{24 [H^2 (1 + \varphi_1) - \beta^2 b^2]} \quad (7.51)$$

olarak benzer işlemler yapılırsa, (2) nolu plak parçası için ise

$$m = \frac{(1 - \beta) H^2 \gamma h}{(\beta + \varphi_2)} \quad (7.52)$$

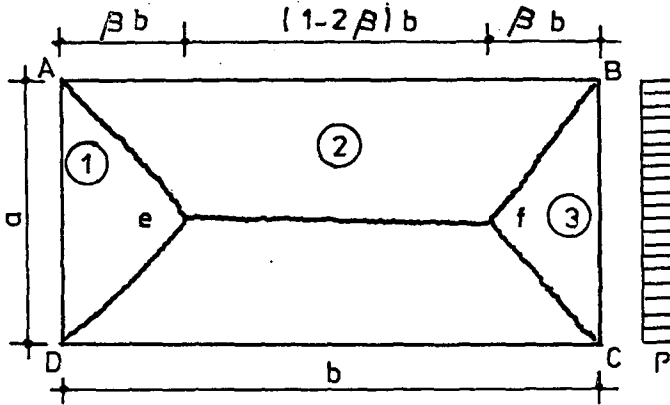
olarak elde edilir. Denge gereği bu iki plak parçası için elde edilen birim moment değerlerinin birbirine eşit olması gerekmektedir. (7.51) ve (7.52) bağıntılarının sol tarafları birbirine eşit olması gerektiğinden sağ tarafları da birbirine eşit olmak zorundadır. O halde

$$\frac{\beta^2 b^2 \gamma h H^2}{24 [H^2 (1 + \varphi_1) - \beta^2 b^2]} = \frac{(1 - \beta) H^2 \gamma h}{(\beta + \varphi_2)} \quad (7.53)$$

olmalıdır. Bu denklemden bulunan β değeri ile (7.51) ya da (7.52) bağıntılarından hesaplanan m değeri aranan birim momentin gerçek değeridir. Ancak (7.53) bağıntısından β nın bilinmesi yüksek derecede (genel durumda beşinci dereceden) denklemlerin çözümünü gerektirdiğinden bu analitik çözüm yerine genellikle (7.51) ve (7.52) bağıntılarından belirlenen momentlerin birbirine eşit oluncaya kadar β yı değiştirme esasına dayanan ardışık yaklaşım yönteminin kullanılması tercih edilmektedir.

b) Dört kenarından mesnetli, üniform yayılı yük etkisinde dikdörtgen bir plak için plastik mafsallı çizgileri boyunca

meydana gelen birim momentinin bulunması istensin (Şekil 7.21).



Şekil 7.21. Dört Kenarından Basit Mesnetli Eşit Yayılı yük Etkisindeki Bir Plakta plastik mafsallı Çizgileri

Bu durumda, bir önceki örnekte olduğu gibi (1) nolu plak parçasında AD kenarına göre moment alınır, birim momentin değeri;

$$m_a = \frac{1}{2} P a \beta b \frac{1}{3} \beta b = \frac{1}{6} P a \beta^2 b^2$$

ya da

$$m = \frac{1}{6} P \beta^2 b^2 \quad (7.54)$$

olarak, (2) nolu plak parçasında ise AD kenarına göre moment alınır, bu parça için birim momentin değeri;

$$m_b = P \left[\frac{\beta a^2 b}{12} + \frac{(1-2\beta) b a^2}{8} \right]$$

ya da

$$m = \frac{1}{24} P a^2 (3-4\beta) \quad (7.55)$$

olarak bulunur. Bu durum için de m birim momentinin gerçek değeri, daha önce de belirtildiği gibi, (1) ve (2) nolu plak parçaları için elde edilen (7.54) ve (7.55) bağıntılarının ikinci taraflarının birbirine eşitlenerek, plastik mafsallı çizgilerinin konumunu belirleyen β parametresinin belirlenmesi suretiyle bulunabileceği gibi her iki parçadan bulunan birim momentler birbirine eşit oluncaya kadar β değerinin değiştirilmesi esasına dayanan ardışık yaklaşım yöntemiyle de belirlenebilir.

**SAYISAL UYGULAMA 7.1. Plastik Mafsallı Çizgileri Teorisine
Göre Betonarme Bir Sıvı Deposunun
Yapısal Çözümlemesi**

Depo iç boyutları (uzunluk, genişlik ve yükseklik) sırasıyla $b=12$ m, $a=6.10$ m ve $H=4.90$ m olan betonarme bir su deposunun tam dolu olması halinde çeşitli mesnet koşullarına göre plastik mafsal çizgileri teorisine göre, Ek-B de verilen bilgisayar programı kullanılarak, yapısal çözümlemesinden elde edilen sonuçlar Çizelge 7.1 de verilmektedir.

**Çizelge 7.1. Dikdörtgen Bir Depoda Çeşitli Mesnet Koşullarına
Göre Birim Momentler**

| MESNET ŞEKLİ | PLASTİK MAFSAL ÇİZGİSİ BOYUNCA OLUŞAN BİRİM MOMENTLER (kNm/m) | |
|---|--|---------------|
| | BÜYÜK CİDARDA | KÜÇÜK CİDARDA |
| Üç kenarı ankastre $\psi_1 = \psi_2 = 1$ | 75.23 | 22.50 |
| Üç kenarı elastik ankastre $\psi_1 = \psi_2 = 0.8$ $\psi_1 = \psi_2 = 0.6$ $\psi_1 = \psi_2 = 0.5$ | 89.54 | 25.05 |
| | 110.07 | 28.23 |
| | 124.31 | 30.11 |
| İki kenarı ankastre taban basit mesnetli $\psi_1 = 1, \psi_2 = 0$ | 66.12 | 28.96 |
| İki kenarı elastik ankastre taban basit mesnetli $\psi_1 = 0.5, \psi_2 = 0$ | 75.54 | 35.20 |
| Üç kenarı basit mesnetli $\psi_1 = \psi_2 = 0$ | 327.53 | 45.34 |

BÖLÜM 8

DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME SIVI DEPOLARININ PROJELENDİRİLMESİNDE KULLANILAN ÇEŞİTLİ YAPISAL ÇÖZÜMLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

8.1. GİRİŞ

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının projelendirilmesinde, birçok yapısal çözümleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden; yatay ve düşey şeritler yöntemi Bölüm 4 de, Amerikan standardında verilen yöntem Bölüm 5 de, sonlu elemanlar yöntemi Bölüm 6 da ve plastik mafsal çizgileri yöntemi Bölüm 7 de verilmiştir. Bu bölümlerin herbirinin sonunda, depo boyutları değiştirilmeden, çeşitli mesnet koşullarına bağlı olarak yukarıda belirtilen yöntemlerin herbiriyle birer sayısal uygulama yapılmıştır. Bu bölümde, bu sayısal uygulamalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

8.2. Yapısal Çözümleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının projelendirilmesinde kullanılan yapısal çözümleme yöntemlerinden hangisinin gerçek ya da gerçeğe yakın sonuç verdiği ve bu sonuçların, çeşitli mesnet koşullarına bağlı olarak, yöntemlere göre ne yönde değiştiği bilinmemektedir.

Burada, farklı mesnet koşulları dikkate alınarak, çeşitli yapısal çözümleme yöntemlerinden büyük cidarların ortasında düşey ve yatay doğrultularda elde edilen momentler diyagramları halinde verilmektedir (Bkz. Şekil 8.1, Şekil 8.2, ..., Şekil 8.7).

- a) Depo büyük cidarların ortalarında düşey doğrultudaki momentler

Şekil 8.1, sonlu elemanlar yöntemi ve Amerikan standardında önerilen yöntemle göre cidarların düşey doğrultularında aynı

mesnet koşulları için elde edilen momentleri göstermektedir. Bu şekilde, yüksekliğin ortasında, sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen momentin, Amerikan standardında önerilen yöntemden elde edilenden %26, alt yatay kenardaki değerinin ise %7 daha büyük olduğu görülmektedir.

Şekil 8.2, sonlu elemanlar yöntemi ve şeritler yöntemine göre, cidarların düşey doğrultularında, aynı mesnet koşulları için, elde edilen momentleri göstermektedir. Bu şekilde, yüksekliğin ortasında sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen momentin şeritler yönteminden elde edilenden %2 daha büyük, alt yatay kenardaki değerlerinin ise %3 daha küçük olduğu görülmektedir.

Şekil 8.3, sonlu elemanlar yöntemi ve Amerikan standardında önerilen yöntemine göre cidarların düşey doğrultularında, aynı mesnet koşulları için, elde edilen momentleri göstermektedir. Bu şekilde, yüksekliğin ortasında sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen momentin, Amerikan standardında önerilen yöntemden elde edilenden %158 daha küçük olduğu görülmektedir.

Şekil 8.4, sonlu elemanlar yöntemi, Amerikan standardında önerilen yöntem ve şeritler yöntemine göre cidarların düşey doğrultularında, aynı mesnet koşulları için, elde edilen momentleri göstermektedir. Bu şekilde, yüksekliğin ortasında sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen momentin, Amerikan standardında önerilen yöntemden ve şeritler yönteminden sırayla %67 ve %98 daha küçük olduğu görülmektedir.

b) Depo büyük cidarlarının ortasında yatay doğrultudaki momentler

Şekil 8.5, sonlu elemanlar yöntemine ve Amerikan standardında önerilen yöntemine göre cidarların yatay doğrultularında, aynı mesnet koşulları için, elde edilen momentleri göstermektedir. Bu şekilde, yüksekliğin ortasında sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen momentin Amerikan standardında önerilen yöntemden elde edilenden %8 daha büyük, düşey kenarlarda %25 daha küçük olduğu görülmektedir.

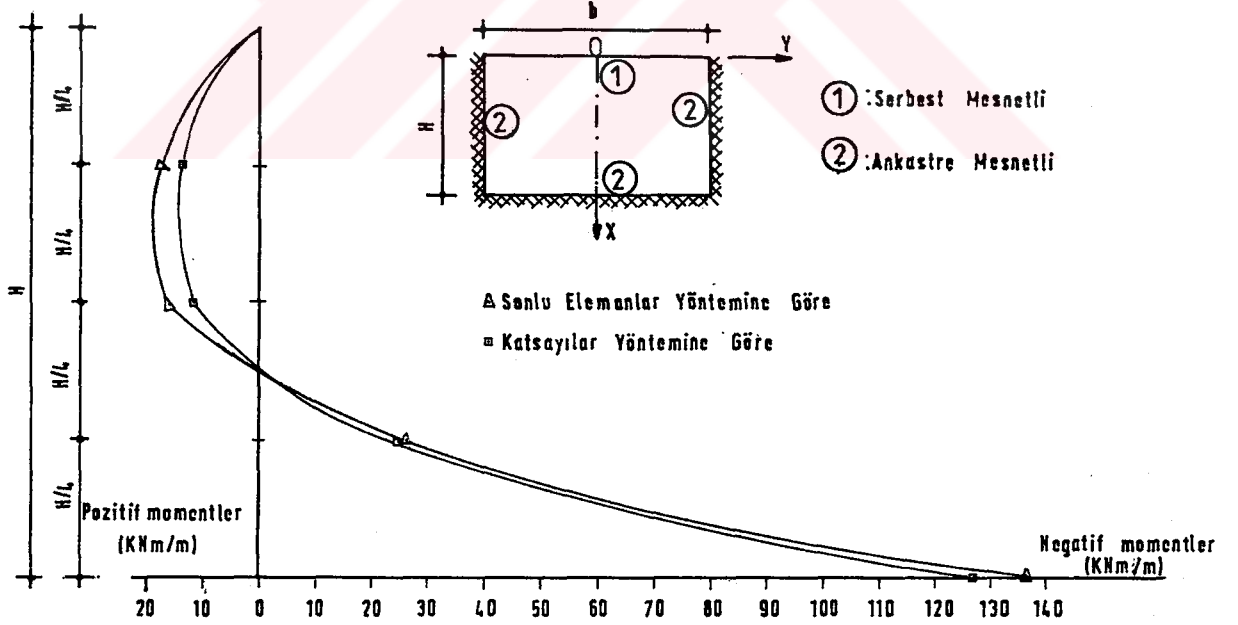
Şekil 8.6, sonlu elemanlar yöntemine ve Amerikan standardında önerilen yöntemle göre cidarların yatay doğrultularında, aynı mesnet koşulları için, elde edilen momentleri göstermektedir. Bu şekilde, cidarların ortasında sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen momentin Amerikan standardında önerilen yöntemden elde edilenden %196, düşey kenarlarda %102 daha küçük olduğu görülmektedir.

Şekil 8.7, sonlu elemanlar yöntemine ve Amerikan standardında önerilen yöntemle göre cidarların yatay doğrultularında, aynı mesnet koşulları için, elde edilen momentleri göstermektedir. Bu şekilde, cidarların ortasında sonlu elemanlar yöntemine göre elde edilen momentin, Amerikan standardında önerilen yöntemden elde edilenden %9 daha büyük, düşey kenarlarda %60 daha küçük olduğu görülmektedir.

