

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



TEK VE ÇOK GÖZLÜ BETONARME DİKDÖRTGEN SU
DEPOLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASİN YAŞAR HAŞLAK

BALIKESİR, MART – 2012

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



**TEK VE ÇOK GÖZLÜ BETONARME DİKDÖRTGEN SU
DEPOLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASİN YAŞAR HAŞLAK

BALIKESİR, MART – 2012

KABUL VE ONAY SAYFASI

Yasin Yaşar Haşlak tarafından hazırlanan “**Tek Ve Çok Gözlü Dikdörtgen Su Depolarının İncelenmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 19.03.2012 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Perihan EFE

Üye
Prof. Dr. Turgut ÖZDEMİR

Üye
Yrd. Doç. Dr. Semir KAYA

İmza



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Hilmi NAMLI

ÖZET

TEK VE ÇOK GÖZLÜ BETONARME DİKDÖRTGEN SU DEPOLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YASİN YAŞAR HAŞLAK
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ.DR. PERİHAN EFE)

BALIKESİR, MART - 2012

Tez çalışmasının ön araştırma sürecinde model alınacak materyallerin taramaları yapılmış, betonarme su depoları konusunda hazırlanmış türkçe kaynakların yetersiz olduğu ve herhangi bir TSE (Türk Standartları Enstitüsü) standardı olmadığı saptanmıştır. Betonarme su depoları eksenli çalışmalardan ziyade, depoların genel anlamda tanımlandığı kaynaklarda lokal olarak betonarme su depolarına değinildiği tespit edilmiştir. Saptanan bu boşluğu kısmen doldurabilecek bu tez çalışması betonarme su depolarını ayrıntılı olarak ele almaktadır.

Birinci bölümde depolar ana hatlarıyla tanıtılmaktadır. Depolara projelendirilmesinde uygulanacak kuvvetler ve hacimlerinin tayini hakkında bilgiler verilmektedir. Yapısal olarak mükemmel olan bir depo hidrolik açıdan yetersiz olabileceğinden birinci bölümde aynı zamanda hidrolik ve yapısal özellikler birlikte verilmektedir. İkinci bölümde gömme ve yerüstü depolara ilişkin hesap bağıntıları, pratik hesap şekilleri, sayısal uygulamalar, çeşitli detay ve konstrüksiyon bilgileri verilmektedir. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde depo tabanlarında, zemin cinsine göre alınacak konstrüktif önlemler ve derzlerin yerleştirilmesi, derz malzemeleri ve bunların depolarda uygulamalarından söz edilmekte aynı zamanda çeşitli derz detayları verilmektedir. Beşinci bölümde depolarda geçirimsizlik irdelenmekte ve geçirimsiz beton yapımından, taşınmasından, yerleştirilmesinden ve bakımından söz edilmektedir. Altıncı bölümde dikdörtgen kesitli gömme depoların depreme göre hesabına ilişkin birkaç hesap yöntemi verilmekte ve bunlar kendi aralarında karşılaştırılmaktadır. Bu arada pratik uygulamaları kolaylaştırmak için yöntemlerden elde edilen çeşitli çizelge ve grafikler de sunulmaktadır. Yedinci bölümde DSİ'nin Betonarme su tutucu yapıların hesap ve yapımına ait genel teknik şartnamesinin özeti verilmektedir.

Sekizinci bölümde ise bu çalışmaya ait sonuç ve önerilere ayrılmış olup bunu kaynaklar listesi izlemektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: su deposu, su depoları, betonarme su deposu, dikdörtgen su deposu, dikdörtgen betonarme su deposu, tek gözlü su deposu, çok gözlü su deposu.

ABSTRACT

SINGLE AND MULTI-EYED ANALYSIS OF THE REINFORCED CONCRETE RECTANGULAR WATER STORAGEES

MSC THESIS

YASIN YASAR HASLAK

BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF.DR. PERIHAN EFE)

BALIKESIR, MARCH 2012

During the research of the thesis, the process model to be made of materials are scanned and seen that there weren't enough resources prepared about concrete water storages in TSE standart. Concrete water storages defined in the local stores mentioned sources have been identified rather than reinforced concrete water storages. This thesis are discussed reinforced concrete water storages in detail and can partially fill this gap.

The first section introduces the outline of depots. Determination of applied forces to provides and volumes; provides information about the projects of storages. Because of a storage can be structually perfect but it can be inferior to respect of hydraulic features at the same time, there is hydraulic and structural features in the first section. In the second part, account for recessed and surface storages relations, clays that occurred between practical account, the numerical applications, various informations are given in detail and construction. The third and fourth sections, storage floors, floor constructive measures to be taken according to the type and placement of joints, joint materials and their applications are referred to in storage are also details of various joints. Impermeable and permeable concrete construction of storage is rewieved in the fifth chapter. Recessed rectangular cross-section, on the account of the earthquake, and there are given a few calculation method are compared with each other in the six section. In order to facilitate the practical application of this interim obtained from a variety of methods are presented in tables and graphs. The seventh chapter, the DSI reinforced concrete the water-retaining structures and the construction of the account summary is given of the general technical specifications.

In the eighth chapter of this work is devoted to conclusions and recommendations follows this list of resources.

KEYWORDS: water storage, water storages, reinforced concrete water storages, rectangular water storage, rectangular reinforced concrete water storage, single eyed water storage, multi-eyed water storage.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Depoların Tarihçesi	2
1.2 Depoların Seçimi	2
1.3 Depoların Yapımında Kullanılan Malzemeler	3
1.4 Depoların Şekilleri.....	3
1.5 Depoların Projesinde Gözönüne Alınacak Kuvvetler ve Etkiler.....	5
1.6 Depoların Düzenlenmesi	6
1.7 Su Depolarının Hacimlerinin Belirlenmesi	7
2. BETONARME DİKDÖRTGEN SU DEPOLARI	9
2.1 Betonarme Dikdörtgen Su Depolarının Genel Hesap Esasları.....	9
2.1.1 Düşey Şeritler Yöntemi	10
2.1.2 Yatay Şeritler Yöntemi	12
2.2 Betonarme Dikdörtgen Depoların Pratik Hesabı.....	19
2.2.1 Betonarme Yerüstü Dikdörtgen Depoların Pratik Hesabı	19
2.2.2 Betonarme Gömme Dikdörtgen Depoların Pratik Hesabı	25
2.3 Betonarme Dikdörtgen Depoların Plastik Hesabı	31
2.4 Çok Gözlü Betonarme Dikdörtgen Depolar	38
2.4.1 İki Gözlü Betonarme Kare Depolar (a = b)	39
2.4.2 Kısa Kenarlarından Biri Ortak İki Gözlü Betonarme Dikdörtgen Depolar (b/a > 1,37, Şekil 2.25).....	40
2.4.3 Uzun Duvarlarından Biri Ortak İki Gözlü Betonarme Dikdörtgen Depolar (b/a > 1,37, Şekil 2.26).....	41
2.4.4 Üç Gözlü Betonarme Dikdörtgen Depolar	42
2.4.5 Dört Gözlü Betonarme Dikdörtgen Depolar.....	42
2.5 Betonarme Dikdörtgen Depo Duvarlarının İstinat Duvarı Olarak Hesabı	43
2.5.1 Konsol Plak Duvarlı Betonarme Depolar	43
2.5.2 Payandalı Konsol Plak Duvarlı Betonarme Depolar	47
2.6 Dikdörtgen Kesitli Monolitik ve Prefabriğe Betonarme Depolarda Konstrüksiyon.....	48
2.6.1 Betonarme Dikdörtgen Depolarda Tavan Konstrüksiyonu	49
2.6.2 Betonarme Dikdörtgen Depolarda Yan Duvar Konstrüksiyonu.....	49
2.6.3 Betonarme Dikdörtgen Depolarda Taban Konstrüksiyonu	54
3. BETONARME DİKDÖRTGEN DEPO TABANLARI	55
3.1 Sağlam Zemine Oturan Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanları	55
3.2 Heterojen Zemine Oturan Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanları	56
3.3 Sıkışabilir Zemine Oturan Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanları.....	57

3.4 İki ve Üç Tabakalı Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanları.....	58
3.5 Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanlarında Derz Bandı Kullanımı	58
3.6 Betonarme Dikdörtgen Depolarda Geçirimsiz Taban Astar Kaplamaı	59
3.7 Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanlarında Drenaj Çukurları	59
3.8 Askılı Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanları.....	60
4. BETONARME DİKDÖRTGEN DEPOLARDA DERZLER	61
4.1 Derz Malzemeleri	61
4.2 Derz Çeşitleri.....	62
4.2.1 İnşaat Derzleri.....	62
4.2.2 Hareket Derzleri.....	63
4.2.2.1 Tabandaki Derzler	65
4.2.2.2 Duvarlardaki Derzler	65
4.2.2.3 Tavan Plağında Derzler	65
5. BETONARME DİKDÖRTGEN DEPOLARDA GEÇİRİMSİZLİĞİN SAĞLANMASI.....	67
5.1 Betonun Geçirimsizliğinin Sağlanması	67
5.1.1 Çimento.....	67
5.1.2 Agregası.....	68
5.1.2.1 İnce Agregası (Kum).....	68
5.1.2.2 Kaba Agregası (Çakıl)	68
5.1.3 Karışım Suyu	69
5.2 Geçirimsizlik İçin Beton Karışımı ve Yerleştirilmesi	70
5.3 Betonun Katkı Maddeleri	71
5.4 İç Kaplama ve Geçirimsizlik Şekilleri.....	71
5.4.1 İç Kaplama.....	71
5.4.2 Yalıtım Örtüleri İle Yapılan Geçirimsizlik.....	71
5.4.3 Cam Lifi Takviyeli Plastik Kaplama İle Yapılan Geçirimsizlik.....	71
6. BETONARME DİKDÖRTGEN DEPOLARDA DEPREM HESABI	72
6.1 Betonarme Gömme Dikdörtgen Depoların Hesabı	72
6.1.1 Dinamik Zemin Basıncının Hesabı.....	72
6.1.2 Hidrodinamik Basıncın Hesabı.....	73
7. DSİ SU TUTUCU BETONARME YAPILARIN HESAP VE YAPIMINA AİT GENEL TEKNİK ŞARTNAME ÖZETİ	75
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
9. KAYNAKLAR.....	82

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1:	Dikdörtgen depo düşey ve yatay kesiti	9
Şekil 2.2:	Dikdörtgen deponun düşey şeritlere ayrılması	10
Şekil 2.3:	Düşey şeritlerde yük etkisi ve moment diyagramları	11
Şekil 2.4:	Düşey dilim çekme donatısı şeması.....	11
Şekil 2.5:	Taban donatısının duvara uzatılması	12
Şekil 2.6:	Dikdörtgen deponun yatay şeritlere ayrılması	12
Şekil 2.7:	Yatay şeritlerde yük etkisi ve moment diyagramları.....	13
Şekil 2.8:	Uzun dikdörtgen depo ve moment diyagramları	14
Şekil 2.9:	Sayısal uygulamaya ait depo şekli	14
Şekil 2.10:	Uzun kenar donatısı.....	15
Şekil 2.11:	Düşey kesit I-I	18
Şekil 2.12:	Yatay kesit II-II	18
Şekil 2.13:	Sayısal uygulamaya ait depo şekli	23
Şekil 2.14:	Dikdörtgen plakta kırılma çizgileri.....	32
Şekil 2.15:	Dikdörtgen plağın parçalara ayrılması	32
Şekil 2.16:	Kırılma çizgileri çeşitleri	33
Şekil 2.17:	$\delta \leq 0,50$ için kırılma çizgileri.....	33
Şekil 2.18:	β 'ya bağlı δ ve A değerleri	33
Şekil 2.19:	β 'ya bağlı δ ve A değerleri	33
Şekil 2.20:	$\delta > 0,50$ için kırılma çizgileri.....	36
Şekil 2.21:	Steinmann' a göre plastik hesap	36
Şekil 2.22:	Dikdörtgen depo kesiti ve moment diyagramı	38
Şekil 2.23:	β ' ya bağlı A, B ve C katsayıları	39
Şekil 2.24:	İki gözlü betonarme kare depo	39
Şekil 2.25:	Kısa kenarlarından biri ortak iki gözlü dikdörtgen depo	40
Şekil 2.26:	Uzun kenarlarından biri ortak iki gözlü dikdörtgen depo.....	41
Şekil 2.27:	Dört gözlü dikdörtgen depoda doldurma çeşitleri	43
Şekil 2.28:	Dört gözlü dolu dikdörtgen depo ve moment diyagramı.....	43
Şekil 2.29:	Konsol plak duvarlar ve asal donatıların yerleştirilmesi	44
Şekil 2.30:	İdealleştirilmiş konsol plak duvar.....	44
Şekil 2.31:	Konsol plak duvarların boyutlandırılmasında sınır değerler	45
Şekil 2.32:	Ekonomik konsol plak gövde şeklinin seçimi	46
Şekil 2.33:	4,5 m yüksekliğinde konsol plak donatı detayı	47
Şekil 2.34:	Konsol plak duvar drenaj sistemi	47
Şekil 2.35:	Payandalı konsol duvar yük etkileri genel görünüşü ve çeşitleri	48
Şekil 2.36:	Dikdörtgen depolarda donatı düzenlemesi	51
Şekil 2.37:	Dikdörtgen depolarda prefabrik elemanların birleşimi.....	52
Şekil 2.38:	Depo taban duvar birleşim detayı.....	53
Şekil 2.39:	Depo taban duvar birleşim bölgesi detayları	53

Şekil 3.1:	Depo tabanının kayma tabakası üzerine oturtulması	56
Şekil 3.2:	Tabanın bölmelere ayrılması halinde derzlerin yerleştirilmesi	56
Şekil 3.3:	Karışık zeminlerde tabanların birleşimi	57
Şekil 3.4:	Sıkışabilir zeminlerde tabanların birleşimi	57
Şekil 3.5:	Derz bantlarının depo tabanlarında uygulanması	58
Şekil 3.6:	Depo tabanlarında drenaj çukurlarının uygulanması	60
Şekil 3.7:	Depolarda askılı taban donatı detayı.....	60
Şekil 4.1:	Sıvı tutucu derz bandı çeşitleri ve hareket kabiliyetleri	62
Şekil 4.2:	İnşaat derzleri detayları	63
Şekil 4.3:	Daralma derz çeşitleri ve detayları	64
Şekil 4.4:	Genleşme derzi detayları	64
Şekil 4.5:	Kayma derzi detayları.....	64
Şekil 6.1:	Hidrodinamik basınç etkisi	74

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1: Hazne hacmine göre su derinlikleri	8
Tablo 1.2: Nüfusu bağı olarak yangın için gerekli su hacimleri	8
Tablo 2.1: Sayısal uygulama 2.1'e ait tablo	15
Tablo 2.2: Plak moment hesabı için η katsayıları	20
Tablo 2.3: Plak moment hesabı için η katsayıları	21
Tablo 2.4: Plak moment hesabı için η katsayıları	22
Tablo 2.5: Sayısal uygulamaya ait moment katsayıları.....	23
Tablo 2.6: Dikdörtgen depolarda moment hesabı için η katsayıları	26
Tablo 2.7: Dikdörtgen depolarda moment hesabı için η katsayıları	28
Tablo 7.1: Beton sınıfları için kayma gerilmeleri	76
Tablo 7.2: Mukavemet hesaplarında beton emniyet gerilmeleri.....	76
Tablo 7.3: Mukavemet hesaplarında çelik emniyet gerilmeleri.....	77