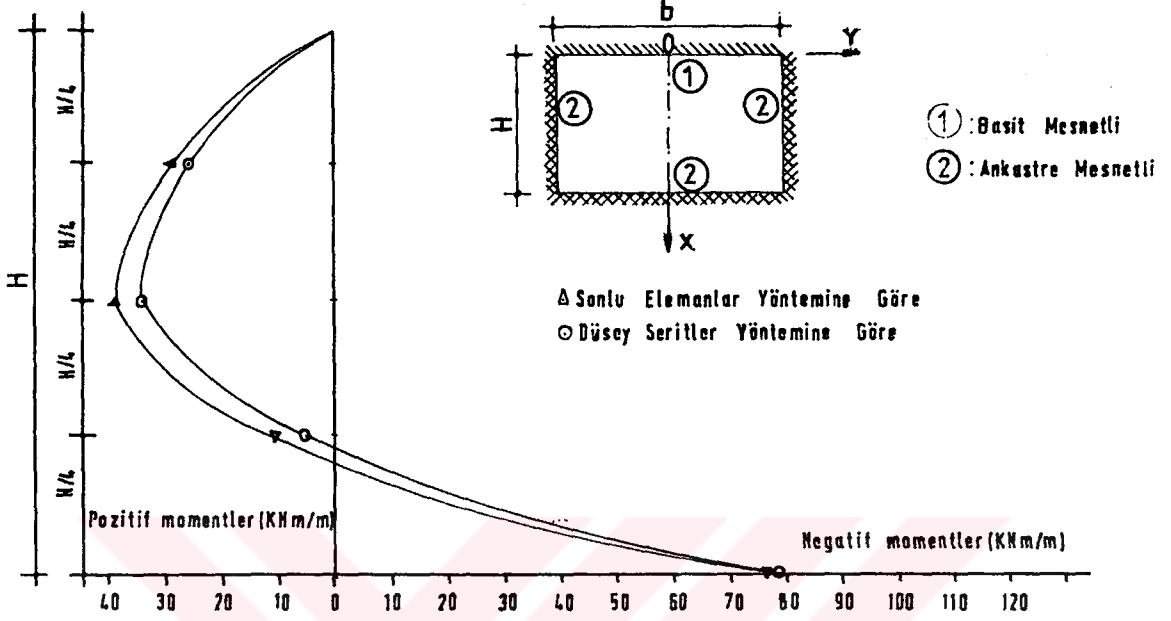
Bu su deposunun yapısal çözümlemesi plastik mafsallı çizgileri yöntemiyle çeşitli mesnet koşulları için Ek-B de verilen bilgisayar programı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Bölüm 7 deki Çizelge 7.1 de verilmiştir. Bu çizelgeden mesnet koşulları değişikçe deponun büyük ve küçük cidarlarındaki momentlerin çok önemli derecede değiştiği görülmektedir. Durum böyle olunca doğru sonuçların elde edilmesi için mesnet koşullarının gerçekçi bir şekilde sağlanması kaçınılmaz olmaktadır. Diğer bir deyişle yapısal çözümleme yöntemi ne olursa olsun elde edilen sonuçlar ancak mesnet koşulları için yapılan kabullerin doğruluğu derecesinde gerçekçi olacaktır.

Çizelge 7.1 deki moment değerlerinin, bu çalışmaya konu olan diğer yapısal çözümleme yöntemlerinden elde edilen karşılıklarıyla karşılaştırılmasından, sadece Amerikan standardında verilen yöntemden elde edilen momentlerin (Şekil 8.3 ve Şekil 8.6) plastik mafsallı çizgileriyle elde edilene yakın olduğu (plastik mafsallı çizgileriyle elde edilen %16 daha büyük) görülmektedir. Diğer yöntemlerden elde edilen moment değerleri ise genellikle %200 kadar plastik mafsallı çizgileriyle elde edilenden daha küçük olmaktadır.

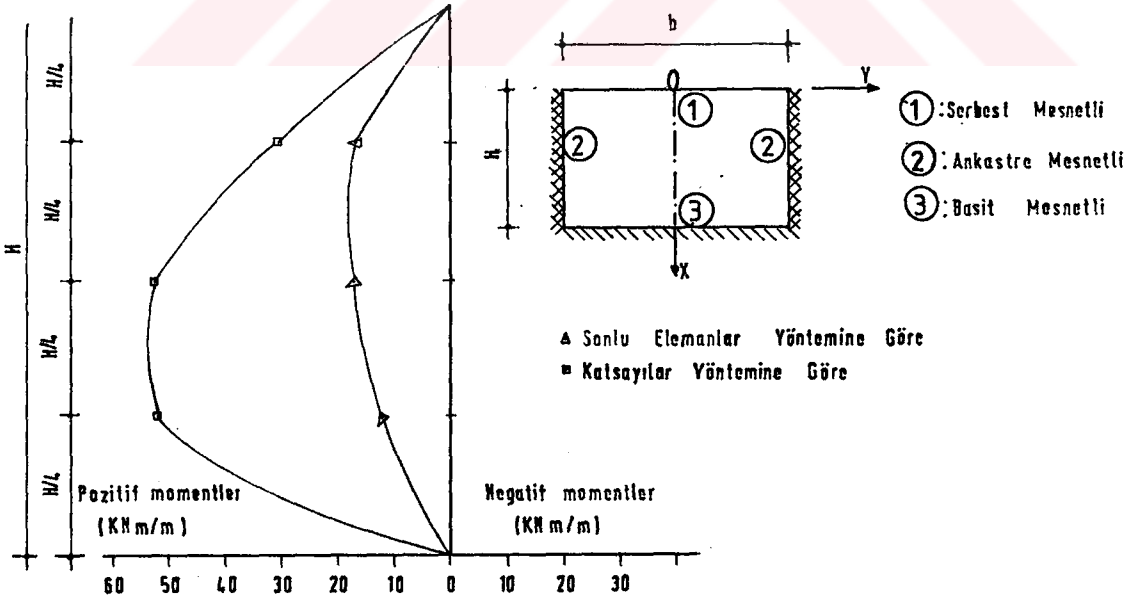
Plastik mafsalsal çizgileri teorisi betonarmenin davranışını çok daha gerçekçi bir şekilde dikkate almış olduğundan (Bkz. Bölüm 7), bu teoriyle elde edilen moment değerlerinin gerçekçi olduğu kabul edilirse Amerikan standardında önerilen yöntem dışındaki diğer yöntemlerden elde edilen moment değerlerinin depoların emniyeti açısından son derece sakıncalı olduğu söylenebilir. Ancak, bu sonuçların bu çalışmaya konu olan su deposu ve dikkate alınan mesnet koşulları için geçerli olduğunu, dolayısıyla bunların genelleştirilmesi için daha çok sayıda değişik boyutlarda su depoları için sayısal uygulamalar yapılmasının gerekli ve yararlı olacağına inanıldığı gibi bu sonuçların da temel bir değişikliğe uğramayacağına inanılmaktadır.



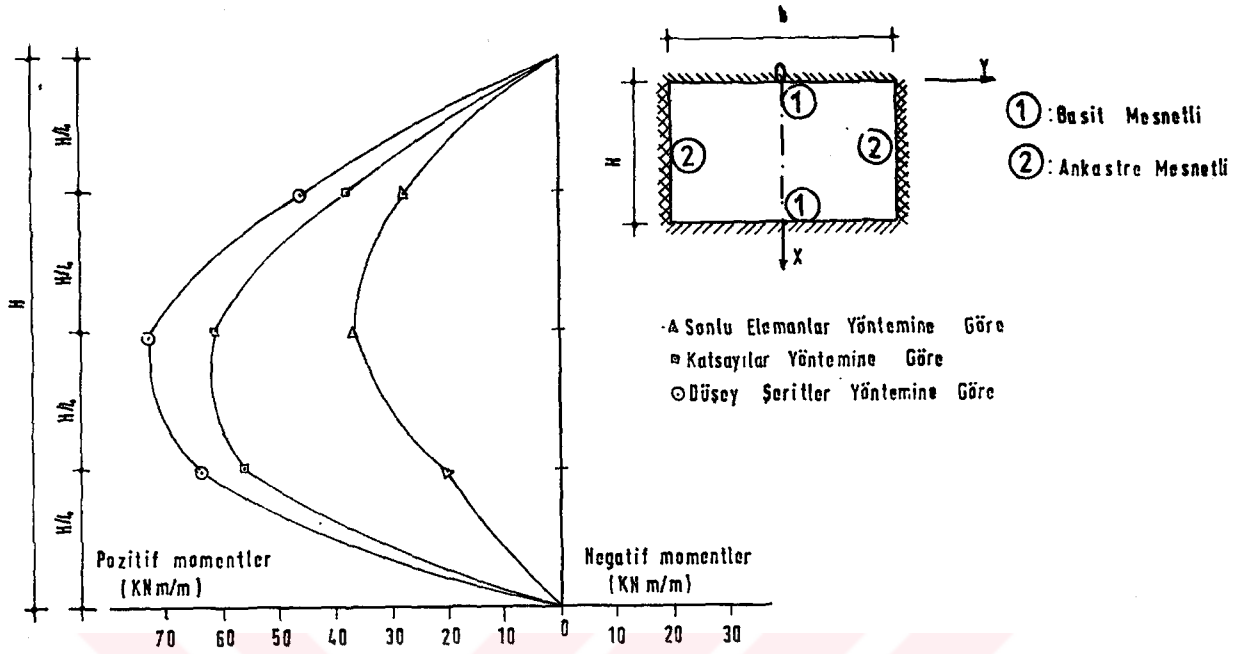
Şekil 8.1. Büyük Cidarın Ortasında Düşey Doğrultudaki Maksimum Momentler



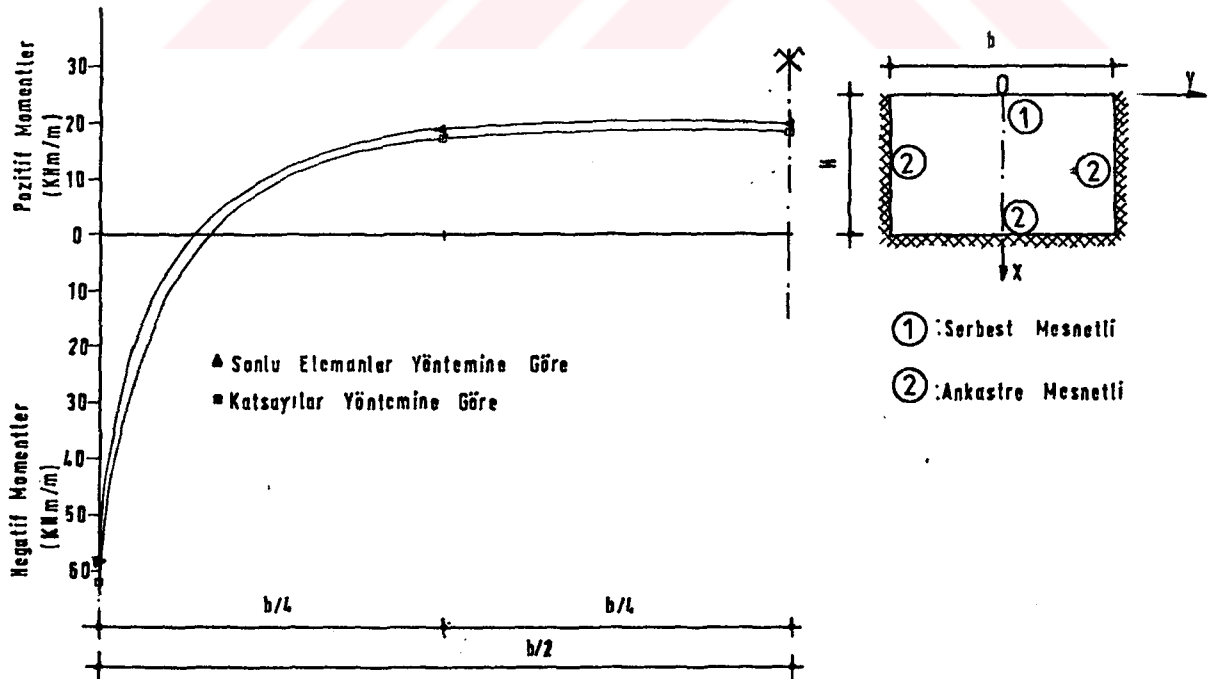
Şekil 8.2. Büyük Cidarın Ortasında Düsey Doğrultudaki Maksimum Momentler



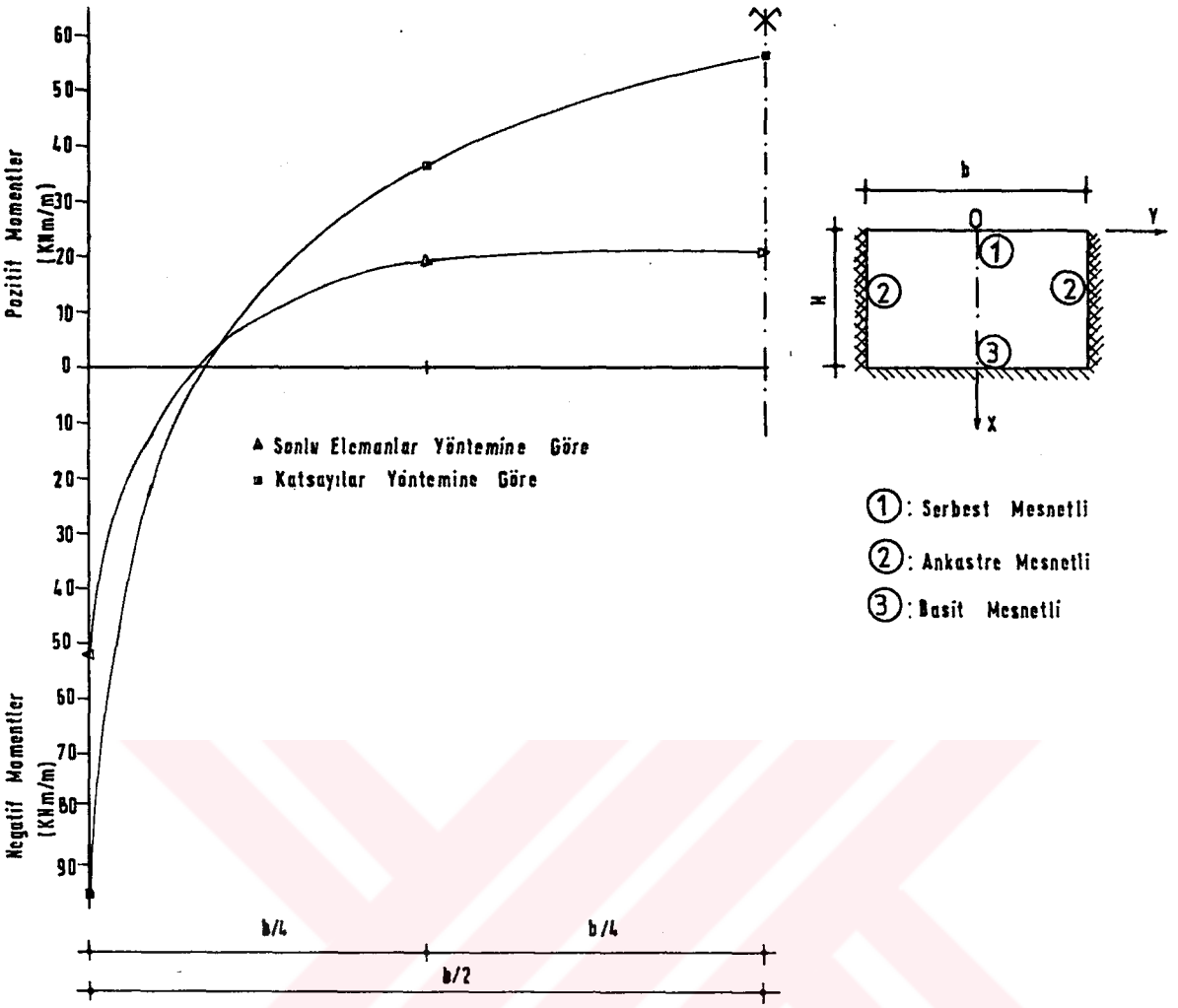
Şekil 8.3. Büyük Cidarların Ortasında Düsey Doğrultudaki Maksimum Momentler



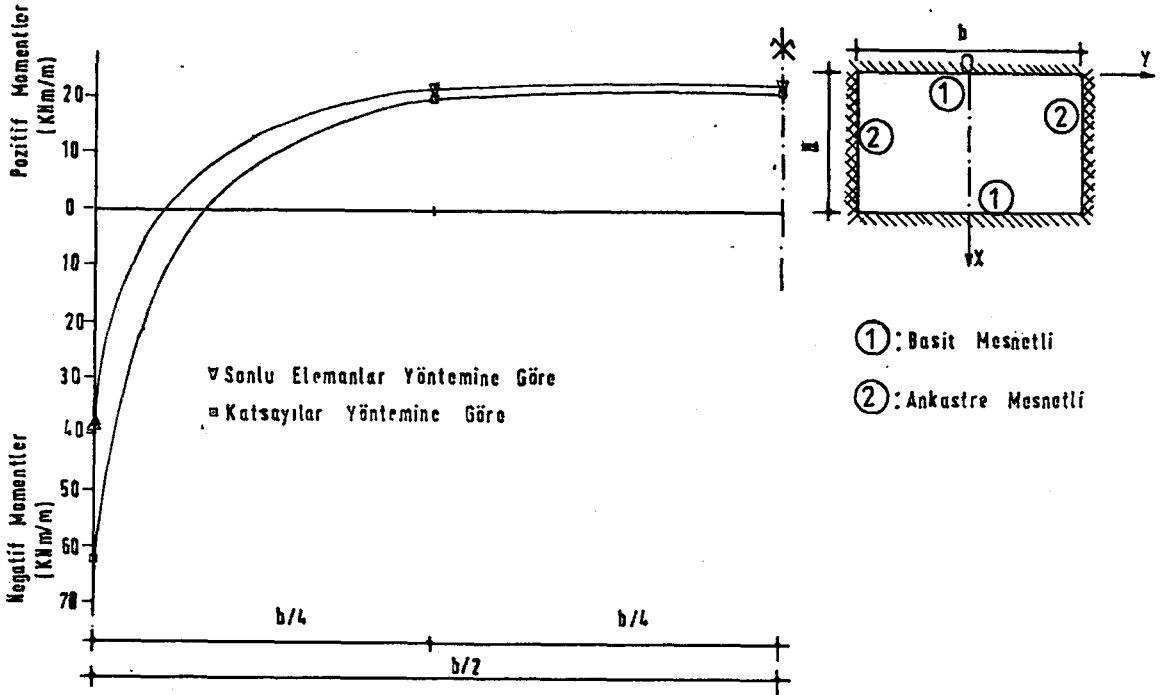
Şekil 8.4. Büyük Cidarların Ortasında Düşey Doğrultudaki Maksimum Momentler



Şekil 8.5. Büyük Cidarların Ortasında Yatay Doğrultudaki Maksimum Momentler



Şekil 8.6. Büyük Cidarların Ortasında Yatay Doğrultudaki Maksimum Momentler



Şekil 8.7. Büyük Cidarların Ortasında Yatay Doğrultudaki Maksimum Momentler

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın başlıca amacı, çok yaygın kullanım alanı bulmuş dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının yapısal çözümlerinde kullanılan yöntemlerin temel ilkelerini somut bir şekilde ortaya koyarak gerekli karşılaştırmaları yapmaktır.

Bunun için, çalışmanın birinci bölümünde verilen geniş bilgilerden sonra ikinci bölümde, yapısal olarak kusursuz sayılabilecek bir depo hidrolik açıdan kusurlu olabileceğinden, hidrolik ve yapısal özellikler üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde, dikdörtgen kesitli sıvı depolarının üstünlükleri, sakıncaları, türleri, konstrüksiyon esasları, davranışları ve yapısal çözümlene yöntemlerinden söz edilmiştir.

Dördüncü bölümde, dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depolarının yapısal çözümlenmesinde kullanılabilen yatay ve düşey şeritler yöntemleri ve bu yöntemlerle ilgili, çeşitli mesnet koşullarına bağlı olarak sayısal uygulamalar verilmiştir. Depo derinliğinin enkesit boyutlarına göre büyük olması durumunda yapısal çözümlenmede düşey şeritler yöntemi yerine yatay şeritler yönteminin kullanılmasının ekonomik açıdan daha uygun olduğu bilinmektedir. Bu bölümün sonunda betonarme bir su deposunun düşey ve yatay şeritler yöntemiyle yapılan yapısal çözümlerinden elde edilen sayısal değerler Çizelge 4.1 (Şekil 4.16), Çizelge 4.2 (Şekil 4.17, Çizelge 4.3 (Şekil 4.18) ve Çizelge 4.4 de verilmiştir. Bu sayısal uygulamanın sonuçları da derin olmayan depoların yapısal çözümlenmesinde düşey şeritler yönteminin kullanılmasının daha ekonomik sonuçlara götürdüğüne işaret ederek teknik literatürdeki kanıyı desteklemektedir.

Beşinci bölümde plaklar teorisi esas alınarak belirlenen moment ve kesme kuvveti katsayılarına dayalı Amerikan standardında önerilen yapısal çözümlene yöntemi üzerinde durulmuş ve bölümün

sonunda bu yöntemle bir su deposunun yapısal çözümlemesi çeşitli mesnet koşulları için yapılmış ve sonuçlar Şekil 5.5, Şekil 5.6, ..., ve Şekil 5.9 da diyagramlar halinde verilmiştir. Bu diyagramların dikkatle incelenmesinden, depo cidarlarının düşey kenarlarının ankastre, üst kenarlarının serbest ve alt kenarlarının basit mesnetli olması durumunda (Bkz. Şekil 5.8, Şekil 5.9), cidarların hem yatay ve hemde düşey doğrultularında elde edilen momentlerin diğer tüm mesnet koşulları için elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir.

Altıncı bölümde sonlu elemanlar yönteminin temel ilkeleri verilerek bu yöntemin plakların yapısal çözümlemesinde uygulanması üzerinde durulmuş ve bölümün sonunda bir su deposunun, çeşitli mesnet koşulları ve farklı eleman sayısı (otuziki elemanlı ve seksen elemanlı ağı) için yapısal çözümlemesi bu yöntemle yapılmış ve elde edilen moment değerleri diyagramlar halinde verilmiştir (Bkz. Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6). Bu diyagramlardan yararlanarak sonlu elemanlar yönteminde eleman boyutlarının değiştirilmesinin sonuçlara yansımaları Çizelge 6.4 de verilmiştir. Çizelgeden eleman boyutlarına göre moment değerlerinin önemli derecede değiştiği görülmektedir. Eleman boyutlarını daha çok küçülterek sonuçların değişimi görülmek istenmişse de kullanılan programın yüz düğüm noktasıyla sınırlı oluşu buna imkan vermemiştir.

Yedinci bölüm tümüyle plakların plastik mafsallı çizgisine göre hesabına ayrılmıştır. Burada betonarme plakların davranışında sınır durumlar ve göçme şekilleri, plastikleşme kriteri, göçme mekanizmasının araştırılması ve plastik mafsallı çizgilerine ait hesap bağıntıları, plakların bu yöntemle yapısal çözümlemesinde izlenen yol ve çeşitli mesnet koşulları için bu yöntemle göre hazırlanan (Ek-B) bir program yardımıyla yapılan bir sayısal uygulamadan elde edilen moment değerleri Çizelge 7.1 de verilmiştir. Bu momentlerin mesnet koşullarının değişiminden çok önemli derecede etkilendiği görülmektedir.

Sekizinci bölümde çalışmanın temel amacı doğrultusunda betonarme su depolarının yapısal çözümlemesinde kullanılabilen; yatay ve düşey şeritler, Amerikan standardında önerilen

katsayılar, sonlu elemanlar ve plastik mafsallı çizgileri yöntemleri karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmadan elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1. Depo derinliğinin enkesit boyutlarına göre büyük olması durumunda yatay şeritler yöntemi, düşey şeritler yöntemine göre daha gerçekçi, dolayısıyla da daha ekonomik sonuçlar vermektedir (Bkz. Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4).
2. Deponun, Amerikan standardında önerilen yöntemle bir bütün olarak çözümünden elde edilen momentlerle, depo cidarlarının ayrı olarak çözümünden elde edilen momentler arasındaki fark %17'yi geçmemektedir (Bkz. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7). Bu da söz konusu her iki hal için çizelgeler halinde verilen katsayıların kullanılması arasında önemli bir farkın bulunmadığını hatta kare plaklar için ayrı ayrı çözümün daha gerçekçi olduğunu göstermektedir.
3. Sonlu elemanlar yöntemi deponun matematik modelinin seçiminde dikkate alınan eleman ağındaki eleman sayısına bağlı olarak mesnet koşulları ne olursa olsun farklı değerler vermekte ve bu fark bazı mesnet koşulları için %58'e kadar varmaktadır (Bkz. Çizelge 6.4).
4. Plastik mafsallı çizgileri yöntemiyle yapılan yapısal çözümlerden elde edilen moment değerlerinin Amerikan standardında önerilen yöntemden elde edilen moment değerlerine yakın olduğu (plastik mafsallı çizgilerine göre bulunandan %16 daha küçük) görülmüştür (Bkz. Çizelge 7.1, Şekil 8.3 ve Şekil 8.6).
5. Her bölümün sonunda yapılan sayısal uygulamalardan, mesnet koşullarının değişmesinin projelendirmede dikkate alınacak kesit etkilerini her zaman tahmin edilemeyecek şekilde değiştirdiği görülmüştür (Bkz. Özellikle Çizelge 7.1). Bu da yapısal çözümlerinin doğruluğunun sadece kullanılan yöntemin doğruluğuna değil aynı zamanda mesnet koşullarının gerçekçi olarak dikkate alınması gerektiğini çok çarpıcı bir şekilde ortaya koymaktadır.

Özetle; betonarme sıvı depolarının yapısal çözümlemesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden hangisinin ya da hangilerinin daha gerçekçi sonuçlar verdiğini araştırmak bu çalışmanın başlıca konusu teşkil etmiştir. Çalışmada açıklanan yöntemlerle bir su deposunun yapısal çözümlemesi yapılmış sonuçlar çizelgeler ve/veya diyagramlar halinde verilmiştir. Bu çizelge ve diyagramlardan yöntemlerin birbirinden farklı sonuçlar verdiği ve bu farkın bazı hallerde önemli mertebelere ulaştığı görülmüştür. Kullanılan yöntemlerden plastik mafsal çizgileri yöntemi betonarmenin davranışını çok daha gerçekçi bir şekilde dikkate almış olduğundan verdiği sonuçların doğru olduğu kabul edilirse diğer yöntemlerden sadece Amerikan standardında önerilen katsayılar yönteminin buna yakın sonuçlar verdiği anlaşılmış bulunmaktadır. Ancak, bu sonucun sadece bu çalışmaya konu olan su deposu için kesinlikle doğru olduğunu söylemek mümkün olabilmektedir. Bu sonucu genelleştirebilmek için daha çok sayıda sayısal uygulama sonuçlarını karşılaştırmak, dolayısıyla da çok sayıda değişik özelliklere sahip depoların çalışmaya konu olan yapısal çözümleme yöntemiyle, çözümlenmesinin gerekliliğine inanılmakla beraber yukarıda belirtilen sonucun da temel bir değişikliğe uğramayacağına katiyetle inanılmaktadır.

KAYNAKLAR

- BOWES, W.H., RUSSEL, T.L., Stress Analysis By The Finite Element Method For Practicing Engineers, London, 1975
- CALLARI, E.C., Methode Générale De Calcul des Dalles Dans le Domaine Anélastique, Annales de l'Institut Technique, XVII Année, No. 201, Série 'Théories et Méthods de Calcul' Paris, Septemre, 1964.
- CELÂSUN, H., Yapı Sistemleri Matris Analizi ve Sonlu Elemanlar Metodu, İstanbul, 1976.
- CH, KUANG-HAN, SING, B.R., Yield Analysis of Balcony Floor Slabs. Journal ACI, Proceedings V.63, No.5, pp.571-586, May, 1966.
- CORNELIS, A., Etude A'l'aide D' une Calculatrice Electronique Des Plaques, Bulletin D' Information Du C.E.B., No 56, août, 1966.
- DEMİR, H., ALTAN, M., GÜLER, K., Betonarme Depolar, İTÜ İstanbul, 1988.
- DOĞANGÜN, A., Betonarme Sıvı Depoları ve Projelendirme İlkeleri, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Trabzon, 1989.
- DURMUŞ, A., Betonarme ve Öngerilmeli Beton Ders Notları (Yayınlanmamış), KTÜ İnş. Müh. Böl. Trabzon, 1989.
- GEHLER, W., AMOS, H., Vensuche mit Kreuzweise Bewehrten Platten (Essais de Dalles Armées Dans Deux Directions Perpendicularies), Deutscher Ausschuss Für Eisenbeton, No. 70, Berlin, 1932.
- GHALI, A., NEVILLE, M.A., CHEUNG, K.Y., Structural Analysis, Ankara University Printing House, Ankara, 1986.
- GUERRIN, A., Traité De Béton Armé, (6), Dunod, Paris, 1968.
- HOGNESTAD, E., Yield-Line Theory for The Ultimate Flexural Strength of Reinforced Concrete Slabs, Journal ACI, mars, 1953.
- HOLLAND, I., BELL, K., Finite Element Methods in Stress Analysis, The Technical University of Norway, Norway, 1970.
- JOHANSEN, K.W., Yield-Line Theory, Cement and Concrete Association, London, 1962.
- JONES, L.L., Ultimate Load Analysis of Reinforced and Prestressed Concrete Structures, Chatto and Windus, London, 1962.
- JONES, L.L. WOOD, R.H., Yield-Line Analysis of Slabs, London, 1967.
- KARAESMEN, E., ROBINSON, J.R., Etude Expérimentale De Dalles Bordées De Poutres, Bulletin D' Information Du C.E.B. No.50, Juillet, 1965.
- KWIECYNKI, M.W., Yield Criterio for Initially Isotropic Reinforced Slab, Magazine of Concrete Research Vol.17, No.51, June, 1965a.