SEMBOL LİSTESİ

α	: Aç1, katsayı
α_t	: Genleşme katsayısı
β	: b/a katsayısı
γ	: Sıvının birim ağırlığı, dikdörtgen depolarda basınç katsayısı
γ_z	: Zemin birim ağırlığı
δ	: Zemin ve yapı arasındaki sürtünme açısı
ε	: Birim boy değişimi
θ	: Arc tan k_h , açı
λ	: Katsayı
η	: Moment katsayısı, dikdörtgen depolarda basınç katsayısı
ν	: Poisson oranı
ξ	: Kesme kuvveti katsayısı
ρ	: Donatı oranı, deprem hesabında sıvının birim kütlesi
ρ_r	: Çatlak hesabı için donatı oranı
σ	: Gerilme
σ_c	: Beton basınç gerilmesi
$\overline{\sigma}_c$: Beton basınç emniyet gerilmesi
σ_{ct}	: Betondaki çekme gerilmesi
σ_s	: Donatı çekme gerilmesi
$\overline{\sigma}_s$: Donatı çekme emniyet gerilmesi
τ	: Kayma gerilmesi
τ_t	: Burulmadan oluşan kayma gerilmesi
τ_s	: Kesmeden oluşan kayma gerilmesi
\emptyset	: Donatı çapı, zemin iç sürtünme açısı
φ	: Mesnet katsayısı
A	: Alan
A_c	: Beton alanı
A_s	: Donatı alanı
a	: Dikdörtgen depoların kısa kenarı
b	: Dikdörtgen depoların uzun kenarı
b_w	: Kesit gövde genişliği
c	: Kohezyon
D	: Maksimum dane çapı
d	: Faydalı yükseklik, agrega çapı
E	: Elastisite modülü
E_c	: 28 günlük betonun elastisite modülü
E_s	: Çelik elastisite modülü
F	: Kuvvet
G	: Öz ağırlık
H	: Depo yüksekliği, yatay itki
h	: Depoda su yüksekliği
I	: Eylemsizlik (atalet) momenti
K	: Katsayı
k	: Katsayı, rijitlik
k'	: İtibari deprem katsayısı

k_h	: Yatay deprem katsayısı
L	: Açıklık, uzunluk
M	: Eğilme momenti, kütle
m	: Plastik hesapta birim moment, katsayı
N	: Normal kuvvet
n	: Sayı
P	: Toplam yük, agrega yüzdesi
P_{AE}	: z derinliğindeki toplam aktif basınç
P_{PE}	: z derinliğindeki toplam pasif basınç
p	: Toplam yükün şiddeti, sıvıdan doğan ek basınçlar
Q	: Hareketli yük
q	: Hareketli yükün şiddeti, zemin üstündeki ek yük
T	: Burulma momenti
t	: Zaman, depolarda duvar kalınlığı
V	: Kesme kuvveti
z	: Yüzeyden itibaren derinlik

ÖNSÖZ

Bu proje Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Kollektif ve özverili bir çalışmanın ürünü olarak mühendislik bilimine kaynak olup yol gösterebilecek bu tez çalışmasının konusunu tavsiye ederek önemli meşguliyetlerine rağmen bu projenin hazırlanmasının bütün aşamalarında yardımlarını ve telkinlerini esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Sacit OĞUZ 'a saygılarımı sunmayı bir borç bilirim. Tezimin hazırlanma safhasında disiplinli, programlı ve yüksek motivasyonla çalışmam için tüm birikimlerini aktaran , bilgi ve tecrübesinden her zaman yararlandığım ve yararlanacağım yönetici hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Perifan EFE ' ye şükran ve saygılarımı sunmayı gerekli ve gurur veren bir görev sayarım.

Üniversitemde öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Tezimin hazırlanmasında yakın ilgi ve desteklerini gördüğüm okul arkadaşlarıma, özellikle Araştırma Görevlisi Tamer BİROL' a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince beni sabır ve şefkatle destekleyen ailemin tüm fertlerine ve özellikle ömrünü bizim yetişmemiz için hasretmiş anneme, bölümümü seçmem için haklı ve doğru telkinlerde bulunarak, mesleğimi sahada uygulayabilmem ve geleceğimizi tesis edebilmek adına hizmet veren şirketimizi kuran babama, manevi desteğini üzerimden hiçbir zaman eksik etmeyen sevgili eşime ve kardeşlerime müteşekkir olduğumu belirtir, projemizin uygarlık yolunda emin adımlarla ilerlemekte olan ve modern dünyanın inşasına önemli katkılar sunacak olan ülkemize ve mühendislik bilimine yararlı olmasını en içten duygularıyla dilerim.

Mart 2012

1. GİRİŞ

Hem dünyanın hem de insan anatomisinin yarısından çoğunu oluşturan sıvıları saklamak ve ihtiyaca göre sınıflandırıp depolamak, insanlığın başlangıcından itibaren gereklilik arz etmiştir. Depolanacak su, ihtiyaçların yeri ve zamanına paralel olarak ekonomik olarak sevk etmek, kullanımını maksimum faydayı sağlayacak şekilde kontrol etmek gerekmektedir. Sıvı depoları da bu amaçlara hizmet için tesis edilir.

Sıvı depoları, su depoları ve sudan farklı sıvı depoları olmak üzere ikiye ayrılabilirler.

Su depoları temiz su depoları ve pis su depoları olarak ikiye ayrılırlar. Temiz su depoları, temiz suyu amaca uygun şekilde depo etmek üzere yapılırlar. Bu bakımdan gömme, kısmen gömme, zemin üstü ve ayaklı depolar söz konusu olur.

Pis su depoları birçok kere ağız açık ve havuz şeklinde yapılırlar. Bunlar için daha çok havuz deyimini kullanılır. Buralarda kirli sular temizleme işlemine tabi tutulur ve zararlı sayılmayacak dereceye kadar temizlendikten sonra atılırlar. Bazı kere de gereğinde yeniden kullanılırlar.

Yüzme havuzları da genel anlamda su depoları grubuna girerler. Bodrumların ve diğer yapılanların su almaması istendiği durumlarda da bir su deposu problemi ile karşılaşılır.

Sıvı depoları sudan başka mazot, petrol, fuel-oil, şarap ve bira gibi maddeler için de söz konusu olabilir.

Bütün depolar gerek hesap, gerekse sızdırmazlık ve dayanıklılık bakımından bir takım ortak esaslara göre projelendirilirler. Bunun dışında kullanım amacına göre bazı özellikler gösterirler. Bu hususların projelendirme ve inşaat safhalarında ayrıca göz önüne alınmaları gerekir. Bundan başka taşıyıcı sistem bakımından farklılıklar da söz konusu olabilir. Örneğin gömme, ayaklı depoların veya zemin üstü depolara göre farklılık göstermesi gibi. Ayrıca ayakların da kolon veya tüp şeklinde olması gibi farklılıklar da olabilir. Bunların dışında her bir depo kullanım amacının gerektirdiği şekilde mekanik ve elektrik donanımıyla donatılacaktır. Bu bakımdan bunlarında her bir deponun projelendirilmesi ve inşası sırasında göz önüne alınması gerekir.

Bu çalışma da yeraltı dikdörtgen kesitli depoların esaslarından söz edilecek, ve esas itibar ile betonarme dikdörtgen kesitli depolar ele alınacaktır.

1.1 Depoların Tarihçesi

İçme suyunun depolanması için eski zamanlarda kayalara oyulmuş çanaklar kullanılırdı. Bunu takip eden devirlerde gelişen ahşap işçiliği ile birlikte içme suyu için olduğu kadar diğer sıvıların da saklanması amacı ile küçük veya büyük boyutlu fiçiler imal edilmeye başlandı. Metal endüstrisindeki gelişme ile metal depolar bu amaçla kullanılmaya başlandı. Çelik depolar korozyona karşı hassas olmalarına karşın bugün bile birçok alanda gerek hafifliği gerekse transfer kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir.

Büyük boyutlu betonarme depoların bulunuşu ve bunların şehirlerin su ihtiyacı için ve endüstride kullanılması ilk defa birinci ve ikinci dünya savaşı sıralarına rastlar.

Kesitleri devamlı büyütme ve sızdırmazlık hakkındaki gelişen istekler mühendisleri yeni konstrüksiyonlar bulmaya zorlamaktadır. Su depolarında öngerilme kullanılması fikri E.Freyssinet tarafından 1945-1950 yıllarına rastlar. Son yıllarda sıvı depolarının teşkilinde inşaat malzemesi olarak çelikten tasarruf etme fikri öngerilmeli depoların süratli gelişmesinin ana nedenidir. Son zamanlarda bu gelişme batı Avrupa ülkelerinde epey yoğundur.

1.2 Depoların Seçimi

Depoların hacimleri ihtiyaç duyulan depo edilecek sıvı miktarına, besleme imkanlarının ve ihtiyacın değişimine göre giriş-çıkış diyagramına ve benzeri hususlara bağlı olarak tespit edilir. Örneğin içme suyu deposu söz konusu olduğunda hem ihtiyacını karşılayacağı nüfusa, hem de toplumun uygarlığı ile ilgili olan nüfus başına günlük su kullanımına, endüstri de göz önünde tutularak tespit edilecek kullanımın pik değerlerine bağlı olarak depo hacmi belirlenecektir. Burada gerekli hacmin belirtilmiş olduğu kabul edilecektir.

Ayaklı depoların yüksekliği de besleyeceği bölgede ihtiyaç noktalarında oraya kadarki kayıplardan sonra istenen su basıncına göre belirlenecektir.

Burada su belirlemenin de önceden yapıldığı kabul edilecektir. Depo hacmi belirtildikten sonra deponun malzemesine karar verilmesi ve şeklinin ve boyutlarının belirtilmesi gerekir.

1.3 Depoların Yapımında Kullanılan Malzemeler

Deponun yapımında yerine göre betonarme, öngerilmeli beton, prefabrike beton, kargir, çelik ve ahşap kullanılır.

Ahşap pek nadir olarak ve sızdırmazlığın ve su kaçağının olmadığı, ahşabın kolay ve ucuz temin edilebildiği, daha ziyade geçici depolarda kullanılır.

Betonarme, öngerilmeli beton, prefabrike beton, kargir ve çelik arasında seçim ise bir taraftan tekniğin, diğer taraftan depo edilecek sıvının özellikleri ve gerekleri, ayrıca maliyet düşünceler ile tespit edilir. Örneğin ayaklı bir depo için kargir tercih edilmez. Başka bir durumda depo edilecek sıvı ve onun kullanımı bakımından çelik uygun olmayabilir. Yahut deponun dikdörtgen şeklinde ve büyük olması zorunluluğu çeliği bertaraf edebilir.

Her halükarda maliyet karşılaştırması gerekir ve bu karşılaştırma yapılırken yalnız ilk maliyeti değil, yapının zamana bağlı bakım giderleri ve ömrü de göz önüne alınmalıdır.

1.4 Depoların Şekilleri

Depoların şekillerinin tespitinde bir yandan ihtiyaç ve fonksiyon, bir yandan da statik düşünceler etkin olur. Statik düşünceler denildiğinde sızdırmazlık gibi gerekler de kastedilmektedir.

Depoların bir veya birden fazla sayıda olması söz konusu olabilir. Birden fazla sayıda olması, sistemin fonksiyonunun gereği olarak ortaya çıkabilir yani ihtiyacın giderilmesi birden fazla depodan oluşan bir sistemi gerektirebilir. Yahut depolardan birinin bakım ve onarımı sırasında yedek bir deponun fasilasız olarak göreve girmesi veya tek başına devam etmesi gerekebilir. Yahut da büyük hacimde bir depo yapılması bazı bakımlardan uygun görülebilir.

Bir tek deponun söz konusu olduğu durumlarda deponun yatay kesitlerinin dairesel, kare, dikdörtgen veya çokgen söz konusu olabilir. Bunlar arasında seçimde statik, işletme, yer ve ekonomi etkenleri rol oynar.

Depolarda depo edilen sıvılar depo cidarına normal başlangıç kuvveti tatbik ederler ve bunun sonucu depo duvarlarına genel halde kesit etkileri olarak normal kuvvet ve moment oluşur.

Kesitlerin bu kesit etkilerini çatlama da dahil karşılayacak boyutta ve donatıda olması gerekir. İşte bu bakımdan dairesel depolar en müsait olanlardır. Zira onların büyük kısımlarında eğilme momentleri oluşmaz. Oluşan kısımlarında da daireden farklı depolardaki kadar büyük değillerdir. Bu sebepten statik bakımdan dairesel depolar diğerlerine üstünlük gösterirler. Bunun dışında belirli bir oturma alanı söz konusu olduğunda kalıp alanı bakımından dairesel depolar en elverişli olurlar. Çünkü eşit alanlı şekiller içinde çevresi en küçük olan dairedir. Ne var ki kalıp yüzeyi en küçük olmakla beraber kalıp maliyetinin her zaman mutlaka en küçük olacağı ileri sürülemez. Zira çokgen bir depo halinde yüzeyler düzlem oldukları halde dairesel depo halinde eğrisel yüzeylerdir ve birim alan maliyetleri daha yüksektir.

Kare kesit dikdörtgenden daha iyidir. Çünkü kesit etkilerinin dağılışı daha dengelidir. Ayrıca kalıp ve malzeme sarfiyatı bakımından da daha ekonomiktir.

Düzgün çokgenler kenar sayısı arttıkça daireye yaklaşrlar.

Yer durumu icabı bazen düzgün olmayan çokgenler de söz konusu olabilir. Bazı kere depodan beklenen fonksiyon gereği dairesel kesit kabul edilemeyebilir (Örneğin bira ve besin endüstrisinde). Ayrıca yer kaybı bakımından da dairesel kesit uygun olmayabilir. Bu durumla özellikle birden fazla sayıda depolar halinde karşılaşılır.

Depoların derinliğinin tespitinde bir etken deponun fonksiyonudur. Örneğin yüzme havuzlarında, çıkış borularındaki basınç da depo derinliğine bir sınır getirebilir. Statik gerekler de depo derinliğinde etken olabilir.

1.5 Depoların Projesinde Gözönüne Alınacak Kuvvetler ve Etkiler

Depoların projelendirilmesinde göz önüne alınacak kuvvetlerin birincisi her yapıda olduğu gibi zati yüklerdir.

Bundan sonra yapıyı yükleyecek sıvı yükü alınacaktır. Sıvıdan gelen yükleme ağırlığından ibaret olmayıp sıvının temasta olduğu yüzeye etkileyen basıncı da ayrıca göz önünde tutulmalıdır. En önemli ve en problem yaratan etki de bu basınçtır. Sıvı basıncı etkilediği yüzeye normal ve serbest sıvı yüzü ile o noktanın kotu arasındaki kot farkının sıvının özgül ağırlığı ile çarpımı kadar bir şiddettedir. Bu basınç özellikle deponun yan duvarlarının boyutlandırılmasında etkindir. Debinin çok gözlü olması halinde gözlerin bazılarının veya tamamının dolu olması ihtimallerinin her biri çeşitli kritik kesitler için en elverişsiz halleri ile göz önüne alınmalıdır.

Deponun toprağa tamamen veya kısmen gömülü olması halinde depoyu çevreleyen toprağın depoya uyguladığı toprak itkisi gerçeğe imkan nispetinde uygun değeri ile hesaba katılmalıdır. Bu itkinin daha başlangıçtan itibaren ve sürekli olarak mevcut olup olmayacağı ve bundan ne derece kesinlikle emin olunduğu göz önünde tutulmalıdır. Toprak basıncı ile su basıncının birlikte veya teker teker bulunmaları hali gerçeğe uygunluğuna göre göz önüne alınmalıdır. Toprak itkisinin kesinlikle bulunacağından emin olunmadığı takdirde bu itki olmadan sıvı ile dolu hal hesaba esas alınmalıdır. Depo boş iken toprak itkisinin var olması hali de incelenmelidir.

Depoların tabanı imkan nispetinde yeraltı su seviyesinin yukarısında olmalıdır. Aksi takdirde suyun kaldırma etkisi de işe karışır ve hesaba katılması gerekir. Bu husus kaldırma etkisine karşı yapının tabanına ilave beton tabakası ile veya tabanın üzerine örtü tabakasını daha da kalın tutmak suretiyle karşılamak gibi bir tedbiri gerektirebilir. Deponun boş olması halinin ayrıca incelenmesi zorunlu olabilir.

Suya doymuş zeminin depoya uyguladığı basınçları belirtilmesinde bu doymuşluk göz önüne alınmalıdır.

Depo tavanı ve tabanının hesabında tavanın ve üzerindeki toprağın ağırlığı hesaba katılmalıdır.

Ayaklı depolarda kendi yükü ve sıvı yükünden ileri gelen düşey yüklerden başka deprem ve rüzgar etkileri de hesaba katılacaktır. Bazı durumlarda gömülü, kısmen gömülü ve zemin üstü depolarda deponun boyut ve teşkil şekli deprem

etkilerinin de göz önüne alınmasını gerektirebilir. Sıcaklık değişimi, rötre ve sünme tesirleri de duruma göre göz önüne alınacaktır. Toprağa gömülü depolarla açığındaki depolar arasında farklılık gözetilecektir.

Öngerilmeli beton depolar halinde öngerilmeli beton inşaatta genellikle yapıldığı üzere elastik ani deformasyon, sünme, rötre, rölaksasyon, kablo sürtünmesi, ankraj kayıpları etkileri hesaba katılacaktır.

Prefabrik elemanlarla öngerilmeli olarak inşa edilen depolarda da öngerilmeli beton hesabın gerektirdiği etkiler göz önüne alınacaktır. (Demir, Altan ve Güler, 1988).

1.6 Depoların Düzenlenmesi

Depolar çeşitli şekillerde düzenlenebilir. Bunlarda başlıca etkenler deponun fonksiyonu ve ekonomisidir. Daha önce de söylenildiği üzere zemine tamamen gömülü, kısmen gömülü, zemin üzerine ve ayaklar üzerine oturan depolar söz konusu olabilir.

Zemine tamamen gömülü depoların üzerleri düz veya kubbe şeklinde tavanla örtülüdür. Bu tavan çok kere 50-100 cm kalınlığında toprakla kaplanmıştır. Bu tabaka ısı değişimlerine karşı tecrit tabakası görevini görür. Kışın soğuğa yazın sıcağa karşı korur. Tavan, küçük depolarda deponun duvarlarına oturur. Büyük depolar halinde ise depo içerisine düşey ayaklar (kolonlar) düzenlemek suretiyle ara mesnetlerden de yararlanır. Çok gözlü depolar halinde tavanlar çevre duvarlarından başka iç duvarlara da oturur ve gereğinde ara kolonlar da kullanılır.

Depoların duvarları, çokgen depolar halinde plaklar şeklindedir ve çeşitli durumlar söz konusu olabilir. Deponun üzeri açık, kenarı nispeten uzun ve derinliği az ise duvarlar düşey doğrultuda çalışan konsol döşemeler şeklinde çalışır ve hesap edilirler.

Konsol şeklinde çalışmanın söz konusu olmadığı hallerde iki doğrultuda çalışma söz konusu olur. Örneğin kare tabanlı depolarda her bir yüz düşey kenarlarında ankastre, alt kenarlarında duruma göre ankastre veya mafsallı bir döşeme gibidir. Üst kenarlarında ise üstünün betonarme tavanla kaplı olması halinde basit mesnetli veya kısmen ankastre, tavan veya çevre kirişi değil de dikdörtgen plak söz konusu ise düşey kenarlarda tam ankastrelik söz konusu olmayıp tam

ankastreliğe göre düzeltme gerektiren bir durum söz konusudur.

Kenarların ve yüksekliklerin büyük olması halinde yer yer kontrforlar kullanmak gerekebilir.

Depoların duvarları derinlikle lineer olarak değişen sıvı basıncına maruzdurlar. Bu bakımdan üçgensel yüklere maruz çeşitli mesnet şartlarını haiz plak çözümleri söz konusu olur. Bu türlü problemlerin çözümlerini veren tablolar literatürde verilmiştir.

Depoların tabanları bir grobeton tabakası üzerine uygulanan yalıtım tabakasının üzerine oturtulurlar ve duvarın bu tabanlara irtibatı için çeşitli düzenler uygulanabilir.

1.7 Su Depolarının Hacimlerinin Belirlenmesi

Su tüketimindeki değişiklikler, dengeleme ve yangın rezervi dikkate alınarak depo hacimleri saptanır. Depo hacmi hesaplanırken cazibeli iletimde günlük su ihtiyacının en az 1/3' ü, terfili iletimlerde ise günlük ihtiyacın 1/4' ü dikkate alınır. Ayrıca yangın rezervi de eklenir (İBTŞ, 1985).

Depo hacmi; $V_h = \frac{QxT}{Kx1000} + V_y$ şeklinde formüle edilebilir. Burada;

V_h = Hesaplanan depo hacmi (m³)

Q = Gelecekteki su ihtiyacı (lt/sn)

T = Bir günlük zaman (sn)

K = İletime bağlı katsayı (cazibeli iletimde 3, terfili iletimde 4)

V_y = Yangın için gerekli hacim (m³)

Yangın hacmi hesaplanırken aynı anda olabilecek yangın sayısı ve yangın süresi dikkate alınarak şebeke esas borularından çekilecek su miktarı, şebeke büyüklüğüne göre öngörülmüştür. Haznenin su yüksekliği haznenin büyüklüğüne göre Tablo 1.1' den seçilir. Yangın hacmi ise yerleşim yerinin nüfusuna göre Tablo 1.2'den alınmaktadır. (Bay, 2006; Çeçen, 1973).

Tablo 1.1: Hazne hacmine göre su derinlikleri (Bay, 2006)

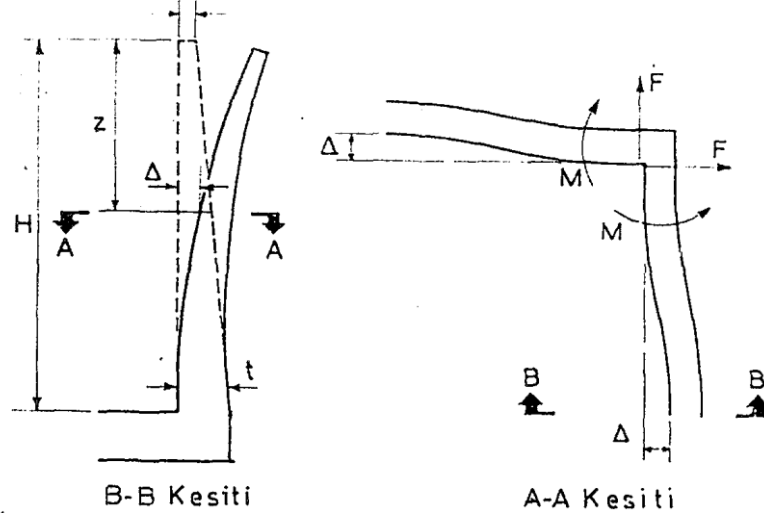
HAZNE BOYUTU	HAZNE HACMI (M³)	SU DERİNLİĞİ (M)	ÖNERİLEN (M)
Küçük hazneler	$V < 100$	2,00 – 2,50	2,50
Küçük hazneler	$100 < V < 200$	2,75 – 3,50	3,00
Orta büyüklükte hazneler	$200 < V < 500$	3,00 – 4,00	4,00
Orta büyüklükte hazneler	$500 < V < 2000$	5,00 – 6,50	5,00
Büyük hazneler	$V > 2000$	6,00 – 8,00	6,00

Tablo 1.2: Nüfusu bağlı olarak yangın için gerekli su hacimleri (Bay, 2006)

Nüfus (Kişi)	Yangın Hacmi (V_y)
$N < 10000$	36
$10000 < N < 50000$	72
$N > 50000$	360

2. BETONARME DİKDÖRTGEN SU DEPOLARI

Dikdörtgen depo duvarlarında normal kuvvet ve eğilme momenti etkili olmaktadır. Bu kesit etkileri altında üstü açık dikdörtgen bir depo duvarının yatay ve düşey doğrultuda şekil değiştirmesi Şekil 2.1 de görülmektedir. Görüldüğü gibi duvarın, açıklıklarda serbest olarak yer değiştirme yapmasına karşılık, köşelerde yer değiştirmesi engellenmektedir. Bu nedenle genellikle negatif momentin ve kesme kuvvetinin maksimum değerleri köşelerde meydana gelmektedir.



Şekil 2.1: Dikdörtgen depo düşey ve yatay kesiti (Altan, 2008)

Dikdörtgen kesitli depo duvarlarında eğilme momentinin meydana gelmesi ekonomik açıdan uygun olmamaktadır. Ancak, özellikle endüstri yapılarında deponun yapılacağı arazinin sınırlı olması halinde, değişik sıvıları depolamak için çok gözlü depo inşası gerekmektedir. Bu durumda dikdörtgen depolar, arsa kaybını önlemek için dairesel depolara göre daha uygun olmaktadır (Altan, 2008).

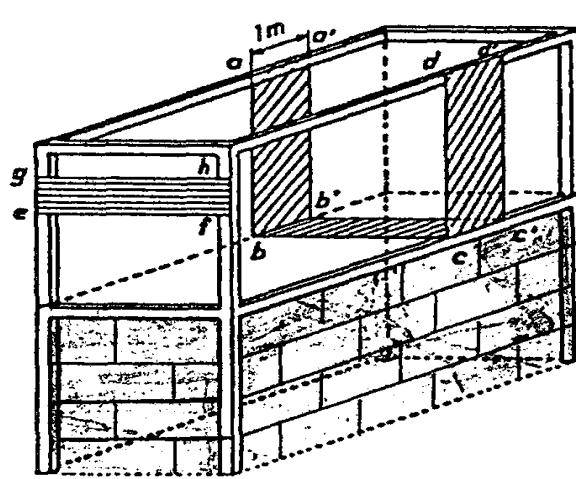
2.1 Betonarme Dikdörtgen Su Depolarının Genel Hesap Esasları

Dikdörtgen kesitli depoların hesabı, bu depoların dikey veya yatay şeritlerden oluştuğu kabul edilerek yapılabilir. Aşağıda bu duruma örnek iki hesap

yöntemi verilmektedir. Bu hesaplar yaklaşık olmakla beraber emniyetli tarafta sonuçlar vermektedir. Dikdörtgen kesitli depoların bir başka yaklaşık yöntemle pratik hesabı ise Madde 2.3’ de verilmektedir.

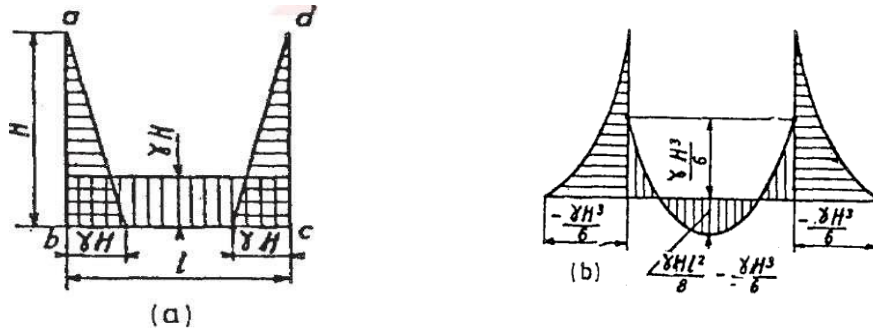
2.1.1 Düşey Şeritler Yöntemi

Bir örnek olmak üzere kargir duvarlar üzerine oturan, zeminden ayırık dikdörtgen bir depo dikkate alınsın. Depodan, aralarında 1,00 m mesafe olan, paralel iki düzlemlle kesilen bir şerit düşünölsün (Şekil 2.2). Bu hesapta, bir yatay ve iki düşey konsoldan meydana gelen fiktif bir sistem dikkate alınmaktadır. Bu sistemin yatay kesmesi sıvı ağırlığını, konsolları ise yatay sıvı basıncını taşımaktadır.

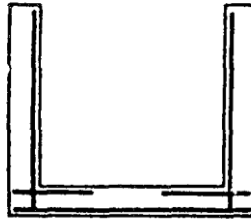


Şekil 2.2: Dikdörtgen deponun düşey şeritlere ayrılması (Altan, 2008)

İçi sıvı dolu dikdörtgen bir depodaki yükleme durumu ve moment diyagramı Şekil 2.3 de ve buna bağılı olarak hesaplanacak asal çekme donatısı şematik olarak Şekil 2.4 de verilmektedir. Deponun bilhassa sağlam zemine oturması durumunda, tabanında eğilme momenti meydana gelmeyeceğı açıktır. Buna karşılık yan duvarlardaki moment diyagramının şekli değışmez (Altan, 2008).



Şekil 2.3: Düşey şeritlerde yük etkisi ve moment diyagramları (Altan, 2008)



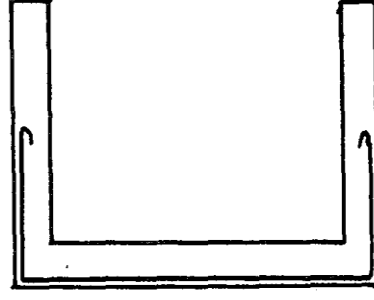
Şekil 2.4: Düşey dilim çekme donatısı şeması (Altan, 2008)

Dikkate alınan bu yöntemle göre yan duvarlar basit eğilme etkisindedir (Cidarın öz ağırlığı ihmal edilmektedir). Buna karşılık taban kısmı (Şekil 2.2 de bc kısmı) ise bileşik eğilme etkisindedir (burada N çekme kuvvetidir). Enine duvarlar 1,00 m yükseklikli şeritlere (efhg) ayrılarak hesaplanırlar.

Bu hesapta şeritler, yüksekliklerinin ortasından etkiyen ortalama basınca maruz, yarı ankastre plaklar olarak dikkate alınırlar.

Bu hesap yönteminin büyük uzunluklu, dar ve alçak depolar için uygun olduğunu belirtmek gerekir.

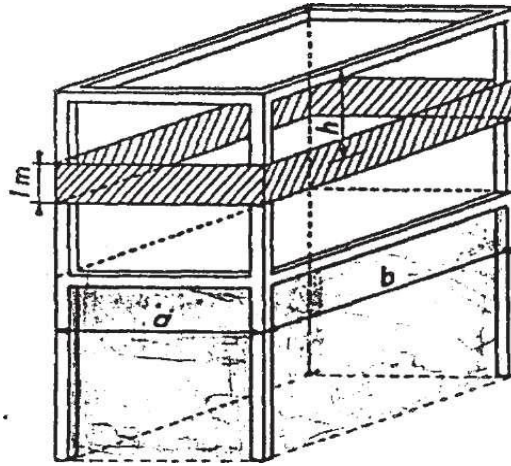
Deponun kolonlar üzerine oturması halinde, depo duvarlarının altına, ya yeterli rijitlikte kiriş konulur ya da duvarın kendisi yüksek kiriş şeklinde hesaplanır. Depo duvarlarının yüksek kiriş olarak hesaplanması halinde depo tabanının, yan duvarlarla birleşimine özen göstermek gerekir. Taban donatısını Şekil 2.5 de gösterildiği gibi duvara uzatmak uygun olmaktadır. Ayrıca depolarda çatlaklar çok zararlı olduğundan duvar betonlarında kayma gerilmesinin ($T_c = \frac{V}{bz}$) çok küçük kalması gerekir (Bu değer ilgili şartnamelerde verilmektedir).



Şekil 2.5: Taban donatısının duvara uzatılması (Altan, 2008)

2.1.2 Yatay Şeritler Yöntemi

Depoda 1,00 m yüksekliğinde yatay bir şerit dikkate alınsın (Şekil 2.6). Bu şerit $p = \gamma h$ ortalama basıncının etkisindedir. Bu durumda eşit yayılı yük etkisinde kapalı bir çerçeve elde edilmiş olur. (Şekil 2.7 a)



Şekil 2.6: Dikdörtgen deponun yatay şeritlere ayrılması (Doğangün, 1989)

I_a ve I_b sırasıyla a ve b kenarlarının eylemsizlik momentlerini ve $K = \frac{I_b}{I_a}$,

yı göstermek üzere; bu kenarların köşelerindeki momentlerin,

$$M_d = M_c = M_b = M_a = \frac{p K a^3 + b^3}{12 K a + b} \quad (2.1)$$

bağıntısıyla hesaplanabileceğini görmek mümkündür.