- KWIECYNYSKI, M.W., Yield Criterion for An Orthotropically Reinforced Slab, International Journal of Solids and Structures, Vol.1, No.4.
- KWIECYNYSKI, M.W., Some Tests on the Yield Criterion For a Reinforced Slab, Magazine of Concrete Research, Vol.17, No.52, 1965b.
- LAVI, F., Contrôle des Conditions de Fissuration et de Déformation des Dalles Dimensionnées a'l'état Limite Ultime, Bulletin d' Information du CEB, No.50, pp.201-226, Juillet, 1965.
- MALDAGUE, J.C., Essais de Dalles Simples ou Continues Armées de Différents Types d' Acier, Bulletin D' Information du CEB, No.44, pp.47-88, Octobre, 1964.
- MANNING, G.P., Concrete Reservoirs and Tanks, Concrete Publications, London, 1967.
- MARCUS, H., La Résistance Des Réservoirs A Parois Plane Annales Des Ponts Et Chaussées, IV, 1937.
- M.C.R., Recent Developments in Yield Line Theory, Cement and Concrete Association, Special, Publication, May, 1965.
- MASSONET, Ch., Théorie Générale des Plaques Elasto-Plastiques, Bulletin D' Information Du CEB, No.56, août, 1966.
- MASSONET, Ch., SAVE, M., Calcul Plastique des Constructions, Vol.II, Structures Spatiales, Centre Belgo-Luxembourgeois d' Informations de l' Acier, Bruxelles, 1963.
- NIELSEN, M.P., Limit Analysis of Reinforced Concrete Slobs (Anaysis a' l' Etat Limite Ultime des Dalles en Béton Armé), Acta Polytechnica Scandinavica, C1. 26, Copenhagen, 1964.
- P.C.A., Rectengular Concrete Tanks, Information Sheet 15 003 02D, Portland Cement Association, Skokie, 1969.
- SEIDENTICKER, J.F., Sanitary Structures Tanks and Reservoirs, Handbook Concrete Engineering, pp. 572-592, 1974.
- SOBOTKA, Z.I., Etude de La Capacité de Résistance Des Dalles Biaises En Béton Armé Bulletin d' Information du CEB No.38, pp. 84-133, Mars, 1963.
- STEINMANN, M.A., La Théorie des Lignes de Rupture, Bulletin d' Information du CEB No.27, Septembre, 1960.
- UNESCO. Code et Manuel D'application Pour le Calcul Et L'exécution Du Béton Armé, Dunod, Paris, 1968.
- UNIVERSITY OF ILLINOIS, Structural Research Series, Bulletins No 181, 200, 211, 228, 249, 265, 277, Ainsi que ACI Journal, Proceeding Vol. 60, No.9, Septembre, 1963.
- WILSON, E.L., HABIBULLAH, A., Sap80-Series of Structural Analysis Programs, Berkeley, California, 1984.
- WOOD, R.M., Plastic and Elastic Design of Slabs and Plates, London, 1961.
- ZIENKIEWICZ, O.C., The Finite Element Method McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, England, 1977.

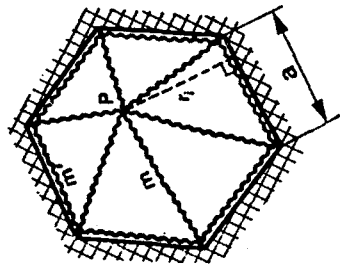
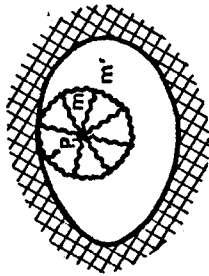
EK-A

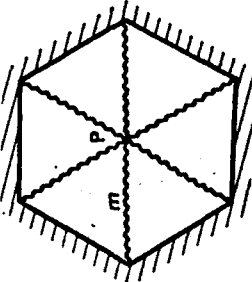
BAZI PLAKLARIN ÇEŞİTLİ MESNET KOŞULLARI VE
YÜKLEME ŞEKİLLERİNE AİT HESAP BAĞINTILARI

Burada verilen bazı plaklara ait hesap bağıntıları çizelgeler halinde verilmektedir. Bu bağıntılar plastik mafsal çizgileri teorisine göre çıkartılmışlardır. Bağıntılardan elde edilen sonuçlar, madde 7.3.2.4 de belirtilen, bir üst sınır çözüme karşılık gelmektedir. Çizelgelerde verilen bağıntıların geçerliliği ve hassasiyeti hakkında daha ayrıntılı bilgi edinilmesine imkan tanımak amacıyla bu bağıntıların hangi kaynaklardan alındıkları da belirtilmektedir. Burada söz konusu bağıntıların çıkartılmasında özellikle plastik mafsal çizgilerinin mesnetlenmiş köşelerden başladığının kabul edilmiş olduğunu belirtmek uygun olmaktadır. Bu kabule göre plastik mafsal çizgileri plak köşeleri civarında kesiştiğinden plağın taşıma gücünde bir azalma meydana gelmektedir. Bu azalma, köşeyi meydana getiren kenarlar arasındaki açığa bağlı olmakla beraber dikkate alınan köşede negatif donatı yoksa daima maksimum değerini almaktadır. Diğer bir deyişle söz konusu azalma, köşenin negatif direnme momentiyle ters orantılı olmaktadır. Bu konuda daha ayrıntılı bilgi için (Johansen,1962) ve (Wood,1961) kaynaklarına başvurulabilir.

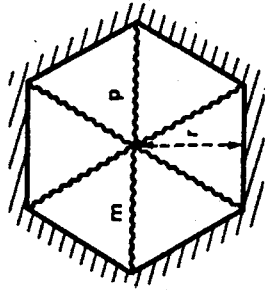
Bu bölümdeki çizelgelerde verilen bağıntılarda $m'/m (= \varphi)$ oranının belirli değerleri için köşe etkileri de dikkate alınmıştır. Gerekli hallerde çizelgelerin son sütununda üst sınır çözümünden elde edilerek verilmiş olan bağıntıların kesin çözüm olduğu da belirtilmiştir. Bu durum verilen bağıntıların teklik teoremini sağlayan bir çözümden elde edilmiş olduğunu yani alt sınır teoreminin kullanılması halinde de aynı bağıntıların elde edileceğini göstermektedir. Son sütunda çözüm hakkında bir not yoksa, verilen bağıntının bir üst sınır çözümünden elde edilmiş olduğu kabul edilmeli ve ilgili bağıntıdan elde edilecek sonuçlar ihtiyatla kullanılmalıdır.

| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK |
|---------------------------|---------------------------------|--------------|-----------|----------------|---|---------------|---|-----------------------|
| HERHANGİ BİR ŞEKİLDE PLAK | Herhangi bir noktada teki l yük | ANKASTRE | m izotrop | $m' = m\phi$ | $m = \frac{P}{2\pi(1+\phi)}$ | | Kesin çözüm (Haythorn-Wahite ve Shield, 1958) ve (M.C.R., 1965) | |
| | | | | | | | | |
| | Herhangi bir noktada teki l yük | ANKASTRE | m izotrop | $m' = m\phi$ | <p>Yukarıda gösterilen genel mekanizmadan başka bir göçme mekanizması da mevcuttur.</p> $m = \frac{P}{(1+\phi) \sum_{i=1}^{i=n} \frac{a}{r_i}}$ <p>Bu mekanizma daha küçük bir direnme momenti verir. Bu mekanizma deneysel olarak kanıtlanmayan bir üst sınır çözüm olduğundan boyutlandırma itiyatla kullanılmalıdır.</p> | | | |

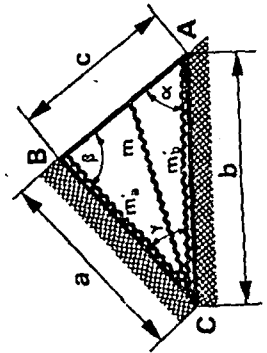
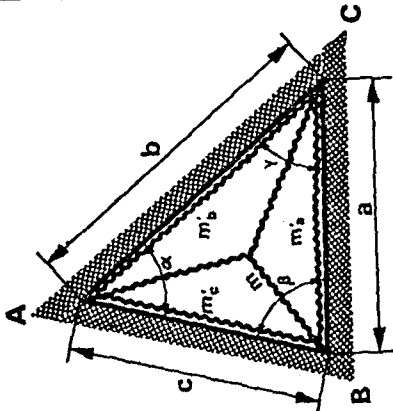


| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT | NGT. DNT. | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR ÇÖZÜM KAYNAK | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|--------------|-------------|-----------|--|---------------|----------------------|----------------------|-------------------|---|---------------|---|------------------|---|------------------|--|--|-----------------------------|
| DÜZGÜN ÇOKGEN PLAK  | Merkezden Basıt yüklenmiş mesnet | Basıt mesnet | m izotrop | $m' = 0$ | $m = \frac{P}{2ntg \frac{\pi}{n}}$ <p>Özel durumlar</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>n</th> <th>m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>$\frac{P}{10.39}$</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>$\frac{P}{8}$</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>$\frac{P}{6.93}$</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>$\frac{P}{6.63}$</td> </tr> </tbody> </table> | n | m | 3 | $\frac{P}{10.39}$ | 4 | $\frac{P}{8}$ | 6 | $\frac{P}{6.93}$ | 8 | $\frac{P}{6.63}$ | | | Çözüm kesin (Nielsen, 1964) |
| n | m | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | $\frac{P}{10.39}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | $\frac{P}{8}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | $\frac{P}{6.93}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | $\frac{P}{6.63}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NGT. DNT. | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------|---------------------------------|----------------------|------------------|--|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------|---|----------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|-------|------------------|--|------------------|-----------------------------|
| DÜZGÜN ÇOKGEN PLAKLAR | Uniform yük . P | Çevresi üzerinde basit mesnetli | ^m izotrop | ^m = 0 | $m = \frac{Pr^2}{6}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>n</th> <th>m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>$\frac{P}{31.2}$</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>$\frac{P}{24}$</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>$\frac{P}{21.8}$</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>$\frac{P}{20.8}$</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>$\frac{P}{19.8}$</td> </tr> <tr> <td>Daire</td> <td>$\frac{P}{18.8}$</td> </tr> </tbody> </table> | n | m | 3 | $\frac{P}{31.2}$ | 4 | $\frac{P}{24}$ | 5 | $\frac{P}{21.8}$ | 6 | $\frac{P}{20.8}$ | 8 | $\frac{P}{19.8}$ | Daire | $\frac{P}{18.8}$ | | (Johansen, 1962) | Kesin çözüm (Nielsen, 1964) |
| n | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | $\frac{P}{31.2}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | $\frac{P}{24}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | $\frac{P}{21.8}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | $\frac{P}{20.8}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | $\frac{P}{19.8}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Daire | $\frac{P}{18.8}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



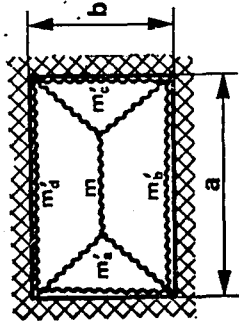
| PLAK TİPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NGT. DNT. | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK |
|---|------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--|---|--|---|-----------------------|
| ÜÇGEN PLAKLAR 1-Üç Kenarından Mesnetli | Uniform yük:p Toplam:P | Üç kenarlı boyutları a, b, c Ankastré | m izotrop | $m'_a = \varphi_a \cdot m$ $m'_b = \varphi_b \cdot m$ $m'_c = \varphi_c \cdot m$ | $m = \frac{P \sin A \sin B \sin C}{3(\sqrt{1+\varphi_a^2} \sin A + \sqrt{1+\varphi_b^2} \sin B + \sqrt{1+\varphi_c^2} \sin C)^2}$ | | (Johansen, 1962) | |
| | | | | | | | | |
| 2- İki kenarında Mesnetli | Uniform P Toplam P | aynı Ankastré | aynı izotrop | $m'_a = \varphi_a \cdot m$ $m'_b = \varphi_b \cdot m$ | $m = \frac{1}{1+\varphi} \cdot \frac{P}{31.2}$ | Köşe-kenarlarda $\frac{m'}{m}$ 1 1 | Direnme momentindeki artış % 0 %19.5 | (Johansen, 1962) |
| | | | | | | | | |



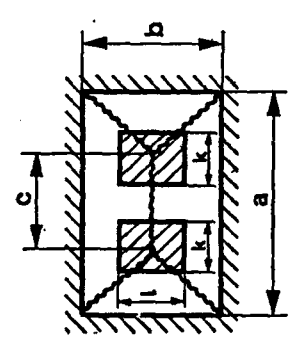
| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---|--------------------------------|-----------|---|---|---|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|---|---|----|---|---|----|---|---|----|----------------------------|---------------|--------------------------------|---|---|----|----------------------------|---------------|--------------------------------|---|---|----|--|--|
| | | | | | $m'_a = m'_b = \psi \cdot m$ olması durumunda | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Uniform P Toplam P | Ankastre | m izotrop | $m'_a = m'_b = \psi \cdot m$ | $m = \frac{P}{3[2(1+\psi)\cot\frac{\gamma}{2} + \psi(\cot\alpha + \cot\beta)]}$ <p>$\gamma = 90^\circ$ için</p> $m = \frac{P}{3[2(1+\psi) + \psi(\tan\alpha + \cot\alpha)]}$ | <table border="1"> <tr> <th>C kenarında $\frac{m'}{m}$</th> <th>ψ Degeri</th> <th>Diremme momentinindeki artma %</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>23</td> </tr> </table> <p>$\gamma = 45^\circ$</p> <table border="1"> <tr> <th>C kenarında $\frac{m'}{m}$</th> <th>ψ Degeri</th> <th>Diremme momentinindeki artma %</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>15</td> </tr> </table> <p>$\gamma = 90^\circ$</p> <table border="1"> <tr> <th>C kenarında $\frac{m'}{m}$</th> <th>ψ Degeri</th> <th>Diremme momentinindeki artma %</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>12</td> </tr> </table> <p>$\gamma = 135^\circ$</p> | C kenarında $\frac{m'}{m}$ | ψ Degeri | Diremme momentinindeki artma % | 0 | 0 | 26 | 1 | 0 | 14 | 1 | 1 | 23 | C kenarında $\frac{m'}{m}$ | ψ Degeri | Diremme momentinindeki artma % | 0 | 0 | 15 | C kenarında $\frac{m'}{m}$ | ψ Degeri | Diremme momentinindeki artma % | 0 | 0 | 12 | | |
| C kenarında $\frac{m'}{m}$ | ψ Degeri | Diremme momentinindeki artma % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C kenarında $\frac{m'}{m}$ | ψ Degeri | Diremme momentinindeki artma % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C kenarında $\frac{m'}{m}$ | ψ Degeri | Diremme momentinindeki artma % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Özel durum: İki kenarı basit mesnetli | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Uniform P Toplam P | Basit mesnetli | m izotrop | $m'_a = m'_b = 0$ | $m = \frac{P \cdot \gamma}{6 \cdot \tan\frac{\gamma}{2}}$ <p>$\gamma = 90^\circ$ için</p> $m = \frac{P}{6} = \frac{P \cdot a \cdot b}{12}$ | | (Wood, 1961) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Uniform P | Bir kenarından basit mesnetli | m izotrop | m' : tekil mesnet üzerinde negatif moment | $m = \frac{1}{8} \frac{P h^2}{\frac{c}{2} + \frac{h}{2}}$ $m' = \frac{1}{6} P \cdot c^2$ | | (Johansen, 1962) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3-Bir kenarı boyunca basit mesnetli ve bir tekil mesnete oturan ikizkenar üçgen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