Şerit yüksekliği 1,00 mt olduğundan a ve b kenarlarının kalınlıkları t_a ve t_b ile gösterilirse;

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

Değerlerini almakta dolayısıyla da K,

$K = \frac{t_b^3}{t_a^3}$ olmaktadır. Bu durumda maksimum açıklık momentleri,

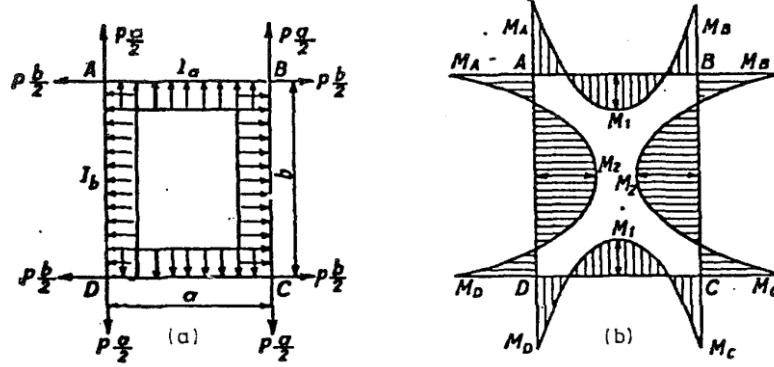
$$M_1 = \frac{p a^2}{8} + M_a \text{ ve } M_2 = \frac{p b^2}{8} + M_b \quad (2.2)$$

bağıntılarıyla hesaplanır. Bu bağıntılardaki M_a ve M_b değerleri işaretleriyle birlikte yerine konacaktır. Bu duruma ilişkin moment diyagramı Şekil 2.7b' de verilmektedir.

AB duvarının A ve B kesitlerinde oluşan kesme kuvveti,

$$V = \frac{p a}{2} + \frac{M_b - M_a}{a} \quad (2.3)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada $M_b = M_a$ olduğunda $V = p \cdot \frac{a}{2}$ değerini alır. Diğer duvarlarda buna benzer kesme kuvvetini etkisindedir (Şekil 2.7a).



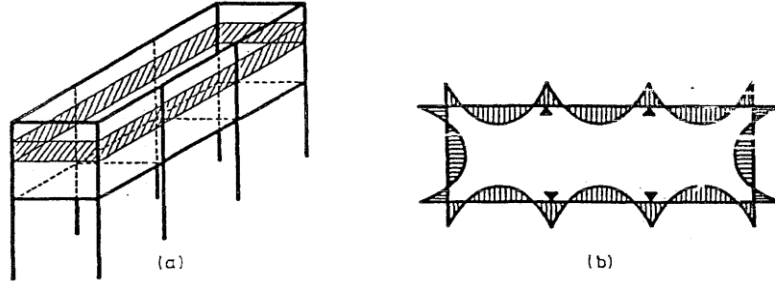
Şekil 2.7: Yatay şeritlerde yük etkisi ve moment diyagramları (Doğangün, 1989)

Durum böyle olunca, bu yöntemle göre depo duvarlarını eksene çekme ve eğilme momentinin ortak etkisine (birleşik eğilmeye) göre hesaplamak gerekir. Bu donatılara ek olarak dağıtma donatıları yerleştirilerek depo duvar donatısı tamamlanmış olur. Yatay şeritler yöntemi eni ve boyu küçük olan derin depolar için, dikey şeritler yöntemine göre daha ekonomiktir.

Depo taban ve tavanı a/b oranına bağlı olarak iki ya da dört kenardan mesnetlenmiş plak gibi hesaplanır. Bu plakların bazı mesnetlenme şekillerine göre hesabı Madde 2.3 de verilmektedir. Diğer mesnetlenme şekilleri için plaklarla ilgili kaynaklara başvurmak gerekir.

Deponun uzun olması ve çok sayıda kolona oturması halinde (Şekil 2.8a) bu hesap yine 1,00 m yüksekliğinde $p = \gamma h$ ortalama basıncının etkisinde bir şerit dikkate alınarak yapılabilir. Bu duruma ilişkin moment diyagramı Şekil 2.8 b' de verilmektedir.

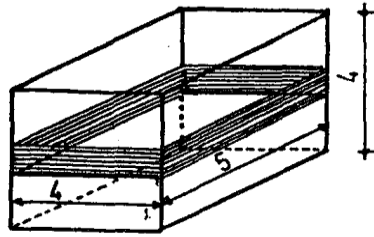
Şekil 2.8 'deki grafiksel anlatımına benzer üstü kapalı bir deponun hesabında, depo tavan ve tabanını taşıyan alt ve üst enlemlerle kolonlar bir seri kapalı çerçeve oluşturur. Bu durumda da depo tavanı iki ya da dört kenarından oturan bir plak gibi hesaplanır. Depo tabanlarını da tavanı gibi hesaplamak mümkündür. Ancak bu durumda sıvı ağırlığını da dikkate almak gerekir (Doğangün, 1989).



Şekil 2.8: Uzun dikdörtgen depo ve moment diyagramları (Doğangün, 1989)

SAYISAL UYGULAMA 2.1 80 m³ Tek Gözlü Dikdörtgen Depo Hesabı

Zemine oturan 80 m³ hacminde dikdörtgen deponun donatılarının hesaplanması isteniyor olsun. Şekil 2.9' da gösterilen bu deponun iç boyutları 4x5x4 olup duvarlar değişken kalınlıklı (tabanda 30 cm tepede 15 cm) olarak dikkate alınmaktadır. Malzeme olarak C40 ve S220 kullanılmakta olup $\sigma_c = 150 \text{ kgf/cm}^2$, $\sigma_{ct} = 6,3 \text{ kgf/cm}^2$ ve $\sigma_s = 1000 \text{ kgf/cm}^2$ alınmaktadır.



Şekil 2.9: Sayısal uygulamaya ait depo boyutları (Demir vd., 1988)

Çatlama çok sakıncalı olduğundan $k = 0,5 \times 10^6$ olarak dikkate alınacaktır. Depo yüksekliği 1,00 m olan yatay şeritler şeklinde hesaplanmakta ve her şeritte basınçların sabit ve şeridin ortasına uygulanan basınca eşit olduğu kabul edilmektedir.

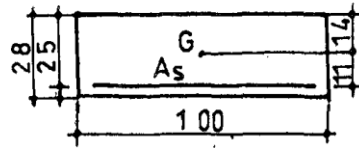
Bu örnek için duvar kalınlıkları yatay kesit boyunca eşit olduğundan $K = 1,00$ olmaktadır. Bu durumda (2.1) ve (2.2) bağıntıları yardımıyla, $a=4$ ve $b=5$ alınarak aşağıdaki tablo hazırlanabilir. Diğer şeritler için donatının hesabı ve yerleştirilmesi benzer olduğundan aşağıda sadece alt şeritin (3-4 m) donatısı hesaplanmaktadır.

Tablo 2.1: Sayısal uygulamaya ait veriler (Demir vd., 1988)

Şeritler	P (kgf/m ²)	$M_A = M_B$ (kg m)	M_1 (kg m)	M_2 (kg m)	Kısa kenar doğrultu- sunda çekme kuvveti (kgf)	Uzun kenar doğrultu- sunda çekme kuvveti (kgf)
Birinci 0-1 m	500	-875	125	688	1250	1000
İkinci 1-2 m	1500	-2625	375	2063	3750	3000
Üçüncü 2-3 m	2500	-4375	675	3438	6250	5000
Dördüncü 3-4 m	3500	-6125	875	4813	8750	7000

- Uzun kenar donatısı

Dikkate alınan şerit için kesitin ortalama yüksekliği 28 cm' dir. (Şekil 2.10)



Şekil 2.10: Uzun kenar donatısı (Demir vd., 1988)

Köşelerde donatı hesabı :

Köşelerdeki kesit ekleri :

$$M = 6125 \text{ kg m}; N=7000 \text{ kgf (çekme)}$$

Kesitteki çekme donatısının ağırlık merkezindeki moment,

$$M_S = M-N.u \rightarrow M_S = 6125-7000.0,11 = 5355 \text{ kg m olarak hesaplanır.}$$

$$k_x = \frac{n \sigma_c}{n \sigma_c + \sigma_s} \rightarrow k_x = \frac{15 \cdot 150}{15 \cdot 150 + 1000} = 0,692$$

$$k_z = 1 - \frac{k_x}{3} \rightarrow k_z = 1 - \frac{0,692}{3} = 0,769$$

$$A_s = \frac{M_s}{\sigma_s k_z d} + \frac{N}{\sigma_s} \rightarrow A_s = \frac{535500}{1000 \cdot 0,769 \cdot 25} + \frac{7000}{1000} = 34,85 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı; 13 Ø20 (40,82 cm²). Bu donatı Ø20/7 şeklinde yerleştirilecektir.

$$\rho_r = \frac{A_s}{b_w \cdot 2 \cdot (h-d)} \rightarrow \rho_r = \frac{40,82}{100 \cdot 2 \cdot (28-25)} = 0,068$$

$\rho_r = 0,068$ için $\sigma_s = 0,5 \cdot 2024 = 1012 > 1000 \text{ kgf/cm}^2$ olduğundan seçilen Ø20 donatı çapı uygundur. (k değeri $0,5 \times 10^6$ olduğu için seçilen değer 0,5 ile çarpılmıştır.)

Kayma gerilmesi hesabı :

$$V = 8750 \text{ kg ve } z \leq k_z d (=0,90 d) \rightarrow z \leq 0,90 \cdot 25 = 21,9 \text{ cm}$$

$$\tau_c = \frac{V}{b_w z} \rightarrow \tau_c = \frac{8750}{100 \cdot 21,90} = 3,99 \text{ kgf/cm}^2 < 1,15 \sigma_{ct} (= 7 \text{ kgf/cm}^2)$$

Açıklıkta (duvar ortasında) donatı hesabı :

Açıklıkta kesit etkileri : M = 4813 kg m, N=7000 kg (çekme),

$$M_s = 4813 - 7000 \cdot 0,11 = 4043 \text{ kg m}$$

$k_x = 0,692$ ve $k_z = 0,769$ (yukarıda hesaplanmıştı)

$$A_s = \frac{404300}{1000 \cdot 0,769 \cdot 25} + \frac{7000}{1000} = 28,02 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı : 12Ø18 (30,53 cm²) . Bu donatı Ø18/8 şeklinde yerleştirilecektir.

Bu hesapta kullanılan kesit uzun kenar hesabında kullanılan kesitin aynısıdır.

(Şekil 2.11)

Köşelerde donatı hesabı :

Köşelerde kesit etkileri : M = 6125 kg m, N=8750 kgf (çekme)

$$M_s = 6125 - 8750 \cdot 0,11 = 5162,5 \text{ kg m}$$

$k_x = 0,692$ ve $k_z = 0,769$ (daha önce hesaplanmıştı)

$$A_s = \frac{516250}{1000 \cdot 0,769 \cdot 25} + \frac{8750}{1000} = 35,60 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı : 13Ø20 (40,82 cm²). Bu donatı Ø20/7 şeklinde yerleştirilecektir.

Kayma gerilmesi hesabı :

$$V = 7000 \text{ kg ve } z \leq 0,90 \cdot 25 = 21,9 \text{ cm}$$

$$\tau_c = \frac{V}{b_w z} \quad \tau_c = \frac{7000}{100 \cdot 21,90} = 3,196 \text{ kgf/cm}^2 < 1,15 \sigma_{ct} (= 7 \text{ kgf/cm}^2)$$

Açıklıkta donatı hesabı :

$$\text{Açıklıkta kesit etkileri : } M = 875 \text{ kg m , } N = 8750 \text{ kgf}$$

$$e = \frac{M}{N} \quad e = \frac{87500}{8750} = 10 \text{ cm}$$

Dış kuvvetlerin bileşkesi çekme bölgesindeki donatıların arasına düşmekte ve bu konumuyla çekirdeğin dışında bulunduğundan kesitin tümü çekme etkisinde kalmaktadır.

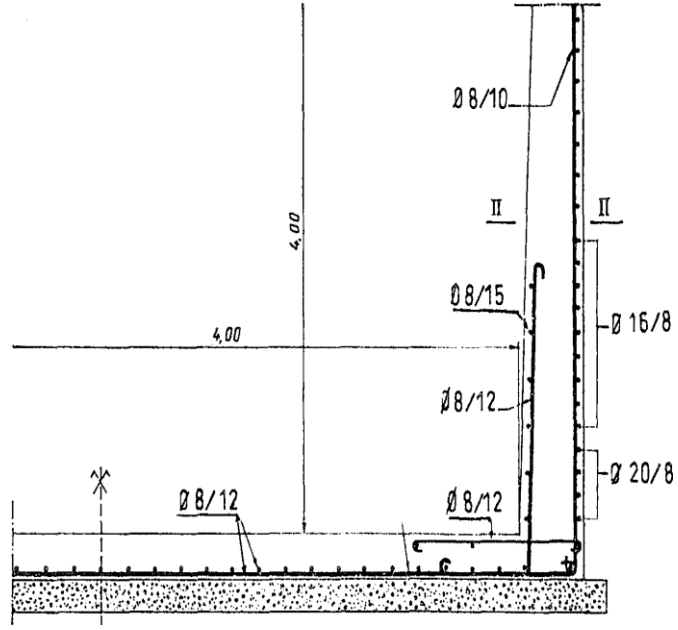
$$A_s = \frac{M_s}{d'' \sigma_s} + \frac{N(d''-1)}{d'' \sigma_s} \rightarrow A_s = \frac{87500 \cdot 1}{22 \cdot 1000} + \frac{8750 \cdot 21}{22 \cdot 1000} = 8,75 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı : 12Ø10 (9,42 cm²) Bu donatı Ø10/7 olarak yerleştirilecektir.

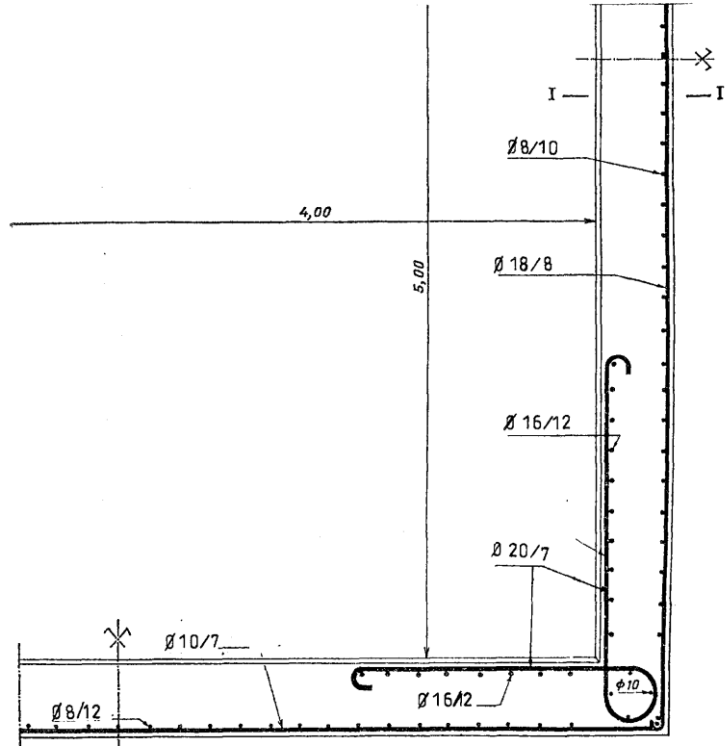
k=0,5 · 10⁶ ve $\sigma_{ct} = 6,3 \text{ kgf/cm}^2$ için $\sigma_s = 1000 \text{ kgf/cm}^2$ lik gerilme Ø10' luk donatı için kabul edilebilir olduğu görülmektedir.

Bu örneğe ilişkin donatı şeması Şekil 2.11 ve 2.12' de verilmektedir. Bu donatı detaylarında yukarıda hesaplanan asal donatılara ilave olarak dağıtma donatıları ve duvarla temel plağının bağlantısını sağlayan montaj donatıları da gösterilmiştir.

Taban plağı tesviye betonu üzerine oturtulup iki doğrultuda Ø8/10' luk donatıyla ızgara şeklinde donatılmaktadır (Demir vd., 1988).



Şekil 2.11: Düşey kesit I-I (Demir vd., 1988)



Şekil 2.12: Yatay kesiti II-II (Demir vd., 1988)

2.2 Betonarme Dikdörtgen Depoların Pratik Hesabı

2.2.1 Betonarme Yerüstü Dikdörtgen Depoların Pratik Hesabı

Dikdörtgen kesitli depolar, plaklardan oluşan yüzeysel taşıyıcılar olarak dikkate alınabilirler. Çünkü, sıvı basıncı depo taban ve duvarlarına dik olarak etkimekte ve bundan dolayı iki doğrultuda eğilme momenti meydana gelmektedir. Durum böyle olunca elastik plak teorisi yardımıyla depo taban, tavan ve yan duvarlarına meydana gelecek kesit etkileri yaklaşık olarak hesaplanabilir. Aşağıda elastik plak teorisine göre iki düşey kenarı ankastre kabul edilen plaklar için moment katsayıları verilmektedir. Düşey kenarlar ankastre olduğundan, aşağıda alt ve üst kenarlar için özel durumlar dikkate alınmaktadır.

1. Durum : Üst kenar basit mesnet – alt kenar basit mesnet (Tablo 2.2)
2. Durum : Üst kenar serbest – alt kenar basit mesnet (Tablo 2.3)
3. Durum : Üst kenar serbest – alt kenar ankastre mesnet (Tablo 2.4)

Kısmen ankastre mesnetlenme durumunda hesaplar oldukça karmaşık olmaktadır. Dikdörtgen depoların hidrostatik yük altında açıklık ve mesnet momentlerinin hesabı, yaklaşık bir yöntem yardımıyla yapılabilir. Bu amaçla, kısmen ankastrelik deponun düşey kenarlarında bulunmakta olup, alt ve üst kenar için aşağıdaki iki durum dikkate alınmaktadır.

1. Durum : Üst kenar basit mesnet – alt kenar basit mesnet (Tablo 2.6).
2. Durum : Üst kenar serbest – alt kenar basit mesnet (Tablo 2.7).

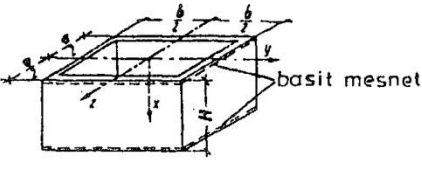
Bu yaklaşık yöntemde moment dengesi sadece deponun yatay kesitinde sağlanmaktadır.

Depo duvarında oluşabilecek çekme gerilmelerini hesaplamak için kesme kuvvetlerinin belirlenmesi gerekir. Zira, dikdörtgen deponun bir duvarında, düşey kenar boyunca oluşan kesme kuvveti diğer duvara normal kuvvet olarak etkir. Buda donatı hesabında moment yanında normal kuvvetinde dikkate alınmasını gerektirir (birleşik eğilme).

Tablo 2.2: Plak moment hesabı için η katsayıları (Altan, 2008)

b/h	x/h	y = 0		y = b/4		y = b/2	
		M _x	M _y	M _x	M _y	M _x	M _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	- 0,010	- 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	+ 0,005	- 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

Tablo 2.3 : Plak moment hesabı için η katsayıları (Altan, 2008)



$M = \eta p H$

b/h	x/h	y = 0		y = b/ 4		y = b/ 2	
		M _x	M _y	M _x	M _y	M _x	M _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	+0,006	+0,094
	0,50	+0,033	+0,036	+0,020	+0,016	+0,020	+0,089
	0,75	+0,035	+0,024	+0,025	+0,014	+0,025	+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	+0,005	+0,076
	0,50	+0,028	+0,032	+0,017	+0,014	+0,017	+0,076
	0,75	+0,031	+0,022	+0,021	+0,012	+0,021	+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	+0,003	+0,059
	0,50	+0,022	+0,027	+0,012	+0,011	+0,012	+0,063
	0,75	+0,027	+0,020	+0,017	+0,011	+0,017	+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	+0,002	+0,042
	0,50	+0,017	+0,023	+0,009	+0,009	+0,009	+0,049
	0,75	+0,021	+0,017	+0,013	+0,009	+0,013	+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
	0,75	+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

Tablo 2.4: Plak moment hesabı için η katsayıları (Altan, 2008)

$M = \eta \rho H^2$

b/h	x/h	y = 0		y = b/4		y = b/2	
		M _x	M _y	M _x	M _y	M _x	M _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	+0,039
	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

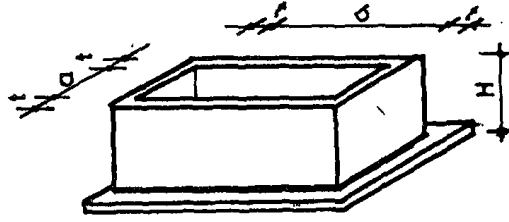
SAYISAL UYGULAMA 2.2: 363 m³ lük tek gözlü bir dikdörtgen depo hesabı

Deponun iç boyutları (Şekil 2.13) :

Yükseklik : H = 4,88 m

Uzunluk : b = 12,20 m

Genişlik : a = 6,10 m



Şekil 2.13: Sayısal uygulamaya ait depo şekli (Doğangün, 1989)

Bu örnek için duvarların üst uçları serbest, alt uçları ise basit mesnetlidir.

Sıvının (su) birim ağırlığı $\gamma = 1 \text{ t/m}^3$ dür.

$$\frac{b}{h} = \frac{12,20}{4,88} = 2,50, \quad \frac{a}{h} = \frac{6,10}{4,88} = 1,25$$

oranlarına göre çizelgeler yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu hesaplarda γ (t/m³), H (m) alınırsa, momentler tm/m, kesme kuvvetleri t/m olarak elde edilir (bir metre genişlikli şerit için). Yukarıda a/H ve b/H oranları için Tablo 2.5' den alınan η moment katsayıları aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Tablo 2.5: Sayısal uygulamaya ait moment katsayıları (Doğangün, 1989)

b / H = 2,50											
a/H		y = 0		y = b/4		y = b/2		z = a/4		z = 0	
		M _x	M _y	M _x	M _y	M _x	M _y	M _x	M _z	M _x	M _z
1,25	0	0	+0,069	0	+0,035	0	-0,092	0	-0,030	0	-0,010
	1/4	+0,026	+0,059	+0,015	+0,034	-0,018	-0,089	-0,006	-0,024	-0,006	-0,003
	1/2	+0,045	+0,048	+0,031	+0,031	-0,016	-0,082	+0,003	-0,012	+0,008	+0,007
	3/4	+0,044	+0,029	+0,034	+0,020	-0,012	-0,059	+0,011	-0,002	+0,018	+0,008

- Duvar momentlerinin hesabı

Bu katsayılar yardımıyla deponun değişik kesitlerindeki M_x , M_y ve M_z momentleri hesaplanabilir. Burada sadece maksimum momentin hesaplanmasıyla yetinilmektedir.

Bu örnek için mutlak değerce maksimum moment deponun üstünde, iki duvarın ortak düşey kenarında yatay doğrultuda meydana gelmektedir. Bu momentin değeri yukarıdaki çizelgedeki katsayılar yardımıyla,

$$M = \eta \cdot p \cdot H \rightarrow M = \eta \cdot \gamma \cdot H^3 \rightarrow M = -0,092 \cdot 1 \cdot 4,88^3 = -10,69 \text{ tm/m}$$

olarak hesaplanır. Buradaki (-) işareti duvarın sıvı dolu tarafında çekme olduğunu gösterir.

- Duvar kalınlığının hesabı

Duvar kalınlığının belirlenmesinde eğilme momenti ve kesme kuvvetinin dikkate alınması gerekir. Ancak genellikle eğilme momenti için belirlenen kalınlık kesme kuvveti içinde yeterli olmaktadır. Aşağıda bu örnek için duvar kalınlığı her iki kesit etkisine göre hesaplanmıştır.

- Eğilme momentine göre

Mutlak değerce maksimum moment $M_{max} = -10,69 \text{ tm/m}$ olarak hesaplanmıştır. Malzeme C25, S220 ($\sigma_c = 100 \text{ kgf/cm}^2$, $\tau_{em} = 8 \text{ kgf/cm}^2$, $\sigma_s = 1000 \text{ kgf/cm}^2$)' dir. Buna göre ;

$$k_x = \frac{n \sigma_c}{n \sigma_c + \sigma_s} \rightarrow k_x = \frac{15 \cdot 100}{15 \cdot 100 + 1000} = 0,6$$

$$k_z = 1 - \frac{k_x}{3} \rightarrow k_z = 1 - \frac{0,6}{3} = 0,8$$

$$d = \sqrt{\frac{2}{\sigma_c \cdot k_x \cdot k_z} \cdot \sqrt{\frac{M}{b_w}}} \rightarrow d = \sqrt{\frac{2}{0,1 \cdot 0,6 \cdot 0,8} \cdot \sqrt{\frac{1069}{100}}} \rightarrow d = 21,08 \text{ cm}$$

- Kesme kuvvetine göre

Düşey kenar boyunca maksimum kesme kuvveti ,

$$V = \xi \cdot p \cdot H \rightarrow V = \xi \cdot \gamma \cdot H \cdot H \rightarrow V = 0,416 \cdot 1 \cdot 4,88^2 = 9,9 \text{ t/m}$$

olarak hesaplanır.

$$\tau_{em} = \frac{V}{b_w \cdot k_z \cdot d} \rightarrow d = \frac{V}{\tau_{em} \cdot k_z \cdot b_w} \rightarrow d = \frac{9900}{8 \cdot 100 \cdot 0,8} = 15,47 \text{ cm}$$

Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi duvar kalınlığının belirlenmesinde eğilme momenti, bu örnek için de etkili olmuştur. Bu sonuçlara göre, emniyetli tarafta kalmak üzere, faydalı yükseklik $d=25$ cm olarak seçilebilir. Beton örtü kalınlığı da 5 cm alınır, depo duvar kalınlığı

$$t = d + \text{beton örtü kalınlığı}$$

$$t = 25 + 5 = 30 \text{ cm} \text{ olarak belirlenir.}$$

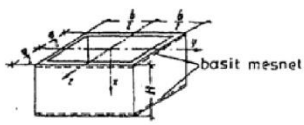
- Donatı hesabı

Bu durumda betonarme hesabı yapılan kesit genişliği $b_w = 100$ cm, yüksekliği duvar kalınlığına eşit dikdörtgen bir kesitten ibarettir. Bu kesitin donatı hesabı Tablo 2.7 yardımıyla hesaplanan moment ve kesme kuvveti (normal kuvvet olarak etkimekte) dikkate alınarak birleşik eğilmeye göre hesaplanır.

2.2.2 Betonarme Gömme Dikdörtgen Depoların Pratik Hesabı

Gömme bir deponun yan duvarları diğer etkilerin (öz ağırlık, sıvı, sıcaklık, rüzgar vb.) yanında, sıvı etkisine ters yönde, toprak etkisine de maruz kalmaktadır. Gömme depolarda tahkik edilmesi gereken bir husus da, yeraltı su seviyesinin yüksek ve deponun boş olduğu zaman yüzme tehlikesidir. Burada verilen tablolar deponun sıvı ile dolu olması halinde kullanılabildiği gibi, deponun boş olduğu zaman toprak etkisinden dolayı meydana gelen etkilerin hesabında da kullanılabilirler. Ancak bu durumda tablolardan alınan katsayıların işaretini değiştirmek gerekir.

Tablo 2.6: Dikdörtgen depolarda moment hesabı için η katsayıları (Altan, 2008)



(burada $p = \gamma H$ dir)
 $M = \eta p H^2$

b/ H = 3,00											
a/h		y = 0		y = b/ 4		y = b/ 2		z=a/ 4		z= 0	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My
3,00	1/ 4	+ 0,035	+ 0,010	+ 0,020	+ 0,011	+ 0,008	+ 0,039	+ 0,025	+ 0,011	+ 0,035	+ 0,010
	1/ 2	+ 0,057	+ 0,016	+ 0,044	+ 0,017	+ 0,013	+ 0,033	+ 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	+ 0,057	+ 0,016	+ 0,045	+ 0,017	+ 0,012	+ 0,062	+ 0,018	+ 0,015	+ 0,043	+ 0,020
	3/ 4	+ 0,051	+ 0,013	+ 0,042	+ 0,014	+ 0,011	+ 0,054	+ 0,020	+ 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	+ 0,015	+ 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	+ 0,013	+ 0,036	+ 0,020
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	+ 0,037	+ 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	+ 0,006	+ 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	+ 0,020	+ 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	+ 0,030	+ 0,002	+ 0,002	+ 0,008	+ 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	+ 0,015	+ 0,000	+ 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		y = 0		y = b/ 4		y = b/ 2		z=a/ 4		z= 0	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My
2,50	1/ 4	+ 0,031	+ 0,011	+ 0,021	+ 0,010	+ 0,008	+ 0,039	+ 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	+ 0,016
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	+ 0,046	+ 0,014	+ 0,008	+ 0,022	+ 0,016
1,00	1/ 4	+ 0,032	+ 0,011	+ 0,023	+ 0,011	+ 0,006	+ 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	+ 0,048	+ 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	+ 0,011	+ 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

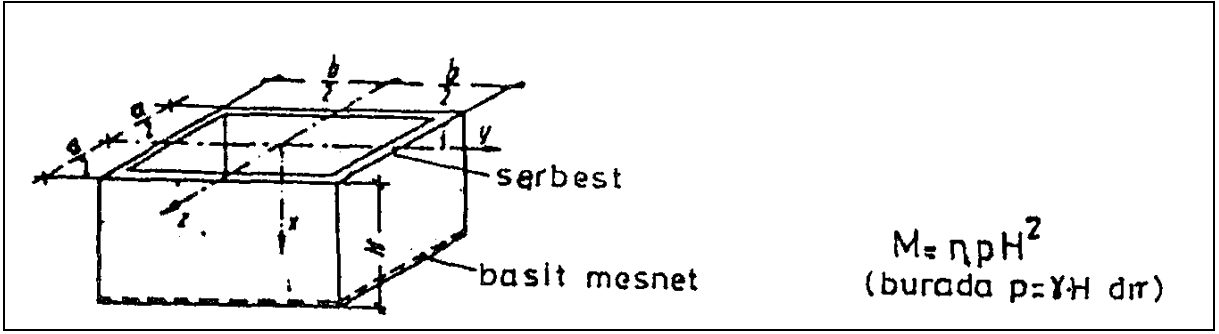
Tablo 2.6 (devam)

b/ H = 2,00											
a/h	x/ K	y = 0		y = b/ 4		y = b/ 2		z=a/ 4		z= 0	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	Ms	Mx	Ms
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	+ 0,029	+ 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	+ 0,015	+ 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	+ 0,006	+ 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	+ 0,011	+ 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	+ 0,008	+ 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 = 2,00											
a/h	x/ K	y = 0		y = b/ 4		y = b/ 2		z=a/ 4		z= 0	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	Ms	Mx	Ms
1,50	1/ 4	+ 0,015	+ 0,013	+ 0,008	+ 0,007	+ 0,006	+ 0,033	+ 0,008	+ 0,007	+ 0,015	+ 0,013
	1/ 2	+ 0,028	+ 0,021	+ 0,016	+ 0,011	+ 0,010	+ 0,052	+ 0,016	+ 0,011	+ 0,028	+ 0,021
	3/ 4	+ 0,029	+ 0,017	+ 0,020	+ 0,010	+ 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	+ 0,013
	1/ 2	+ 0,029	+ 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	+ 0,016	+ 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	+ 0,036	+ 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	+ 0,005	+ 0,014
0,50	1/ 4	+ 0,020	+ 0,010	+ 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 = 2,00											
a/h	x/ K	y = 0		y = b/ 4		y = b/ 2		z=a/ 4		z= 0	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	Ms	Mx	Ms
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	+ 0,009	+ 0,031	+ 0,003	+ 0,008	+ 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

Tablo 2.7: Dikdörtgen depolarda moment hesabı için η katsayıları (Altan, 2008)



b/H = 3.00											
a/h		y = 0		y = b/4		y = b/2		z = a/4		z = 0	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My
3,00	0	0	+0,070	0	+0,027	0	-0,196	0	+0,027	0	+0,071
	1/4	+0,028	+0,061	+0,015	+0,028	-0,034	-0,170	+0,015	+0,028	+0,028	+0,060
	1/2	+0,049	+0,049	+0,032	+0,046	-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	-0,189	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	+0,029	-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	+0,003	-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	+0,035	-0,019	-0,095	+0,000	-0,023	+0,008	-0,005
	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	-0,034	+0,001	-0,022
	3/4	+0,047	+0,032	+0,035	+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	+0,029	+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	-0,023	+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