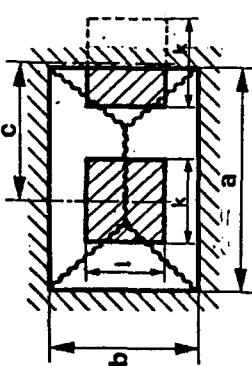
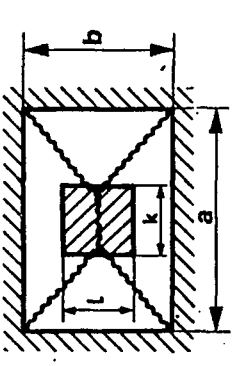
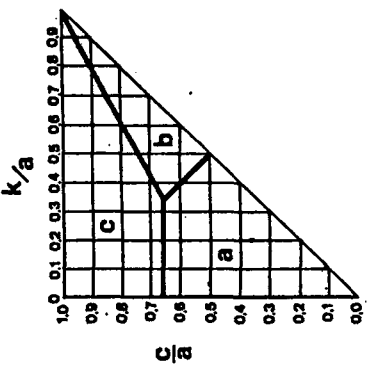
| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK |
|---|-----------|---|-----------|--|--|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 4-Üç noktada tekil mesnete oturan plaklar $\frac{c}{h} \geq \frac{1}{8}$ | Uniform p | Tekil mesnetler üzerinde basit mesnetli | m izotrop | m': Tekil mesnetlerdeki negatif moment | $m = \frac{p}{\sqrt{3}} \left(\frac{7}{18} - \frac{c}{h} \right)$ $m' = \frac{1}{6} p c^2$ | | (Johansen, 1962) | |
| $\frac{c}{h} < \frac{1}{8}$ | aynı | aynı | aynı | aynı | $m = \frac{p}{2\sqrt{3}} \left[1 - 3 \left(\frac{c}{2h} \right)^2 \right]$ $m' = \frac{1}{6} p c^2$ | | (Johansen, 1962) | |
| HERHANGİ BİR DİKDÖRTGEN PLAK | Uniform p | Ankastre | m izotrop | m'_a m'_b m'_c m'_d | $m_0 = \frac{a \cdot m'_a + b \cdot m'_b + c \cdot m'_c + d \cdot m'_d}{a + b + c + d}$ olmak üzere $m = \frac{p \cdot r \cdot R}{2 \left(1 + \frac{r}{R} + \frac{r}{r} \right)} - m_0$ Bu formül O noktasının plak içinde kalması halinde geçerlidir. (O noktası iki açılı ortayının kesim noktasıdır). | | (Johansen, 1962) | |

| PLAK TİPLERİ | YÜK | MESNET | POZ DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | | | | | | |
|---|------------------|------------------------------|------------|--|--|--|--------------------------|-----------------------|------------------------------|---|---|---|--|--|
| DİKDÖRGEN PLAK 1. Dört kenarından mesnetli Tüm plak yüzeyinde üniform yayıllı yük | Üniform p | Dört tarafında ankası | m izot- | $m'_a = \varphi_a \cdot m$ $m'_b = \varphi_b \cdot m$ $m'_c = \varphi_c \cdot m$ $m'_d = \varphi_d \cdot m$ | $a_r = \frac{2a}{\sqrt{1+\varphi_a} + \sqrt{1+\varphi_c}}$ $b_r = \frac{2b}{\sqrt{1+\varphi_b} + \sqrt{1+\varphi_d}}$ olmak üzere $m = \frac{p \cdot a_r \cdot b_r}{8 \left(1 + \frac{b_r}{a_r} + \frac{a_r}{b_r}\right)}$ Plak 1,2 ya da 3 kenarından basit mesnetli ise m direnme momenti yukarıdaki bağıntıda, bu kenarlara ait φ_i katsayıları yerine sıfır konarak elde edilir. | | (Johansen, 1962) | | | | | | | |
| | | | | | Birinci özel durum : $m'_a = m'_b = m'_c = m'_d = \varphi \cdot m$ | | | | | | | | | |
| | Aynı | Aynı | Aynı | $m'_a = \varphi \cdot m$ $m'_b = \varphi \cdot m$ $m'_c = \varphi \cdot m$ $m'_d = \varphi \cdot m$ | $m = \frac{p \cdot a \cdot b}{8(1+\varphi) \left(1 + \frac{a}{b} + \frac{b}{a}\right)}$ | | (Johansen, 1962) | | | | | | | |
| | | | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Köşelerde $\frac{m'}{m}$</th> <th>φ değeri</th> <th>Direnme momentindeki artış %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> | Köşelerde $\frac{m'}{m}$ | φ değeri | Direnme momentindeki artış % | 1 | 1 | 1 | | |
| Köşelerde $\frac{m'}{m}$ | φ değeri | Direnme momentindeki artış % | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | |



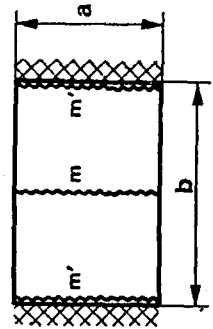
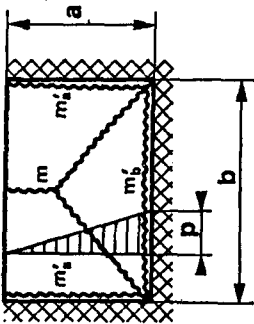
| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NGT. DNT. | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | | | | | | | | | |
|---|---------------|------------------------------|--------------|--|--|---|--------------------------|-----------------------|------------------------------|---|---|-----|---|--|---|--|--------------------------------|
| | Üniform p | Ankastre | m izotrop | $m'_a = \psi \cdot m$ $m'_b = \psi \cdot m$ $m'_c = \psi \cdot m$ $m'_d = \psi \cdot m$ | <p>Kare plak özel hali:</p> $m = \frac{pa^2}{24(1+\psi)}$ | <p>Yukarıda belirtilen direnme momenti artışı dikdörtgen plağın büyük kenarının küçüğüne oranının üç olduğu kabulüne göre çıkartılmıştır. Bu oran 1 ile 3 arasında ise bu değerlerle aşağıda belirtilen kare plağa ait değerler arasında lineer interpolasyon yapılabilir.</p> <table border="1"> <tr> <td>Köşelerde negatif donatı</td> <td>ψ Değeri</td> <td>Direnme momentindeki artış %</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>9,5</td> </tr> </table> | Köşelerde negatif donatı | ψ Değeri | Direnme momentindeki artış % | 1 | 1 | 9,5 | | | | | |
| Köşelerde negatif donatı | ψ Değeri | Direnme momentindeki artış % | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 9,5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| İkinci özel durum: Dört kenarından basit mesnetli dikdörtgen plak | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Aynı | Aynı | Aynı | $m'_a = m'_b = 0$ $m'_c = m'_d = 0$ | $m = \frac{P \cdot a \cdot b}{8 \left(1 + \frac{a}{b} + \frac{b}{a}\right)}$ | <p>Direnme momentindeki artış %</p> <table border="1"> <tr> <td>Köşelerde negatif donatı</td> <td>Değeri</td> <td>Direnme momentindeki artış %</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>0</td> </tr> </table> | Köşelerde negatif donatı | Değeri | Direnme momentindeki artış % | 0 | 1 | 4 | 1 | | 0 | <p>Bu çözüm kesin olarak dikkate alınabilir (Johansen, 1962)</p> | <p>(Massonet ve Save 1963)</p> |
| Köşelerde negatif donatı | Değeri | Direnme momentindeki artış % | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |

| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÇÖZÜM KAYNAK | ÇÖZÜM KAYNAK | | | | | | | |
|--|--|----------------|-----------|--|--|--|---|------------------------------|---|-----|-----|---|---|---|--|
| | | | | | | Yukarıda belirtilen direnme momenti artım değerleri dikdörtgen plağın büyük kenarının küçüğüne oranının üç olduğu kabulüne göre çıkarılmıştır. Eğer bu oran 1 ile 3 arasında ise bu değerlerle aşağıda belirtilen kare plaga ait değerler arasında lineer interpolasyon yapılabilir. | | | | | | | | | |
| | | | | | Kare plak özel hali | | | | | | | | | | |
| | | | | | $m = \frac{p \cdot a^2}{24}$ | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Köşelerde negatif donatı $\frac{m'}{m}$</th> <th>Direnme momentindeki artım %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>8.5</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> | Köşelerde negatif donatı $\frac{m'}{m}$ | Direnme momentindeki artım % | 0 | 8.5 | 0.5 | 2 | 1 | 0 | |
| Köşelerde negatif donatı $\frac{m'}{m}$ | Direnme momentindeki artım % | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 8.5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2- iki dikdörtgen alan üzerinde üniform yayılı yük | | | | | | a) Yük tamamen plağın içinde bulunan ve plak eksenine göre simetrik eşit iki alan üzerinde yayılıdır. | | | | | | | | | |
| |  | Toplam yük: 2P | m izotrop | $m'_a = m'_b = 0$ $m'_c = m'_d = 0$ | $m = \frac{P}{6} \frac{a-c}{2a-c} \frac{2a-k}{a} \frac{2b-l}{b}$ | (Johansen 1962) | | | | | | | | | |

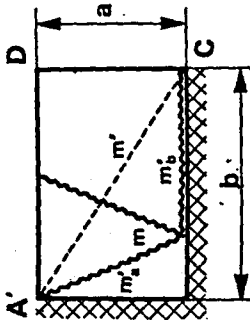
| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NGT. DNT. | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR ÇÖZÜM KAYNAK | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------------------------|---|--|--|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------|--|--|--------|---------------------|-----------|--------|--------------------|--------|------------|--------|--|--|
|  | b) Yük eşit iki alana yayılmıştır. Bu eşit alanlardan birinin bir kısmı plağın dışındadır | Basit mesnetli izotrop | m | $m'_a = m'_b = 0$ $m'_c = m'_d = 0$ | $m = \frac{P}{12} \frac{a+k-c}{a+k} \frac{2a-k}{a} \frac{2b-1}{b}$ | | (Johansen, 1962) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | Toplam yük: p+p' | | | | | | | | | | | | | |
|  | c) Yük, ağırlık merkezi plağınki ile sıkışmış bir alana yayılmıştır. | Aynı | Aynı | Aynı | $m = \frac{P}{24} \frac{2a-k}{a} \frac{2b-1}{b}$ | | Aynı | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | Toplam yük: p | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Hareketli Yük Durumu:</p> <p>Yük yüzeylerinin merkezlerini birleştiren doğrultuda hareket etmesi halinde plaka maksimum momentleri meydana getiren yük konumları yük yüzeyinin boyutlarına (k, l) ve merkezler arasında uzaklığı (c) bağlı olarak bu konumlardan en elverişsizi daima yukarıda tanımlanan a, b, c hallerinden biri olmaktadır. Elverişsiz konum ise aşağıdaki çizelge ve şekil yardımıyla belirlenebilir.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | <table border="1"> <tr> <td>a ≥ 3k</td> <td>En elverişsiz konum</td> </tr> <tr> <td>a > $\frac{3}{2}c$</td> <td>a hali</td> </tr> <tr> <td>a < $\frac{3}{2}c$</td> <td>c hali</td> </tr> </table> | | a ≥ 3k | En elverişsiz konum | a > $\frac{3}{2}c$ | a hali | a < $\frac{3}{2}c$ | c hali | <table border="1"> <tr> <td>a < 3k</td> <td>En elverişsiz konum</td> </tr> <tr> <td>a > c + k</td> <td>a hali</td> </tr> <tr> <td>c + k > a > 2c - k</td> <td>b hali</td> </tr> <tr> <td>2c - k > a</td> <td>c hali</td> </tr> </table> | | a < 3k | En elverişsiz konum | a > c + k | a hali | c + k > a > 2c - k | b hali | 2c - k > a | c hali |  | |
| a ≥ 3k | En elverişsiz konum | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a > $\frac{3}{2}c$ | a hali | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a < $\frac{3}{2}c$ | c hali | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a < 3k | En elverişsiz konum | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a > c + k | a hali | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c + k > a > 2c - k | b hali | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2c - k > a | c hali | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Bu bağıntılar plağın büyük kenarının küçük kenarının en fazla 3/2 olması hali için çıkarılmıştır. Plak kenarlarından bir ya da bir çoğunun ankastre olması halinde yukarıda bağıntılarla hesaplanan m değerleri n ankastre kenar sayısını göstermek üzere; 0.01 n kadar azaltılabilir.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK |
|--|-----------|------------------------|-----------|--|---|--|-----------------------|-----------------------|
| 2 Üç kenarından mesnetli 2.1. Uniform yayılı yük a) $a \leq b_r$ | Uniform P | Üç kenar ankastre | m izotrop | $m'_a = \varphi_a \cdot m$ $m'_b = \varphi_b \cdot m$ $m'_c = \varphi_c \cdot m$ | $b_r = \frac{2b}{\sqrt{1+\varphi_a} + \sqrt{1+\varphi_c}}$ olmak üzere $m = \frac{p a b r}{3 + 12 \frac{a}{b_r} + 2 \left(1 + \frac{b_r}{a}\right) \varphi_b}$ | Köşeler- de negatif donatı $\frac{m'}{m}$ $\varphi_a = \varphi_b$ φ_c değerleri 0 1 11 9 Direme momentindeki artım % Bu bağıntılar $b/a=3$ hali için çıkartılmıştır. 1 b/a 3 için bu değerlerle aşağıda verilen kare plaga ait değerler arasında lineer enterpolasyon yapılabilir. $\frac{m'}{m}$ φ $\Delta m \%$ 0 1 10 10 | (Johansen, 1962) | |
| | | | | | | Özel durum: Üç kenarından basit mesnetli $m = \frac{p a b}{8 + 6 \frac{a}{b}}$ | | |
| b) $a > b_r$ | Uniform P | Üç kenarından Ankastre | m izotrop | $m'_a = \varphi_a \cdot m$ $m'_b = \varphi_b \cdot m$ $m'_c = \varphi_c \cdot m$ | $a_r = \frac{a}{\sqrt{1+\varphi_b}}$ $b_r = \frac{2b}{\sqrt{1+\varphi_a} + \sqrt{1+\varphi_c}}$ olmak üzere $m = \frac{p \cdot a_r \cdot b_r}{2 \left(2 + \frac{a_r}{b_r} + 4 \frac{a_r}{b_r}\right)}$ | $\frac{m'}{m}$ φ $\Delta m \%$ 0 1 10 10 | (Johansen, 1962) | |