Tablo 2.7 (devam)

b/ H = 2,50											
a/h	x/H	y = 0		y = b/ 4		y = b/ 2		z=a/ 4		z= 0	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	Ms	Mx	Ms
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	-0,005
	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	- 0,004
	1/ 2	+ 0,024	+ 0,034	+ 0,017	+ 0,020	- 0,009	- 0,044	- 0,006	- 0,027	- 0,006	- 0,010
	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	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My
1,00	0	0	+0,010	0	+0,002	0	-0,019	0	+0,002	0	+0,010
	1/ 4	+ 0,002	+ 0,013	+ 0,009	+ 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	+0,018	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

Tablo 2.7 (devam)

b/H = 1.50											
a/h		y = 0		y = b/ 4		y = b/ 2		z=a/ 4		z= 0	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My
2,50	0	0	+0,061	0	+0,019	0	-0,138	0	+0,019	0	+0,061
	1/4	+ 0,024	+ 0,053	+ 0,010	+ 0,022	- 0,026	-0,135	+ 0,010	+0,022	+ 0,024	+0,053
	1/2	+ 0,042	+ 0,044	+ 0,023	+ 0,022	- 0,023	- 0,115	+ 0,025	+ 0,022	+ 0,042	+ 0,044
	3/4	+ 0,041	+ 0,027	+ 0,030	- 0,018	- 0,016	- 0,078	+ 0,030	+ 0,016	+ 0,041	+ 0,027
2,00	0	0	+0,065	0	+0,026	0	-0,118	0	+0,013	0	+0,038
	1/4	+ 0,023	+ 0,055	+ 0,012	+ 0,027	- 0,023	- 0,113	+ 0,005	+ 0,006	+ 0,015	+ 0,037
	1/2	+ 0,043	+ 0,046	+ 0,028	+ 0,025	- 0,020	- 0,112	+ 0,018	+ 0,011	+ 0,032	+ 0,033
	3/4	+ 0,042	+ 0,028	+ 0,031	+ 0,018	- 0,014	- 0,070	+ 0,023	+ 0,011	+ 0,034	+ 0,022
1,75	0	0	+0,067	0	+0,030	0	-0,108	0	-0,005	0	+0,025
	1/4	+ 0,025	+ 0,057	+ 0,015	+ 0,030	- 0,021	- 0,104	+ 0,001	- 0,002	+ 0,010	+ 0,026
	1/2	+ 0,044	+ 0,047	+ 0,029	+ 0,027	- 0,019	- 0,096	+ 0,013	+ 0,004	+ 0,025	+ 0,025
	3/4	+ 0,043	+ 0,028	+ 0,033	+ 0,019	- 0,013	- 0,066	+ 0,019	+ 0,008	+ 0,029	+ 0,019
1,50	0	0	+0,068	0	+0,033	0	-0,100	0	-0,018	0	+0,008
	1/4	+ 0,026	+ 0,058	+ 0,014	+ 0,032	- 0,019	- 0,097	- 0,003	- 0,012	+ 0,004	+ 0,013
	1/2	+ 0,045	+ 0,047	+ 0,030	+ 0,029	- 0,018	- 0,089	+ 0,008	- 0,002	+ 0,017	+ 0,017
	3/4	+ 0,043	+ 0,029	+ 0,034	+ 0,019	- 0,013	- 0,063	+ 0,015	+ 0,004	+ 0,024	+ 0,015
1,25	0	0	+0,069	0	+0,035	0	-0,092	0	-0,030	0	-0,010
	1/4	+ 0,026	+ 0,059	+ 0,015	+ 0,034	- 0,018	- 0,089	- 0,006	- 0,024	- 0,006	- 0,003
	1/2	+ 0,045	+ 0,048	+ 0,031	+ 0,031	- 0,016	- 0,082	+ 0,003	- 0,012	+ 0,008	+ 0,007
	3/4	+ 0,044	+ 0,029	+ 0,034	+ 0,020	- 0,012	- 0,059	+ 0,011	- 0,002	+ 0,018	+ 0,008
1,00	0	0	+0,070	0	+0,037	0	-0,087	0	-0,045	0	-0,032
	1/4	+ 0,026	+ 0,060	+ 0,015	+ 0,036	- 0,017	- 0,083	- 0,010	- 0,036	- 0,008	- 0,021
	1/2	+ 0,046	+ 0,048	+ 0,031	+ 0,032	- 0,015	- 0,077	- 0,003	- 0,021	- 0,001	- 0,008
	3/4	+ 0,044	+ 0,029	+ 0,033	+ 0,021	- 0,011	- 0,056	+ 0,008	- 0,008	+ 0,011	- 0,000
0,75	0	0	+0,070	0	+0,038	0	-0,082	0	-0,062	0	-0,055
	1/4	+ 0,025	+ 0,060	+ 0,015	+ 0,037	- 0,016	- 0,078	- 0,014	- 0,053	- 0,014	- 0,042
	1/2	+ 0,045	+ 0,047	+ 0,030	+ 0,032	- 0,014	- 0,071	- 0,008	- 0,036	- 0,009	- 0,025
	3/4	+ 0,043	+ 0,029	+ 0,033	+ 0,020	- 0,011	- 0,054	+ 0,002	- 0,018	+ 0,005	- 0,021
0,50	0	0	+0,069	0	+0,039	0	-0,080	0	-0,081	0	-0,080
	1/4	+ 0,025	+ 0,059	+ 0,014	+ 0,038	- 0,015	- 0,075	- 0,019	- 0,072	- 0,019	- 0,068
	1/2	+ 0,044	+ 0,046	+ 0,028	+ 0,032	- 0,014	- 0,068	- 0,014	- 0,058	- 0,017	- 0,048
	3/4	+ 0,042	+ 0,028	+ 0,032	+ 0,019	- 0,010	- 0,052	- 0,003	- 0,030	- 0,002	- 0,026

b/H = 1.00											
a/h		y = 0		y = b/ 4		y = b/ 2		z=a/ 4		z= 0	
		Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My	Mx	My
2,00	0	0	+0,045	0	+0,011	0	-0,091	0	+0,011	0	+0,004
	1/4	+ 0,016	+ 0,042	+ 0,006	+ 0,014	- 0,019	-0,094	+ 0,006	+0,014	+ 0,016	+0,004
	1/2	+ 0,033	+ 0,036	+ 0,020	+ 0,016	- 0,018	- 0,089	+ 0,020	+ 0,016	+ 0,033	+ 0,003
	3/4	+ 0,036	+ 0,024	+ 0,025	- 0,014	- 0,013	- 0,065	+ 0,025	+ 0,014	+ 0,036	+ 0,002
1,75	0	0	+0,048	0	+0,015	0	-0,081	0	-0,001	0	+0,032
	1/4	+ 0,017	+ 0,044	+ 0,007	+ 0,017	- 0,017	- 0,085	+ 0,003	+ 0,006	+ 0,012	+ 0,032
	1/2	+ 0,034	+ 0,038	+ 0,021	+ 0,019	- 0,017	- 0,083	+ 0,015	+ 0,011	+ 0,027	+ 0,024
	3/4	+ 0,036	+ 0,024	+ 0,025	+ 0,015	- 0,012	- 0,061	+ 0,020	+ 0,012	+ 0,031	+ 0,026
1,50	0	0	+0,050	0	+0,019	0	-0,072	0	-0,010	0	+0,015
	1/4	+ 0,018	+ 0,048	+ 0,008	+ 0,021	- 0,015	- 0,077	+ 0,000	- 0,002	+ 0,007	+ 0,028
	1/2	+ 0,035	+ 0,039	+ 0,022	+ 0,021	- 0,015	- 0,076	+ 0,009	+ 0,004	+ 0,020	+ 0,023
	3/4	+ 0,036	+ 0,023	+ 0,026	+ 0,016	- 0,012	- 0,058	+ 0,016	+ 0,008	+ 0,025	+ 0,009
1,25	0	0	+0,052	0	+0,023	0	-0,064	0	-0,021	0	-0,008
	1/4	+ 0,019	+ 0,048	+ 0,009	+ 0,024	- 0,014	- 0,068	- 0,002	- 0,013	+ 0,001	+ 0,003
	1/2	+ 0,036	+ 0,041	+ 0,023	+ 0,023	- 0,014	- 0,069	+ 0,005	- 0,004	+ 0,011	+ 0,017
	3/4	+ 0,037	+ 0,023	+ 0,026	+ 0,017	- 0,011	- 0,054	+ 0,011	+ 0,002	+ 0,016	+ 0,015
1,00	0	0	+0,054	0	+0,027	0	-0,053	0	-0,037	0	-0,020
	1/4	+ 0,019	+ 0,050	+ 0,010	+ 0,027	- 0,012	- 0,062	- 0,005	- 0,025	- 0,005	- 0,003
	1/2	+ 0,037	+ 0,042	+ 0,024	+ 0,025	- 0,013	- 0,064	- 0,000	- 0,015	+ 0,001	+ 0,006
	3/4	+ 0,037	+ 0,026	+ 0,027	+ 0,018	- 0,010	- 0,051	+ 0,006	+ 0,006	+ 0,008	+ 0,005
0,75	0	0	+0,055	0	+0,030	0	-0,058	0	-0,049	0	-0,040
	1/4	+ 0,018	+ 0,051	+ 0,011	+ 0,029	- 0,012	- 0,062	- 0,009	- 0,040	- 0,010	- 0,032
	1/2	+ 0,038	+ 0,043	+ 0,025	+ 0,026	- 0,012	- 0,062	- 0,005	- 0,029	- 0,007	- 0,016
	3/4	+ 0,037	+ 0,026	+ 0,027	+ 0,018	- 0,010	- 0,049	+ 0,002	- 0,015	+ 0,001	- 0,000
0,50	0	0	+0,054	0	+0,030	0	-0,065	0	-0,064	0	-0,060
	1/4	+ 0,018	+ 0,052	+ 0,011	+ 0,029	- 0,014	- 0,068	- 0,012	- 0,056	- 0,014	- 0,050
	1/2	+ 0,038	+ 0,044	+ 0,025	+ 0,025	- 0,013	- 0,064	- 0,010	- 0,045	- 0,012	- 0,036
	3/4	+ 0,037	+ 0,026	+ 0,026	+ 0,017	- 0,010	- 0,050	- 0,003	+ 0,026	- 0,004	- 0,018

Söz konusu tablolarda depo duvarlarına uygulanan itkinin üçgen yayılı olduğu kabul edilmiştir. Ancak gömme depolarda genellikle depo üstünde yaklaşık 80 cm lik bir toprak dolgu bulunduğundan yük dağılımı trapez şeklindedir. Bununla beraber hesapların üçgen yayılı yüke göre yapılması sonuçları önemli derecede değiştirmeyeceğinden bu tabloların pratik hesaplar için kullanılması her zaman mümkündür.

Gömme depolarda toprak itkisinin sıvı basıncını azaltıcı yönde etkilemesine rağmen hesabın, dairesel depolarda olduğu gibi,

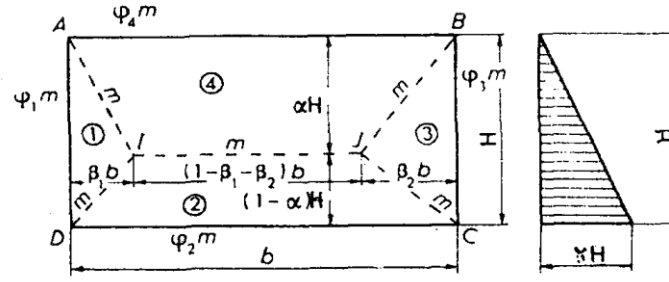
a) Depoda sıvı var - toprak dolgu yok,

b) Depoda sıvı yok - toprak dolgu var, olması halleri için ayrı ayrı yapılması gerekir.

2.3 Betonarme Dikdörtgen Depoların Plastik Hesabı

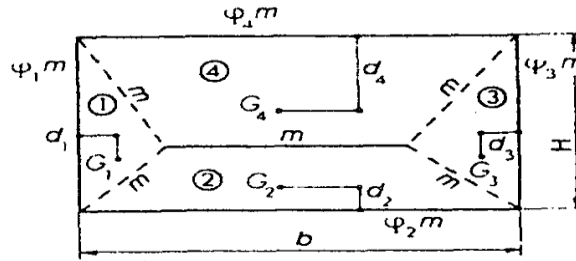
Dikdörtgen depoların kırılma çizgileri teorisine dayalı plastik hesabı, Johansen yöntemini kullanarak yapılabilir. Bu yöntem mesnet koşulları ne olursa olsun (tam ankastre, basit mesnet, serbest kenar ve kısmen ankastre) problemin çözümüne olanak sağlar. Bu durumların hepsinde aynı yöntem kullanılır. Değişen sadece mesnet katsayısı (φ) olmaktadır. Mesnet katsayısı (φ) basit mesnet için 0, tam ankastre mesnet için 1.00 ve kısmen ankastre mesnet için ise 0-1.00 arasında bir değer alır.

Şekil 2.14' de dört kenarından oturan bir dikdörtgen plakta kırılma çizgileri verilmektedir. IJ yatay çizgisinden itibaren plak dört parçaya ayrılmaktadır. Genellikle, plağın dört kenarı boyunca mesnet koşulları farklıdır. Bu nedenle plaktaki birim moment m ile gösterilirse, plak kenarları boyunca dört farklı $\varphi.m$ momentleri meydana gelir. Her bir kenar momenti için φ_1 , φ_2 , φ_3 ve φ_4 mesnet katsayıları; düşey yüzeyin boyutlarına, tavan şartlarına ve temel zemini üzerindeki taban plağı momentine bağlı olarak seçilir (Housner, 1963).



Şekil 2.14: Dikdörtgen plakta kırılma çizgileri (Housner, 1963)

Diğer taraftan, IJ nin yatay olduğu bilinmekle beraber konumu kesin olarak bilinmemektedir. Bu durumda kırılma çizgisine ait 3 bilinmeyen (α , β_1 , β_2) bulunmaktadır. Bunlara m birim momenti de eklenirse bilinmeyen sayısı dörde çıkar. Buna karşılık, kenarları üzerinde dört plak parçasına ait dört denge denklemi bulunmaktadır. Her bir parça üzerindeki kuvvetler; bu parçaların boyutlarına ve her bir parça yüzeyine intikal eden $\gamma.H$ sıvı yüküne bağlıdır. Plak parçalarının yüzeylerinin oluşturduğu hacimleri, prizma ve piramit şeklindeki elemanter hacim bileşenlerine ayırarak, yük etkisi bunlar üzerine etkililir. Bu durumda, her elemanter hacim için, kenarlara göre, ağırlık merkezlerinin konumları hesaplanabilir. O halde genel durumda çözüm mümkündür. Ancak, elemanter olmasına rağmen bu hesap şekliyle çok yüksek dereceli denklemler ortaya çıkar. AD ve BC kenar şartlarının özdeş olduğu, sık rastlanan durumlarda bile ($\varphi_1 = \varphi_2$ ve $\beta_1 = \beta_2$) üç bilinmeyenli üç denklem gerekli olmaktadır. Bunlardan α ve β yı veren denklemler beşinci derecedendir. Bu da teorik çözümün pratik olmadığını göstermektedir. Bu nedenle bu problemin çözümünde genellikle ardışık yaklaşım yöntemi tercih edilmektedir. Ardışık yaklaşım yönteminde izlenen yol aşağıda verilmektedir (Şekil 2.15)



Şekil 2.15: Dikdörtgen plağın parçalara ayrılması (Housner, 1963).

- α , β_1 ve β_2 nin tahmini olarak seçimi.
- Geometrik olarak bilinin dört plak parçasının (1-4) her birine tekabül eden P_1, P_2, P_3, P_4 hidrostatik yüklerinin ve G_1, G_2, G_3, G_4 ağırlık merkezlerinin hesabı.
- Denge denklemlerinin aşağıdaki şekilde yazımı.

$$P_1 d_1 = mH + \varphi_1 mH = mH(1 + \varphi_1) \quad (2.4)$$

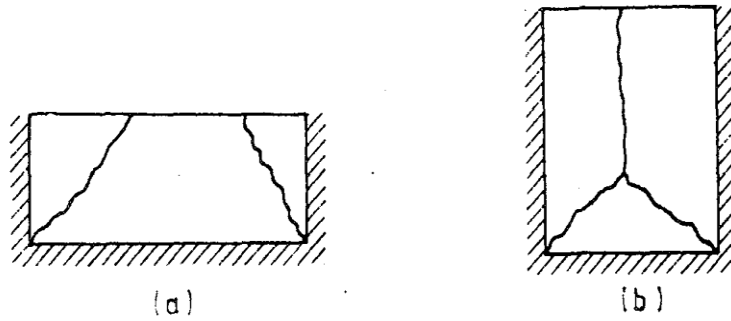
$$P_2 d_2 = mb(1 + \varphi_2) \quad (2.5)$$

$$P_3 d_3 = mH(1 + \varphi_3) \quad (2.6)$$

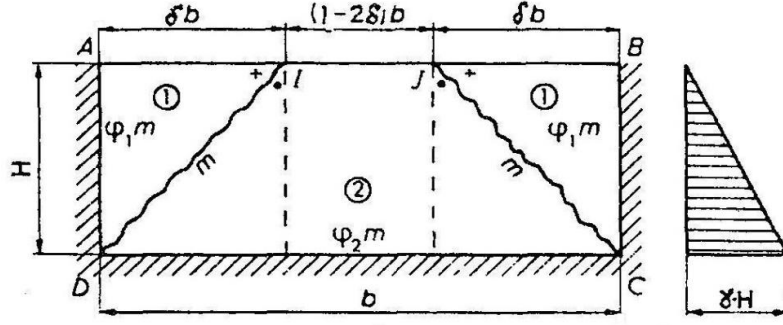
$$P_4 d_4 = mb(1 + \varphi_4) \quad (2.7)$$

Bu denklemlerin her birinde hesaplanacak sadece m bilinmeyişi bulunmaktadır. Bu denklemlerden bulunan dört m değerinin birbirine eşit olması, kırılma çizgileri konumunun doğru seçilmiş olduğunu gösterir. Aksi halde α , β_1 ve β_2 değerlerini tekrar seçerek hesabı baştan yapmak gerekir. Genellikle iki- üç yaklaşımlı çözümün elde edilmesine imkan verir. Depo üst kenarının serbest olması halinde problem basitleşir. Bu durumda iki kırılma çizgisinin oluşması mümkündür. (Şekil 2.16a) Bu iki kırılma çizgilerinin düşey bir eksene göre simetrik olmaları problemi daha da basitleştirmektedir.

Aşağıda bir kenarı serbest (boşta) diğer üç kenarı mesnetli dikdörtgen plağın hesap bağıntıları verilmektedir.



Şekil 2.16: Kırılma çizgileri çeşitleri (Housner, 1963).



Şekil 2.17: $\delta \leq 0,50$ için kırılma çizgileri (Housner, 1963).

Bu plağa ait genel denklemler aşağıda verilmiştir.

$$3 \beta^2 \delta^3 - \beta^2 (4 + \varphi_2) \delta^2 - 4(1 + \varphi_1) \delta + 4(1 + \varphi_1) = 0 \quad (2.8)$$

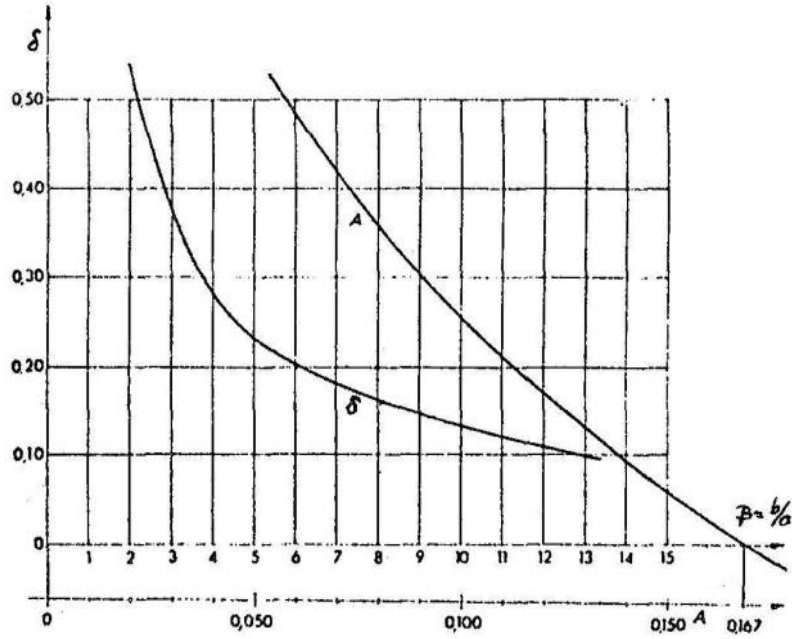
$$m = \frac{(1 - \delta^2) \gamma H^3}{6 (\delta + \varphi_2)} \quad (2.9)$$

1. Durum: Üç kenar tam ankastre ($\varphi_1 = \varphi_2 = 1$). Genel denklem aşağıdaki şekli alır.

$$3 \beta^2 \delta^3 - 5 \beta^2 \delta^2 - 8 \delta + 8 = 0 \quad (2.8')$$

$$m = \frac{(1 - \delta) \gamma H^3}{6 (1 + \delta)} = A \gamma H^3 \quad (2.9')$$

Burada δ , (2.8') veya Şekil 2.18 yardımıyla hesaplanır.



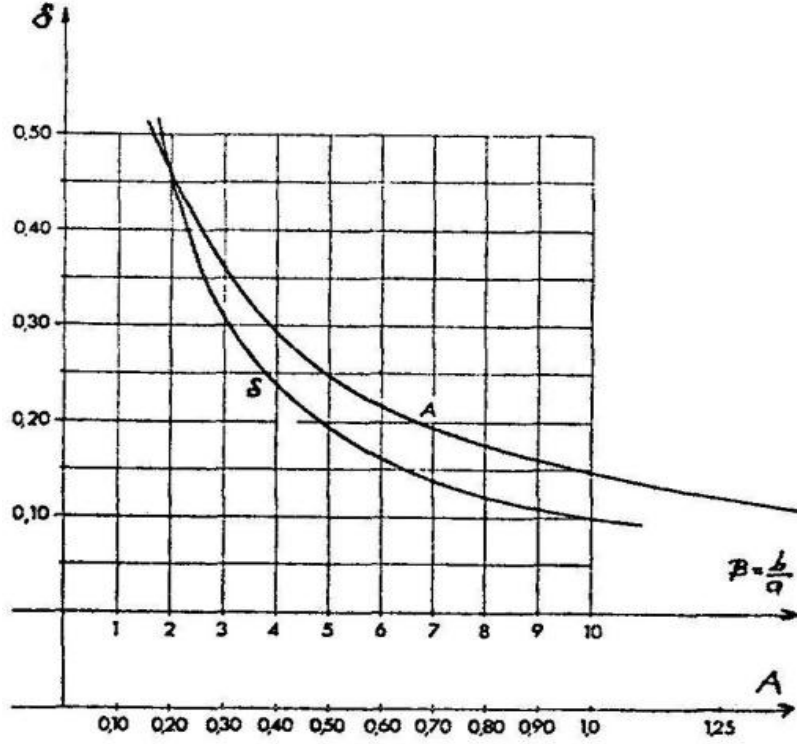
Şekil 2.18: β 'ya bağlı δ ve A değerleri (Housner, 1963).

2.Durum: Üç kenar basit mesnet $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$. Genel denklem aşağıdaki şekli alır.

$$3\beta^2\delta^3 - 4\beta^2\delta^2 - 4\delta + 4 = 0 \quad (2.8'')$$

$$m = \frac{(1-\delta)\gamma H^3}{6\delta} = A\gamma H^3 \quad (2.9'')$$

Burada δ , (2.8'') veya Şekil 2.19 yardımıyla hesaplanır.



Şekil 2.19: β 'ya bağlı δ ve A değerleri (Housner, 1963).

Birinci durumda (üç kenar ankastre, bir kenar serbest) $\beta = \frac{b}{a} = 3$ için plakta oluşan plastik ve elastik momentler aşağıda karşılaştırılmaktadır. Şekil 2.18 'den negatif ve pozitif plastik moment katsayıları,

$$A = \frac{1-\delta}{6(1+\delta)} \quad \rightarrow \quad A = \frac{1-0,37}{6(1+0,37)} = \pm 0,076$$

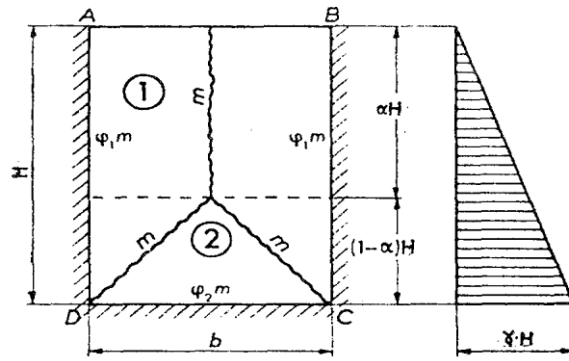
olarak elde edilir. Elastik momentler için bu katsayıların maksimum değerleri ise Tablo 2.2'den ;

- Düşey doğrultuda - 0,126 ve + 0,010
- Yatay doğrultuda - 0,082 ve + 0,025

olarak alınır. Deponun diğer kesitlerindeki momentler benzer şekilde hesaplanabilirler. Bu sonuçların karşılaştırılması, her iki yöntemle elde edilen değerlerin çok farklı olduğunu göstermektedir.

Yukarıdaki formüller sadece kırılma çizgilerinin Şekil 2.16a' da gösterilen biçimde olması halinde geçerlidir. Bir başka deyişle (2.8) denkleminde $\delta \leq 0,50$ olması hali için geçerlidir. Aksi takdirde ($\delta > 0,50$) kırılma Şekil 2.16b' de gösterilen biçimde oluşur. $\delta = 0,50$ için ise 1.durumda (üç kenar ankastre) $\beta = 2,12$; 2. durumunda (üç kenar basit mesnet) $\beta = 1,78$ olarak elde edilir.

$\beta > 0,50$ olması halinde meydana gelen kırılma çeşidi Şekil 2.20' de görülmektedir. Bu duruma ilişkin bağıntılar, ara işlemler gösterilmeden aşağıda verilmektedir.

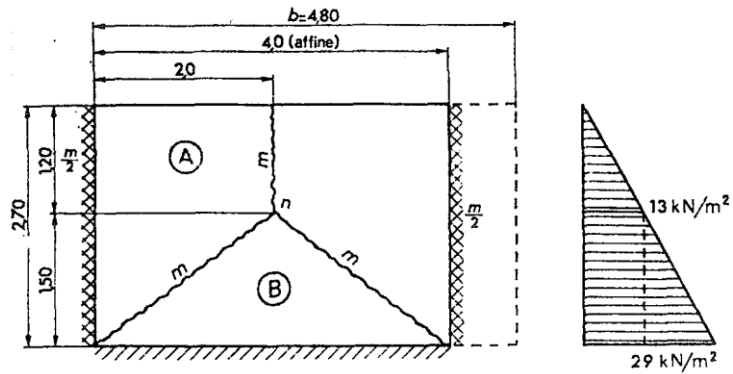


Şekil 2.20: $\delta > 0,50$ için kırılma çizgileri (Housner, 1963).

$$8(1 + \varphi_1)\alpha^3 - 8[(1 + \varphi_1) + 9\beta^2(1 + \varphi_2)]\alpha^2 - [8(1 + \varphi_1) + 2\beta^2(1 + \varphi_2)]\alpha + 8(1 + \varphi_1) - \beta^2(1 + \varphi_2) = 0 \quad (2.10)$$

$$m = \frac{(1-\alpha)^2(1+\alpha)\gamma H^3}{12(1+\varphi_2)} \quad (2.11)$$

Bu problemin çözümü ardışık yaklaşımla da mümkündür. Aşağıda bu yolla Steinmann'a göre bir örnek verilmiştir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21: Steinmann' a göre plastik hesap (Housner, 1963).

Dikdörtgen plağın kısa kenarı $a=2,70$ m, uzun kenarı $b=4,80$ m ve düşey kenarlar kısmen ankastre olup, üst kenar serbest, alt kenar ise basit mesnetlidir. Tabana $p=29$ kN/m² lik bir yük etkimektedir. Uzun kenara (b) paralel donatı, kısa kenara (a) paralel donatınının 1,5 katıdır.

İtibari b değeri olarak (afinite teorisine göre) ;

$$b' = b \sqrt{\frac{1}{1,5}} = 4,00 \text{ m bulunur. Düşey kenarlar üzerinde kısmi ankastrelik}$$

momenti $m/2$ değerindedir.

Şekil 2.21' deki n noktasının konumu için A ve B parçalarının değeri hesaplanır.

A parçasının dengesinden :

A parçası üzerindeki dış yükler ;

$$P_A = 1/2 \cdot 2,7 \cdot 2,0 \cdot 29 - 1/2 \cdot 2 \cdot 1,50 \cdot 13 - 1/3 \cdot 16 \cdot 2 \cdot 1,50$$

$$P_A = 78,5 - 19,5 - 16 \quad \text{moment denklemi}$$

$$2,7 (1+0,5) m = 78,5 \cdot 1 - 19,5 \cdot 2/3 \cdot 2 - 16 \cdot 5/8 \cdot 2$$

$$4,05 m = 78,5 - 26 - 20 = 32,5$$

$$m = \frac{32,5}{4,05} = 8 \text{ kN m/m}$$

B parçasının dengesinden benzer şekilde ;

$$2,0 m = 19,5 \cdot 1/3 \cdot 1,5 + 16 \cdot 1/4 \cdot 1,5 = 9,75 + 6 = 15,75$$

$$m = \frac{15,75}{2} = 7,9 \text{ kN m/m}$$

A ve B parçalarının dengesinden hesaplanan m değerleri yaklaşık olarak birbirlerine eşit çıkmıştır. Bu nedenle hesabın başında seçilen n noktasının yeri doğru seçilmiştir. Aksi takdirde n ' nin yerini değiştirip, hesabı tekrar yapmak gerekirdi.

Bu durumda kırılma momenti ;

- Düşey doğrultuda = 8 kN m/m
- Yatay doğrultuda;
- Merkezde = 8 kN m/m

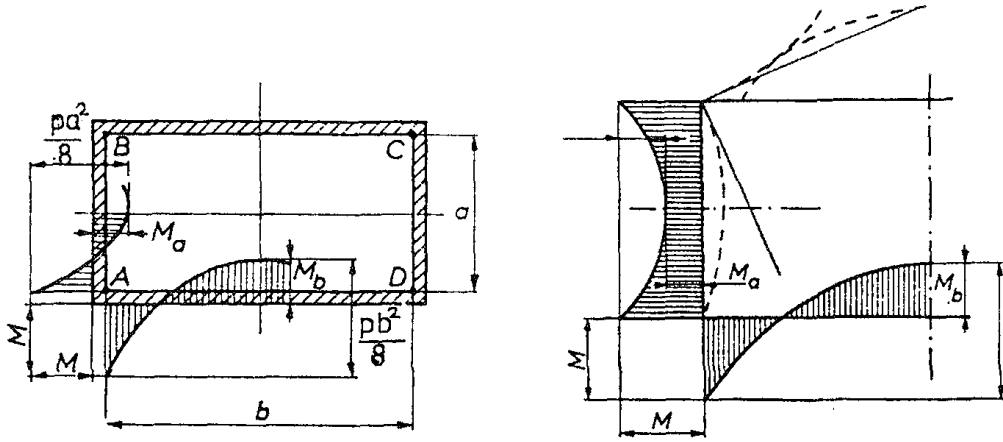
Kenarlar boyunca = $8 \cdot 1,5 = 12$ kN m/m olarak dikkate alınacaktır.