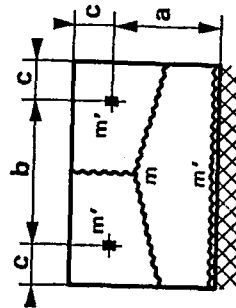
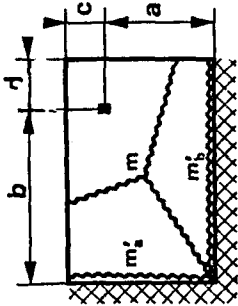
| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR ÇÖZÜM KAYNAK |
|--|------------------|--|-----------|--|--|---------------|----------------------|----------------------|
| 2.2-Üçgen yayılı yük | Üçgen yayılı yük | Üç kenarından izotrop ankastrerop | m | $m'_a = \varphi \cdot m$ $m'_b = \varphi \cdot m$ $m'_c = \varphi \cdot m$ | $b_r = \frac{2b}{\sqrt{1+\varphi} + \sqrt{1+\varphi_c}}$ olmak üzere $m = \frac{1}{2} p \cdot a \cdot b_r$ $6 + 16 \frac{a}{b_r} + (2 + 3 \frac{b_r}{a}) \varphi_b$ $a \leq \frac{b_r}{2} \text{ için,}$ $a_r = \frac{a}{\sqrt{1+\varphi}}$ $b_r = \frac{2b}{\sqrt{1+\varphi} + \sqrt{1+\varphi_r}}$ olmak üzere $m = \frac{1}{2} p \cdot a_r \cdot b_r$ $6,5 + 8 \frac{a_r}{b_r} + 6,5 \frac{b_r}{a_r}$ | | (Johansen 1962) | |
| Özel durum: Üç kenarından basit mesnetli | | | | | | | | |
| | Aynı | Basit mesnetli | Aynı | $m'_a = m'_b = m'_c = 0$ | $m = \frac{1}{2} p \cdot a \cdot b$ | | (Johansen, 1962) | |
| | Üniform P | Karşılıklı kenarlarından izotrop ankastrerop | m | $m' = \varphi \cdot m$ | $m = \frac{pb^2}{8(1+\varphi)}$ | | (Hognestad 1953) | |

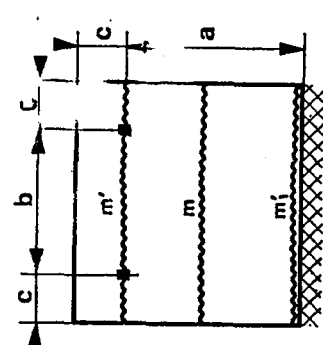
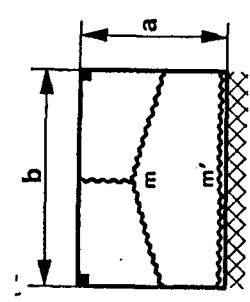


| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET SEKİLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK |
|------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|---|--|---------------|----------------------|-----------------------|
| 4- Komşu iki kenarı mesnetli | Üniform p | iki kenarın dan ankastratrop | m | $m'_a = \varphi_b \cdot m$ $m'_b = \varphi_a \cdot m$ $m' : AC$ | <p>Aşağıdaki değerlerden en büyüğü dikkate alınmalıdır.</p> $a_r = \frac{a}{\sqrt{1+\varphi_b}}$ $b_r = \frac{b}{\sqrt{1+\varphi_a}}$ <p>olmak üzere</p> $m = \frac{p \cdot a \cdot b_r}{1,5 + 3 \frac{a}{b_r} + (1 + \frac{a}{b_r}) \varphi_b}$ $m = \frac{p \cdot a_r \cdot b}{1,5 + 3 \frac{a_r}{a} + (1 + \frac{a_r}{a}) \varphi_a}$ $m' = \frac{p \cdot a \cdot b}{6(\frac{a}{b} + \frac{b}{a})}$ | | (Johansen, 1962) | |
| | | | | $m'_a = \varphi_b \cdot m$ $m'_b = \varphi_a \cdot m$ $m' : AC$ | <p>Plagin iki kenarından serbest mesnetli olması halinde mesnet-kenarların oluşturdugu açının belli olduğundan asb için m momenti:</p> $m = \frac{p \cdot a \cdot b}{4 + 1,5 \frac{a}{b}}$ | | | |
| | | | | $m'_a = \varphi_b \cdot m$ $m'_b = \varphi_a \cdot m$ $m' : AC$ | <p>Bu bağıntılarla hesaplanan moment değerleri yaklaşık dir. Ancak sonuçlar emniyetli taraf tadır. Daha ayrıntılı bilgi için (University of Illinois, 1963) kaynağına başvurulabilir.</p> | | | |



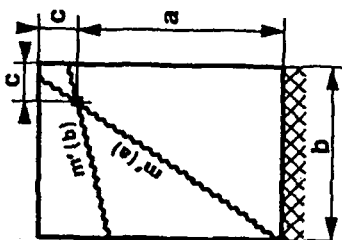
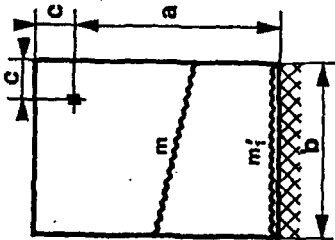
| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR ÇÖZÜM KAYNAK |
|--|-----------|--|------------|--|---|---------------|----------------------|----------------------|
| 5- Komşu iki kenarın ve bir tekil mesnete oturan $a \geq b \geq 2a$ | Üniform | İki kenarlı boyuncu ankastre izot-ve tekil rop mesneti basit | m | $m'_a = \frac{p \cdot a \cdot m}{a}$ $m'_b = \frac{p \cdot b \cdot m}{b}$ | $m_0 = \frac{3p \cdot a \cdot b}{8(2 + \frac{a}{b})}$ $k = 0.6 \frac{p \cdot a \cdot (a+c) + p \cdot b \cdot (b+d)}{a+b+c+d}$ olmak üzere $m = \frac{m_0 - 0.15p \cdot c \cdot d}{1+k}$ Tekil mesnet reaksiyonu $S = \frac{0.22p \cdot a \cdot b}{1+k} + \frac{1}{2} p(a \cdot d + b \cdot c) + 2.5p \cdot c \cdot d$ Bu bağıntılar yaklaşık olmakla beraber emniyetli taraftadır. | | (Johansen, 1962) | |
| 6- Bir kenarı ve iki tekil mesnete oturan 6.1. Tekil mesnetler plak içindedir. a) $a \leq b \leq 1.8a$ | Üniform P | Bir kenarlı an-kastr ve tekil mesnetleri basit | m izot-rop | $m'_i = m$ m': Tekil mesnetlerdeki negatif moment | $m = \frac{P}{120}(4a^2 + 7a \cdot b - 50c^2 + 17.5 \frac{b \cdot c^2}{a})$ $m' = \frac{1}{2} p \cdot c^2$ Bu formül yaklaşıktır. | | (Johansen, 1962) | |
| | Aynı | Basit mesnetli plak | Aynı | $m'_i = 0$ | $m = \frac{P}{12}(5a^2 + 4a \cdot b - 31c^2 + 9 \frac{b \cdot c^2}{a})$ $m' = \frac{1}{2} p \cdot c^2$ $0 < m'_i < m$ için yukarıdaki iki değer arasında lineer enterpolasyon yapılabilir. | | (Johansen, 1962) | |



| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR ÇÖZÜM KAYNAK |
|---|-----------|--|-----------|---|--|---|----------------------|----------------------|
| b) $b \leq a$  | Uniform P | Bir kenarlı ankastre tekil mes. basit | m | $m'_1 = m$ m: Tekil mesnetlerdeki negatif moment | $m = \frac{1}{12} P \cdot a^2 - \frac{1}{6} P \cdot c$ $m' = \frac{1}{2} P \cdot c^2$ | | | |
| | Aynı | Basit mesnetli plak | Aynı | $m'_1 = 0$ | $m = \frac{1}{8} P \cdot a^2 - \frac{1}{4} P \cdot c$ $m' = \frac{1}{2} P \cdot c^2$ | | (Johansen, 1962) | |
| 6.2- Tekil momentler plak köşelerindedir.  | Aynı | Bir kenarlı ankastre ve tekil mesnetleri basit | Aynı | $m'_1 = \varphi \cdot m$ | $\frac{b}{a} < 2$ için $m = \frac{P \cdot a \cdot b}{18 + 12\varphi} \left(1 + \frac{5 + 2\varphi}{b} \frac{a}{b} \right)$ | | | |
| | Aynı | Bir kenarlı ve tekil mesnetli basit | | $m'_1 = m$ | $m = \frac{P \cdot a^2}{11}$ | $\frac{b}{a} < 2$ ve mesnetlenmiş kenarlarla diğer kenarların oluşturdugu köşeler, tutulmuş olması hali için $m = \frac{P \cdot a \cdot b}{18} \left(1 + \frac{5}{4} \frac{a}{b} \right)$ | | |

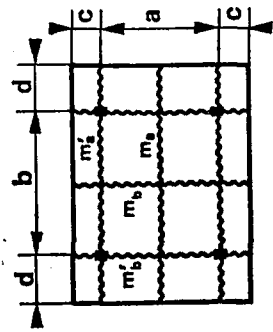
Yukarıdaki bağıntılar c'nin çok küçük değerleri için kullanılabilir. c nin bu küçük değerleri için bu bağıntılarla aşağıdaki bağıntılar arasında kuadratik (karesel) entegrasyon yapılabilir.

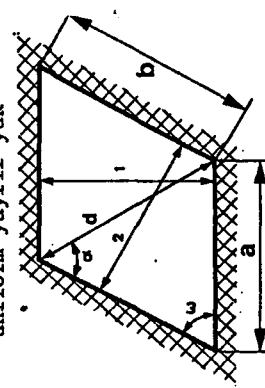
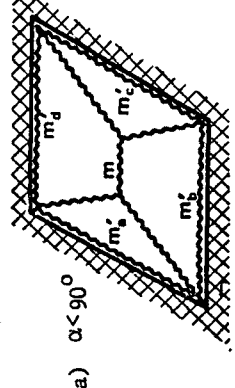
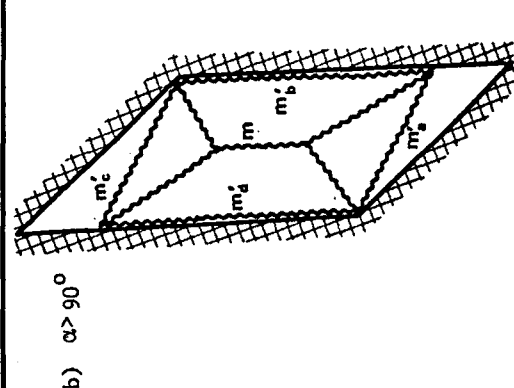
| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK |
|--|-----------|---|-----------|--------------------------|--|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 1-Bir kenarı ve bir tekil mesnete oturan | Uniform P | Mesnetlenmiş kenarı ankastre ve tekil mesneti basit | m izotrop | $m'_1 = \varphi \cdot m$ | $1 = \frac{2(a^2 - c^2)}{a\sqrt{1+\varphi} + \sqrt{a^2 + \varphi c^2}}$ <p>olmak üzere</p> $m = \frac{1}{8} p \cdot l^2 \frac{a-1.6c}{a-0.35b-0.9c}$ <p>Bu bağıntı yaklaşıkktır. m' degeri</p> <p>a) $a < \frac{(b-c)^2}{c}$</p> $m' = \frac{1}{6} p \frac{(a+c)^2 (b-c)^2}{a^2 + (b-c)^2}$ <p>b) $b \geq a \frac{(b-c)^2}{c}$</p> $m' = \frac{1}{6} p [(b-c)^2 + c^2]$ <p>bağıntısıyla hesaplanır $\frac{b}{c} > \frac{3}{3}$ için $m' = \frac{1}{4} p \cdot b \cdot c$ bağıntısı kullanılabilir.</p> <p>$c = \frac{b}{2}$ özel durumu</p> | | (Johansen, 1962) | |
| | | | | | $1 = \frac{2(a^2 - c^2)}{a\sqrt{1+\varphi} + \sqrt{a^2 + \varphi c^2}}$ <p>olmak üzere</p> $m = \frac{1}{8} p \cdot l^2$ | | Johansen, 1962) | |



| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK |
|------------------------------|---------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|--|---------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | <p>m' değeri aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.</p> <p>1) $a \leq \frac{b}{4c}$</p> $m' = \frac{1}{6} p(a+c)^2 \frac{b^2}{b^2+4a^2}$ <p>2) $a > \frac{b}{4c}$</p> <p>$c \geq 0.35b$ için;</p> $m' = \frac{1}{2} p \cdot c^2$ <p>$c < 0.35b$ için;</p> $m' = \frac{1}{6} p(c^2 + \frac{b^2}{4})$ | | | |
| 8. Dört tekil mesnete oturan | Uniform: P | Mesnetler basit | m_a, m_b Ortotrop donatı | m'_a, m'_b Ortotrop donatı | $m_b = \frac{1}{8} p(a^2 - 4c^2)$ $m_b = \frac{1}{8} p(b^2 - 4d^2)$ $m'_a = \frac{1}{2} p c^2$ $m'_b = \frac{1}{2} p d^2$ | | (Johansen, 1962) | |

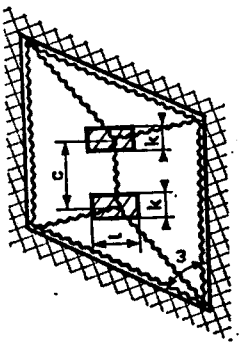
8. Dört tekil mesnete oturan



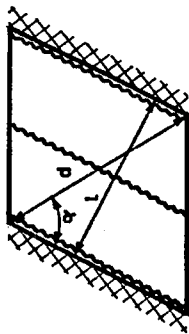
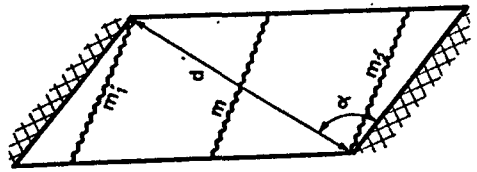
| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK |
|--|--------------|--------------------------|----------------|--|--|---------------|-----------------------|--|
| PARALEL KENAR PLAK 1. Dört kenarından mesnetli 1.1 Plâgin tüm yüzeyinde üniform yayılı yük  | Üniform P | Dört kenarından ankastré | m İzotrop | $m'_a = q_a \cdot m$ $m'_b = q_b \cdot m$ $m'_c = q_c \cdot m$ $m'_d = q_d \cdot m$ | | | | |
| a) $\alpha < 90^\circ$  | | | | | m_r kenarları l_1 ve l_2 olan dikdörtgen plak için hesaplanan momenti göstermek üzere $m, \omega \geq 30^\circ$ için $m = m_r (1.75 - \sin \omega)$ bağlantısı ile hesaplanır. | | (Johansen, 1962) | Çözme işlemi deneysel olarak elde edilmiştir. (Sabatka, 1963) |
| b) $\alpha > 90^\circ$  | | | | | m_r , bir kenarı l_2 ve küçük diyağonalı olan dikdörtgen plak için hesaplanan momenti göstermek üzere $\omega \geq 30^\circ$ için $m,$ $m = m_r (1.75 - \sin \omega)$ bağlantısından hesaplanır. | | (Johansen, 1962) | |

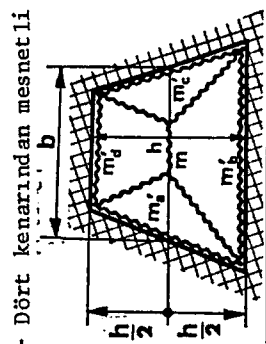
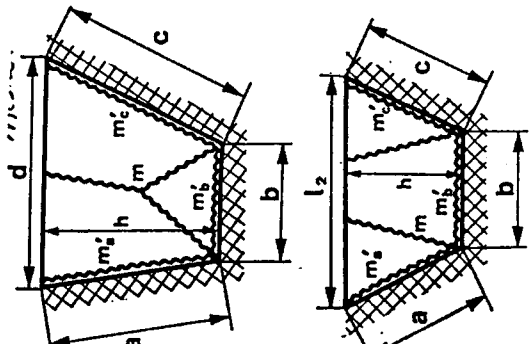
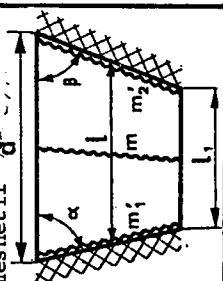
| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK |
|--|---------------|-----------------------------|-----------|--|---|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 1.2-Yük iki alan üzerinde üniform yayılı | Toplam yük 2P | Dört kenarı ankastre | m izotrop | $m'_a = \varphi_a \cdot m$ $m'_b = \varphi_b \cdot m$ $m'_c = \varphi_c \cdot m$ $m'_d = \varphi_d \cdot m$ | m, momenti dikkate alınan paralel kenarın kenarlarına eşit kenarlı dikdörtgen plak için verilen bağıntılarla hesaplanabilir. Yük alanlarının boyutları $k, c \text{ ve } \frac{\ell}{\sin \omega}$ dir. | | (Johansen, 1962) | |
| 2- Karşılıklı iki kenarından mesnetli | Üniform P | Kenarları üzerinde ankastre | m izotrop | $m'_a = \varphi_a \cdot m$ $m'_c = \varphi_c \cdot m$ | $\ell_r = \frac{2\ell}{\sqrt{1+\varphi_1} + \sqrt{1+\varphi_2}}$ olmak üzere $m = \frac{1}{8} p \ell_r^2$ | | (Johansen) | |
| | Aynı | Aynı | Aynı | Aynı | d küçük diyagonal ve $d_r = \frac{2d}{\sqrt{1+\varphi_1} + \sqrt{1+\varphi_2}}$ olmak üzere $m = \frac{1}{8} p \cdot d_r$ | | | |

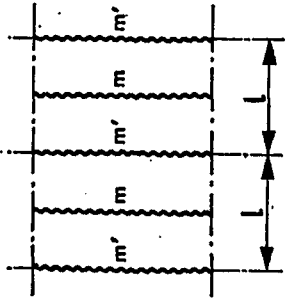
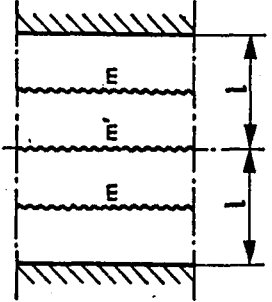
Paralel kenar için verilen bağıntılar yaklaşıktır.



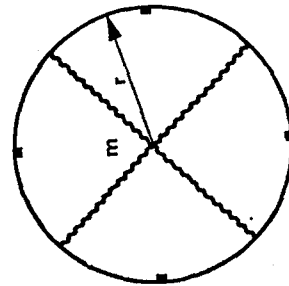
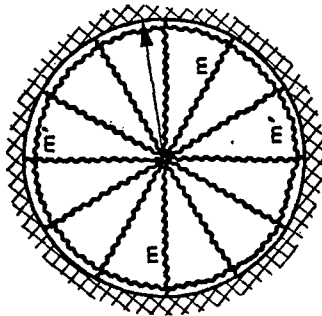
2- Karşılıklı iki kenarından mesnetli

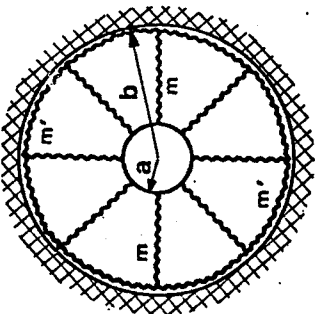
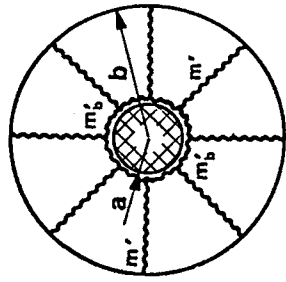
a) $\alpha < 90^\circ$ b) $\alpha > 90^\circ$ 

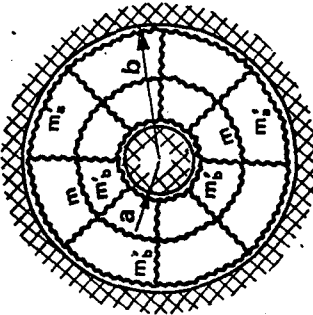
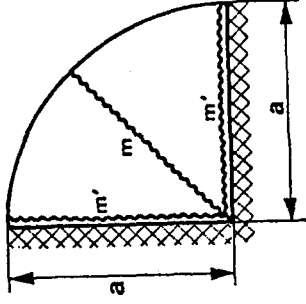
| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR ÇÖZÜM KAYNAK |
|---|-----------|--------------------------|-----------|--|--|---------------|----------------------|----------------------|
| YAMUK PLAK 1- Dört kenarından mesnetli  | Üniform P | Dört kenarından ankastré | m izotrop | $m'_a = \psi_a \cdot m$ $m'_b = \psi_b \cdot m$ $m'_c = \psi_c \cdot m$ $m'_d = \psi_d \cdot m$ | m_r kenarları h ve b olan (b ya- mğun yüksekliğinin ortasından ölçülmektedir) dikdörtgen plak için hesaplanan momenti göster- mek üzere m; $m = m_r [1.75 - \frac{1}{3}(\sin\alpha + \sin\gamma)]$ bağlantısıyla hesaplanır Bu bağır- tı yaklaşıktır. | | (Johansen, 1962) | |
| 2- Üç kenarından mesnetli  | Aynı | Aynı | Aynı | $m'_a = \psi_a \cdot m$ $m'_b = \psi_b \cdot m$ $m'_c = \psi_c \cdot m$ | $m_o \geq \frac{1}{12} p \cdot h \frac{b^2 + 2d - a - c}{a + b + c - d}$ $m_i \approx \frac{a \cdot m'_a + b \cdot m'_b + c \cdot m'_c}{a + b + c - d}$ olmak üzere $m = m_o - m_i$ Bu bağlantı yaklaşık olmakla be- raber emniyetli taraftadır.. Daha ayrıntılı bilgi için (KUANG-HAN, RAM ve diğ., 1966) kaynağına başvurulabilir. | | Johansen, 1962) | |
| 3- Paralel olmayan iki kenarından mesnetli  | Aynı | Aynı | Aynı | $m'_1 = \psi_1 \cdot m$ | Aşağıdaki değerlerden en büyüğü kullanılmaktadır. $m = \frac{1}{8} q \cdot l^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{m'_1}{\sin \alpha} + \frac{m'_2}{\sin \beta} \right)$ $m = \frac{1}{8} q \cdot l_1^2 - \frac{1}{2} (m'_1 + m'_2)$ | | (Johansen, 1962) | |

| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. NEGATİF DNT DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR. ÇÖZÜM KAYNAK | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|------------------------|-----------------------------|--|---------------|-----------------------|-----------------------|-----|-------------------|-------------------|-----|---------------------|---------------------|-----|---------------------|-------------------|------|---------------------|------------------|---|-------------------|--------------------|--|------------------|--|
| <p>BİR DOĞRULTUDA ÇALIŞAN BÜYÜK GENİŞLİKLİ PLAK</p> <p>1- Genişliği büyük, sürekli sonsuz sayıda eşit enlemli plak</p>  | Üniform P | Ara mesnetleri sürekli | m $m' = \varphi \cdot m$ | $m = \frac{p \cdot l^2}{8(1+\varphi)}$ <p>Özel durumlar</p> <table border="1" data-bbox="486 836 744 1181"> <thead> <tr> <th>φ</th> <th>m</th> <th>m'</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>$\frac{pl^2}{16}$</td> <td>$\frac{pl^2}{16}$</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>$\frac{pl^2}{20}$</td> <td>$\frac{pl^2}{13.3}$</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>$\frac{pl^2}{24}$</td> <td>$\frac{pl^2}{12}$</td> </tr> </tbody> </table> | φ | m | m' | 1 | $\frac{pl^2}{16}$ | $\frac{pl^2}{16}$ | 1.5 | $\frac{pl^2}{20}$ | $\frac{pl^2}{13.3}$ | 2 | $\frac{pl^2}{24}$ | $\frac{pl^2}{12}$ | | (Steinmann 1960) | | | | | | | |
| φ | m | m' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | $\frac{pl^2}{16}$ | $\frac{pl^2}{16}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | $\frac{pl^2}{20}$ | $\frac{pl^2}{13.3}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | $\frac{pl^2}{24}$ | $\frac{pl^2}{12}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>2- Genişliği büyük, sürekli eşit iki enlemli plak</p>  | Üniform P | Mesnetler basit | m $m' = \varphi \cdot m$ | $m = \frac{p \cdot l^2}{2} \left(\frac{\sqrt{1+\varphi} - 1}{\varphi} \right)$ <p>Özel durumlar</p> <table border="1" data-bbox="982 836 1332 1181"> <thead> <tr> <th>φ</th> <th>m</th> <th>m'</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,5</td> <td>$\frac{pl^2}{10}$</td> <td>$\frac{pl^2}{20}$</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>$\frac{pl^2}{11,6}$</td> <td>$\frac{pl^2}{11,6}$</td> </tr> <tr> <td>1,5</td> <td>$\frac{pl^2}{13,4}$</td> <td>$\frac{pl^2}{9}$</td> </tr> <tr> <td>1,79</td> <td>$\frac{pl^2}{14,3}$</td> <td>$\frac{pl^2}{8}$</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>$\frac{pl^2}{15}$</td> <td>$\frac{pl^2}{7,5}$</td> </tr> </tbody> </table> | φ | m | m' | 0,5 | $\frac{pl^2}{10}$ | $\frac{pl^2}{20}$ | 1 | $\frac{pl^2}{11,6}$ | $\frac{pl^2}{11,6}$ | 1,5 | $\frac{pl^2}{13,4}$ | $\frac{pl^2}{9}$ | 1,79 | $\frac{pl^2}{14,3}$ | $\frac{pl^2}{8}$ | 2 | $\frac{pl^2}{15}$ | $\frac{pl^2}{7,5}$ | | (Johansen, 1962) | |
| φ | m | m' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,5 | $\frac{pl^2}{10}$ | $\frac{pl^2}{20}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | $\frac{pl^2}{11,6}$ | $\frac{pl^2}{11,6}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,5 | $\frac{pl^2}{13,4}$ | $\frac{pl^2}{9}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,79 | $\frac{pl^2}{14,3}$ | $\frac{pl^2}{8}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | $\frac{pl^2}{15}$ | $\frac{pl^2}{7,5}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PLAK TİPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. DONATI | POZ. NEGATİF DNT. DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | US'İ DİNK. ÇÖZÜM KAYNAK | AL'I DİNK. ÇÖZÜM KAYNAK |
|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| DAİRE PLAKLAR | Uniform P | Çevresi boyunca ankastre | m | m' = -φ . m | $m = \frac{P \cdot r^2}{6(1+\phi)}$ | | (Johansen, 1962) | Kesin çözüm (Nielsen, |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | Aynı | Basit mesnetli | Aynı | m' = 0 | $m = \frac{P \cdot r^2}{6}$ | | | |
| | Üriform P Toplam yük: P | Basit mesnetli | m | m' = 0 | $m = \frac{P}{14.1}$ | | | |
| 2. Dört tekil mesnetli | | | | | | | | |



| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR ÇÖZÜM KAYNAK |
|---|---|--|------------------|---|---|---------------|----------------------|----------------------|
| HALKA FLAK 1- Dış çevresinden mesnetli | P yükü tüm yüzeyde üniform yayılı + p lineer yükü iç çevrede üniform yayılıdır. |  | Ankastre izotrop | $m' = m$ | $m = \frac{1}{6} p(a-b)^2 \frac{a+2b}{2a-b} + \bar{p} b \frac{a-b}{2a-b}$ | | (Johansen, 1962) | |
| | | | | | | | | |
| 2- İç çevresinden mesnetli | P yükü tüm yüzeyde üniform yayılı + p lineer yükü dış çevrede üniform yayılıdır |  | Ankastre $m=0$ | m' izotrop dış çevre boyunca negatif moment $m'_b = m'$ | $m' = \frac{1}{6} p(a-b)^2 (2 + \frac{b}{a}) + \bar{p}(a-b)$ | | (Johansen, 1962) | |
| | | | | | | | | |
| Özel durum: Dış çevresi üzerinde basit mesnetli | | | | | | | | |
| Özel durum: Dış çevresi üzerinde basit mesnetli | | | | | | | | |

| PLAK TIPLERİ | YÜK | MESNET ŞEKLİ | POZ. DNT. | NEGATİF DONATI | MOMENT-YÜK BAĞINTISI | KÖŞE ETKİLERİ | ÜST SNR ÇÖZÜM KAYNAK | ALT SNR ÇÖZÜM KAYNAK |
|--|--------------|--------------|----------------|------------------------|--|---------------|----------------------|---|
| 3- İç ve dış çevre üzerinde mesnetli  | Uniform P | Ankastre | m İzotrop | $m'_a m'_b$ | $m'_a + 2m'_b = p \frac{(a-b)^2}{15} (2.75 + \frac{a}{b})$ | | (Johansen, 1962) | Plakın basit mesnetli olması halinde $m'_a = m'_b = 0$ (Gvozdev ve Krylov, 1965) |
| ÇEYREK DAİRE PLAK Yarıçapları üzerinde mesnetli  | Uniform P | Ankastre | m İzotrop | $m'_a = -\rho \cdot m$ | $m = \frac{P \cdot a^2}{7.24(1+\rho\sqrt{2})}$ | | | |

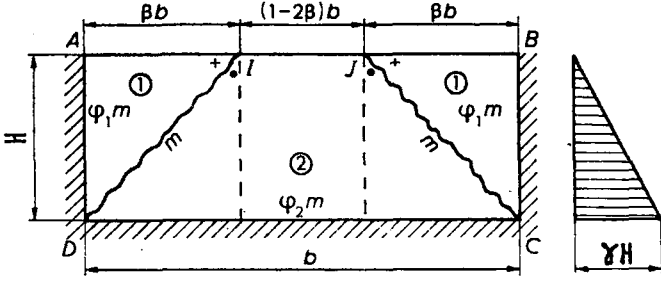
EK-B

HİDROSTATİK YÜK ETKİSİNDEKİ DEPO CİDARLARININ PLASTİK MAFSAL
ÇİZGİLERİ TEORİSİNE GÖRE YAPISAL ÇÖZÜMLEMESİ İÇİN
BİLGİSAYAR PROGRAMI

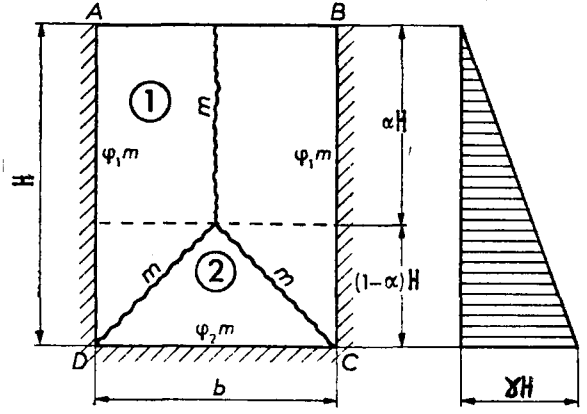
Bu bölümde, Bölüm 7 de verilen plastik mafsallık çizgileri teorisine göre hidrostatik yük etkisindeki bir depo cidarlarının, çeşitli mesnet koşulları da dikkate alınarak, yapısal çözümlemesini yapan, Fortran 77 programlama dili ile yazılmış, bilgisayar programı verilmektedir. Program şimdilik depo cidarları üst kenarlarının serbest olması halinde kullanılabilir. Programda kullanılan semboller aşağıda verilmektedir.

- FI1 (ψ_1) : Düşey kenarda moment oranı
 FI2 (ψ_2) : Yatay kenarda moment oranı
 BETA (β) : Plastik mafsallık çizgisinin serbest kenarla kesim noktasının düşey kenara uzaklığının depo cidarı yatay kenarına oranı (Şekil B1)
 BETAB (βB) : Plastik mafsallık çizgisinin serbest kenarla kesim noktasının düşey kenara uzaklığı
 GAMA (γ) : Depolanacak sıvının birim ağırlığı
 H : Depo derinliği
 HS (h) : Depo içindeki sıvı derinliği
 ALFA (α) : Üç plastik mafsallık çizgisinin kesiştiği noktanın serbest kenara olan uzaklığının plağın depo derinliğine oranı (Şekil B2 ve Şekil B3).
 ALFAH (αH) : Üç plastik mafsallık çizgisinin kesiştiği noktanın serbest kenara olan uzaklığı (Şekil B2 ve Şekil B3)

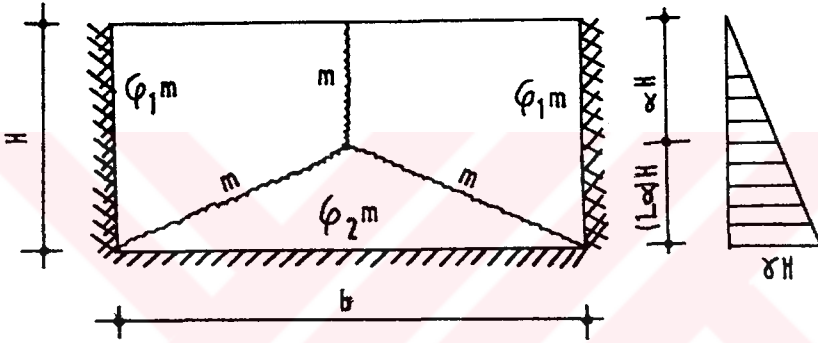
FI1 ve FI2 'ye ankastrelik momenti için 1.00 basit mesnet 0 elastik ankastre mesnetler için duruma göre 0.00-1.00 arasında bir değer verilir.



Şekil B1



Şekil B2



Şekil B3

Programda tüm veriler klavyeden serbest formatla girilmekte, sonuçta plastik mafsall çizgilerinin konumları ve momentler elde edilmektedir.

```
IMPLICIT REAL(A-Z)
```

```
WRITE(*,*)'*****'
WRITE(*,*)'*****PLASTIK MAFSAL CIZGILERI YONTEMIYLE*****'
WRITE(*,*)'*****YAPISAL COZUMLEME*****'
WRITE(*,*)'*****'
```

C
C

```
WRITE(*,*)'PLAGIN YATAY MESAFESINI GIRINIZ'
READ(*,*) B
WRITE(*,*)'PLAGIN DUSEY MESAFESINI GIRINIZ'
READ(*,*) H
WRITE(*,*)'SIVI YUKSEKLIGINI GIRINIZ'
READ(*,*) HS
WRITE(*,*)'SIVININ BIRIM AGIRLIGINI GIRINIZ'
READ(*,*) GAMA
```

C
C

```
WRITE(*,*)'DUSEY KENARDA MOMENT ORANINI GIRINIZ'
READ(*,*) FI1
WRITE(*,*)'YATAY MOMENT ORANINI GIRINIZ'
READ(*,*) FI2
```

C
C

```
WRITE(*,*)'-----CALISUYORUM LUTFEN BEKLEYINIZ-----'
IF(FI1.EQ.1.AND.FI2.EQ.0) GO TO 50
IF(H.GT.B) GO TO 40
CALL PL(B,H,HS,GAMA,FI1,FI2)
GO TO 100
40 CALL PL1(B,H,HS,GAMA,FI1,FI2)
GO TO 100
50 CALL PL2(B,H,HS,GAMA,FI1,FI2)
100 STOP
END
```

C
C
C

```
SUBROUTINE PL(B,H,HS,GAMA,FI1,FI2)
IMPLICIT REAL(A-Z)
BETA=.15
30 BETA=BETA+.0001
M1=(BETA**2*B**2*GAMA*HS*H*H)/(24*(H*H*(1+FI1)-BETA**2*B**2))
M2=(H**2*GAMA*HS*(1-BETA))/(6*(BETA+FI2))
C=M1-M2
D=ABS(C)
IF(BETA.GT..5) GO TO 10
IF(D.LT..7) GO TO 20
GO TO 30
20 Y=D/M1
IF(Y.LE..02) GO TO 25
GO TO 30
25 M=M1
DM=FI1*M
YM=FI2*M
```

```
BETAB=BETA*B
```

```
WRITE(*,*)'-----S O N U C L A R-----'
```

```
C  
C
```

```
WRITE(*,*)'                                BETA=',BETA  
WRITE(*,*)'                                BETAB=',BETAB  
WRITE(*,*)'                                BIRIM MOMENT=',M  
WRITE(*,*)' DUSEY KENAR MOMENTI (DM)=',DM  
WRITE(*,*)' YATAY KENAR MOMENTI (YM)=',YM  
GO TO 35
```

```
10 WRITE(*,*)'DENGE SAGLANAMADI BASKA MEKANIZMA DENEYINIZ'
```

```
35 RETURN
```

```
END
```

```
C  
C  
C
```

```
SUBROUTINE PL1(B,H,HS,GAMA,FI1,FI2)
```

```
IMPLICIT REAL(A-Z)
```

```
ALFA=.05
```

```
60 ALFA=ALFA+.0001
```

```
M1=B*B*GAMA*HS*(9*ALFA*ALFA+2*ALFA+1)/(96*(1+FI1))
```

```
M2=(1-ALFA)**2*(1+ALFA)*H*H*GAMA*HS/(12*(1+FI2))
```

```
C=M1-M2
```

```
D=ABS(C)
```

```
IF(ALFA.GE.1) GO TO 110
```

```
IF(D.LT..8) GO TO 70
```

```
GO TO 60
```

```
70 Y=D/M1
```

```
IF(Y.LE..03) GO TO 90
```

```
GO TO 60
```

```
90 M=M1
```

```
DM=FI1*M
```

```
YM=FI2*M
```

```
ALFAH=ALFA*H
```

```
WRITE(*,*)'-----S O N U C L A R-----'
```

```
C  
C
```

```
WRITE(*,*)'                                ALFA=',ALFA
```

```
WRITE(*,*)'                                ALFAH=',ALFAH
```

```
WRITE(*,*)'                                BIRIM MOMENT M=',M
```

```
WRITE(*,*)' DUSEY KENAR MOMENTI   DM=',DM
```

```
WRITE(*,*)' YATAY KENAR MOMENTI   YM=',YM
```

```
GO TO 95
```

```
110 WRITE(*,*)'DENGE SAGLANAMADI BASKA MEKANIZMA DENEYINIZ'
```

```
95 RETURN
```

```
END
```

```
C  
C  
C
```

```
SUBROUTINE PL2(B,H,HS,GAMA,FI1,FI2)
```

```
IMPLICIT REAL(A-Z)
```

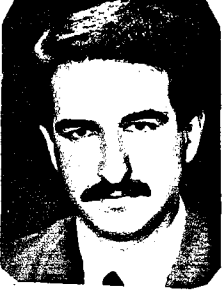
```
ALFA=.025
```

```

45 ALFA=ALFA+.001
M1=B*B*GAMA*HS*(6-8*ALFA*(1-ALFA)-5*(1-ALFA)**2)/(96*(1+FI1))
M2=H*H*GAMA*HS*(2*ALFA*(1-ALFA)**2+(1-ALFA)**3)/(12*(1+FI2))
IF(ALFA.GT.1) GO TO 15
C=M1-M2
CI=ABS(C)
IF(CI.LT.1) GO TO 25
GO TO 45
25 Y=CI/M1
IF(Y.LE..5) GO TO 55
GO TO 45
55 M=M1
DM=FI1*M
YM=FI2*M
ALFAH=ALFA*H
WRITE(*,*)'-----SONUCLAR-----'

C
C
WRITE(*,*)'                ALFA=',ALFA
WRITE(*,*)'                ALFAH=',ALFAH
WRITE(*,*)'                BIRIM MOMENT  M=',M
WRITE(*,*)'                DUSEY KENAR MOMENTI  DM=',DM
WRITE(*,*)'                YATAY KENAR MOMENTI  YM=',YM
GO TO 65
15 WRITE(*,*)'DENGE SAGLANAMADI BASKA MEKANIZMA DENEYINIZ'
65 RETURN
END

```



ÖZGEÇMİŞ

Metin HÜSEM 1964 yılında Ordu'nun Gülyalı ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini 1970-1978 yılları arasında Gülyalı'da, Lise öğrenimini ise 1978-1981 yılları arasında Ordu'da tamamlayarak 1982-1983 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 1985-1986 öğretim yılında bu bölümden Haziran döneminde mezun oldu. Aynı yıl girdiği sınavı kazanarak, mezun olduğu bölümde yüksek lisans öğrenimine başladı. Ocak, 1987 de Karayolları Genel Müdürlüğü'nde yol yapım mühendisi olarak göreve başladı. Bu görevi sırasında, Karayolları 28. Temel Eğitim ve ikinci otoyol kurslarına katılarak, Kasım 1987 de Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü'ne Etüt Ekip Mühendisi olarak atandı. 1989 yılında girdiği Araştırma Görevlisi sınavını kazanarak aynı yıl, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün oluruyla mezun olduğu üniversitede göreve başladı. Bekar olan Arş.Gör. Metin HÜSEM İngilizce bilmekte ve halen K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünde, yüksek lisans öğrenimiyle beraber, görevine devam etmektedir.

T. C.
Yükseköğretim
Dokümantasyon Merkezi