2.4 Çok Gözlu Betonarme Dikdörtgen Depolar

Dikdörtgen depoların özellikle elastik yöntemle, duvarın taban plağına ve muhtemelen tavan plağına kısmi ankastreliğini dikkate almadığından, kesin hesapları mümkün değildir. Tek gözlu depolar için zor olan bu problemin çok gözlu depolarda, özellikle de çok gözlu ve çok katlı depolarda, son derece karmaşık bir durum alacağı açıktır. Bu nedenle çok gözlu depoların hesabında, Madde 2.4 de irdelenen plastik hesap yönteminin kullanılması daha uygun olmaktadır.

Ayrıca, bu tür yapıların yapımında tecrübeli mühendisler, bitişik gözlerin doldurma ya da boşaltma imkanları ve kenar reaksiyonlarını yaklaşık olarak dikkate alan, hesap yöntemlerini de kullanmaktadır. Örneğin, 1960' da Amerikan şartnamesinin yayınlandığı böyle bir yöntem verilmiştir.

Bununla beraber, plastik hesap mesnet koşullarını daha doğru bir şekilde dikkate alarak daha kesin bir hesabın yapılmasına imkan vermektedir. Mesnet koşulları daha önce de belirtildiği gibi bir ϕ katsayısıyla hesaba katılmaktadır.



Şekil 2.22: Dikdörtgen depo kesiti ve moment diyagramı (Güngör, 1976)

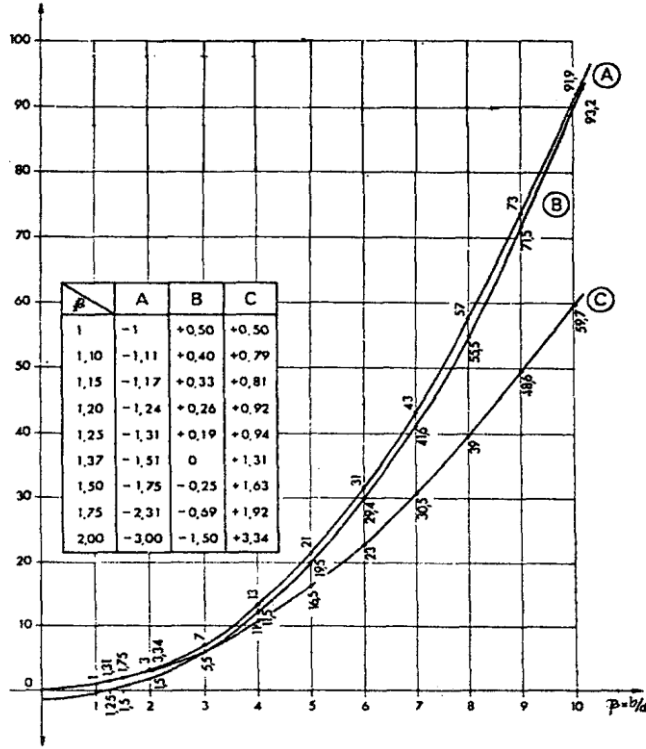
$\beta = b/a$ oranının göstermek üzere bu çerçevede meydana gelen momentler aşağıdaki değerleri alır.

$$A = \frac{1+\beta^3}{1+\beta} \text{ için, } M = \frac{Pa^2}{12} A$$

$$B = \frac{1+3\beta-2\beta^3}{2(1+\beta)} \text{ için, } M_a = \frac{Pa^2}{12} B$$

$$C = \frac{-2+3\beta^2+\beta^3}{2(1+\beta)} \text{ için, } M_b = \frac{Pa^2}{12} C$$

Buradaki A, B ve C katsayıları β' ya bağlı değerler olup Şekil 2.23' den alınabilir.

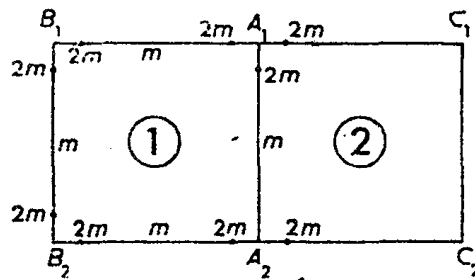


Şekil 2.23: β' ya bağlı A, B ve C katsayıları (Güngör, 1976)

2.4.1 İki Gözlü Betonarme Kare Depolar ($a = b$)

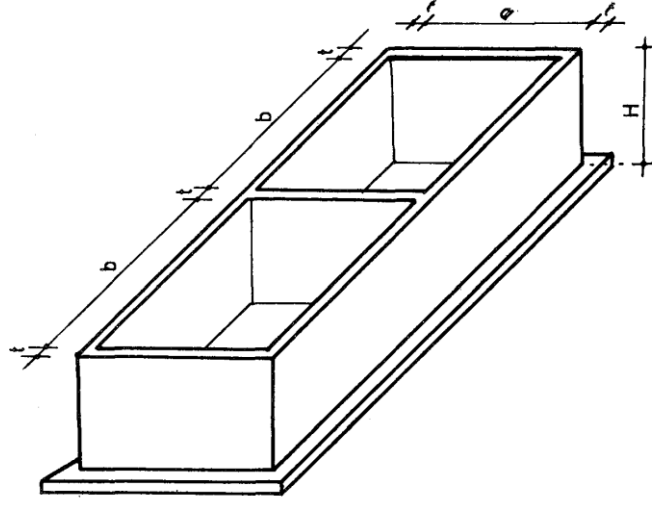
Kenarları birbirine tam ankastre olan kare gözlerin köşelerindeki momentler, maksimum açıklık momentinin iki katı değer almaktadır (Şekil 2.24).

Yukarıda da belirtildiği gibi bu durumun oluşması için köşelerin tam ankastre olması gerekmektedir. Bu sonuçlar grup halindeki kare gözlerin sayısı ve doluluk ihtimalleri ne olursa olsun değişmez (Güngör, 1976).



Şekil 2.24: İki gözlü betonarme kare depo (Güngör, 1976)

2.4.2 Kısa Kenarlarından Biri Ortak İki Gözlü Betonarme Dikdörtgen Depolar ($b/a > 1,37$, Şekil 2.25)



Şekil 2.25: Kısa kenarlarından biri ortak iki gözlü dikdörtgen depo (Güngör, 1976)

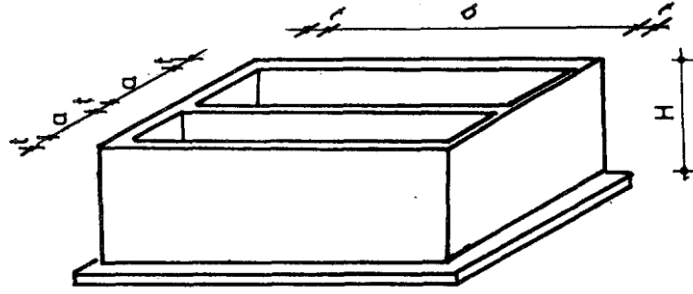
Tek gözlü depolarda köşe momentleri (-m), büyük kenar doğrultusunda maksimum açıklık momentine (m) eşittir. Küçük kenar doğrultusundaki maksimum açıklık momenti ise $-m (0,61\beta - 0,83)$ değerini alır. Buradan iki gözlü depolara geçilirse plastik hesap için 1 dolu durumda 2 boş durumunda B_1 ve B_2 köşelerinin şartları değişmektedir. Aksine A_1C_1 ' in varlığı B_1A_1 ' in A_1 ' deki dönmesini kösteklemeye çalışmaktadır. Bu sebeple A_1B_1 yüzeyinin A_1 kesitindeki moment B_1 kesitindeki momentten daha büyük olan,

$\varphi_i m'$ (burada $1 < \varphi_i < 2$) değerini alır.

β değeri büyüdükçe φ_i 1,00 değerine yaklaşır. Örneğin kaynak (Guerrin 1968)' de β ' nın 1,37 değerinden 3,00 değerine çıkması φ_i değerinin 1,60' dan 1,20' ye düşmesine sebep olur.

A_1 ' deki değişikliğin A_1C_1 ' den ileri geldiği kabul edilmesi (bu kabul tam doğru olmamakla beraber) pratik için yeterli sonuç vermektedir. A_1A_2 yüzeyindeki momentlerin B_1B_2 yüzeyindeki momentlere eşit olduğu kabul edilebilir. Ancak, her iki gözün aynı anda dolu olması halini de dikkate almak gerekmektedir. Bu durumda A_1A_2 bölme duvarı hiçbir rol oynamadığından A_1 kesitindeki ankastrelik tam olur (Johansen, 1962).

2.4.3 Uzun Duvarlarından Biri Ortak İki Gözlü Betonarme Dikdörtgen Depolar ($b/a > 1,37$, Şekil 2.26)



Şekil 2.26: Uzun kenarlarından biri ortak iki gözlü dikdörtgen depo (Güngör, 1976)

Bu tip depolarda bir gözün dolu olması halinde A_1 ve B_1 ' de birim momentler $-\varphi_i$ m (burada $1,10 < \varphi_i < 1,20$), B_2 ve A_2 ' de ise $-\varphi_i'$ m (burada $1,30 < \varphi_i' < 1,50$) olarak hesaplanır. A_1A_2 ve B_1B_2 duvar kesitlerinin ortasındaki momentler için, yukarıdaki hesap yolu izlenebileceği gibi, m' aranan moment olmak üzere ;

$$m' = \frac{pa^2}{8} - \frac{m(\varphi_i + \varphi_i')}{2}$$

bağıntısıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir.

Her iki gözünde dolu olması halinde sistem hem geometrik olarak hem de yükleme yönünden simetriktir. Bu durumda daha önce verilen hesap tarzına benzer şekilde çözüm yapılabileceği gibi, Kleinlogel' in bir gözlü, gergili depoya uyguladığı aşağıdaki elastik çözümde uygulanabilir.

$$k = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{b}{a} \quad \text{olmak üzere, AC gergisindeki normal kuvvet, E, A ve B}$$

kesitlerindeki eğilme momentleri sırasıyla aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir.

$$N_{AC} = \frac{q}{2a} \frac{2a^2 + (5a^2 - b^2)k}{2k + 1}$$

$$M_E = -\frac{q}{12} \frac{a^2 + 2b^2k}{2k + 1}$$

$$M_A = M_C = -\frac{q}{12} \frac{a^2 + (3a^2 - b^2)k}{2k + 1}$$

$$M_B = M_D = \frac{qb^2}{8} - M_E$$

2.4.4 Üç Gözlü Betonarme Dikdörtgen Depolar

Üç gözünde dolu olması halinde, k iki gözlü depolarda olduğu gibi alınırsa, Kleinlogel metodu kullanılarak orta gergilerde ki normal kuvvet, E, A ve B kesitlerindeki eğilme momentleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir.

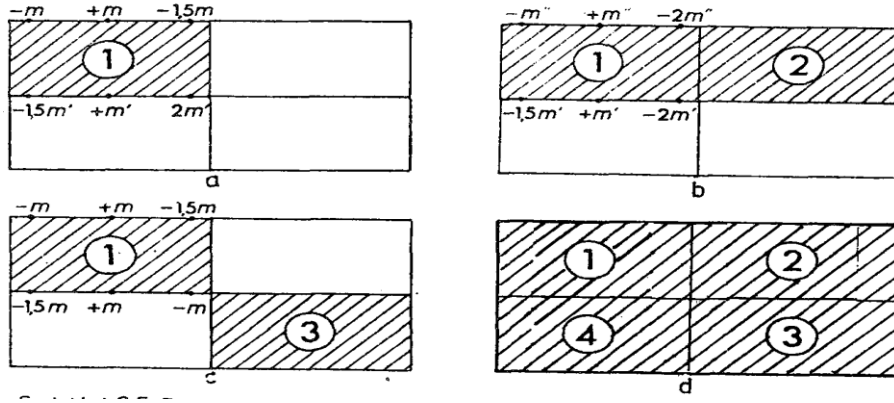
$$\begin{aligned}N_{AC} &= \frac{q}{2a} \frac{6a^2 + (11a^2 - b^2)k}{5k + 3} \\M_E &= -\frac{q}{12} \frac{3a^2 + 5b^2 - k}{5k + 3} \\M_A = M_C &= -\frac{q}{12} \frac{3a^2 + (6a^2 - b^2)k}{5k + 3} \\M_B = M_D &= \frac{q b^2}{8} - M_E\end{aligned}$$

2.4.5 Dört Gözlü Betonarme Dikdörtgen Depolar

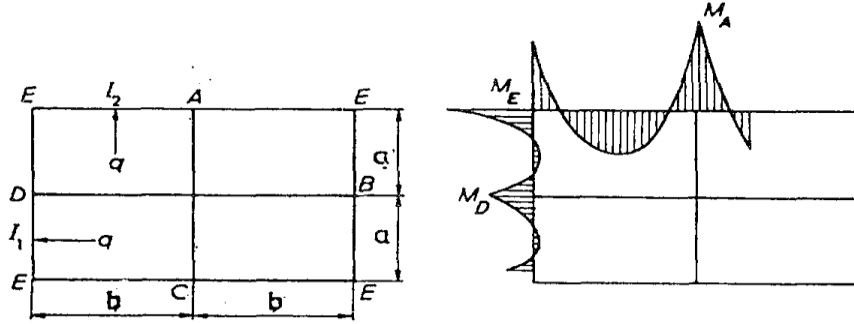
Sadece (1) gözünün dolu olması halinde Şekil 2.27a' da büyük duvarlarda meydana gelen momentler verilmektedir. (1) ve (2) gözlerinin dolu olması halinde uzun duvarlarda meydana gelen momentler Şekil 2.27b' de (1) ve (3) gözlerinin dolu olması halinde uzun duvarlarda oluşan momentler ise Şekil 2.27c' de verilmektedir. Dört gözün de dolu olması halinde (Şekil 2.27d) hesabı yine Kleinlogel yöntemiyle yapmak mümkündür.

Bu yöntemle göre; bölme duvarlarındaki (gergilerdeki) normal kuvvetler ve E',A,B kesitlerindeki eğilme momentleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir (Şekil 2.28).

$$\begin{aligned}N_{AC} &= \frac{q}{4a} \frac{a(4a + 5b) - b^2}{k + 1} \\N_{DB} &= \frac{q}{4b} \frac{5b^2 - a^2 + 4b^2k}{k + 1} \\M_E &= -\frac{q}{12} \frac{a^2 + b^2k}{k + 1} \\M_A = M_C &= -\frac{q}{24} \frac{a(2a + 3b) - b^2k}{k + 1} \\M_B = M_D &= -\frac{q}{24} \frac{3b^2 - a^2 + 2b^2k}{k + 1}\end{aligned}$$



Şekil 2.27: Dört gözlü dikdörtgen depoda doldurma çeşitleri (Güngör, 1976)



Şekil 2.28: Dört gözlü dolu dikdörtgen depo ve moment diyagramı (Güngör, 1976)

2.5 Betonarme Dikdörtgen Depo Duvarlarının İstinat Duvarı Olarak Hesabı

Depolanacak sıvının fazla olması durumunda, deponun duvar hesaplarını daha önce anlatılan yöntemlerle (Madde 2.2, 2.3, 2.4) yapmaktansa; istinat duvarı şeklinde hesaplamak daha uygun olabilir. Bu sebeple, tarımsal ya da enerji üretimi amaçlı depo yapımında, genellikle depo duvarının istinat duvarı şeklinde hesaplanması tercih edilmektedir. Çok büyük olan bu depolar ile yalnızca bir veya iki kenarına duvar yapılmış diğer kenarları doğal olarak sağlanmış olanları rezervuar olarak da tanımlamak mümkündür. Aşağıda bu konuda genel bilgiler verilmektedir. Daha ayrıntılı bilgi için bu konudaki kaynaklara başvurmak gerekir (Özden vd., 1967).

2.5.1 Konsol Plak Duvarlı Betonarme Depolar

Konsol plak duvarların en yaygın olarak kullanılan çeşitleri Şekil 2.29' da gösterilmiştir. Bunlar, dengeleri büyük ölçüde topuk kısmının üstünde kalan sıvının

ağırlığına bağlı olduğundan yalnızca kuru veya iyi drene edilmiş zeminler üstüne yapılabilirler.

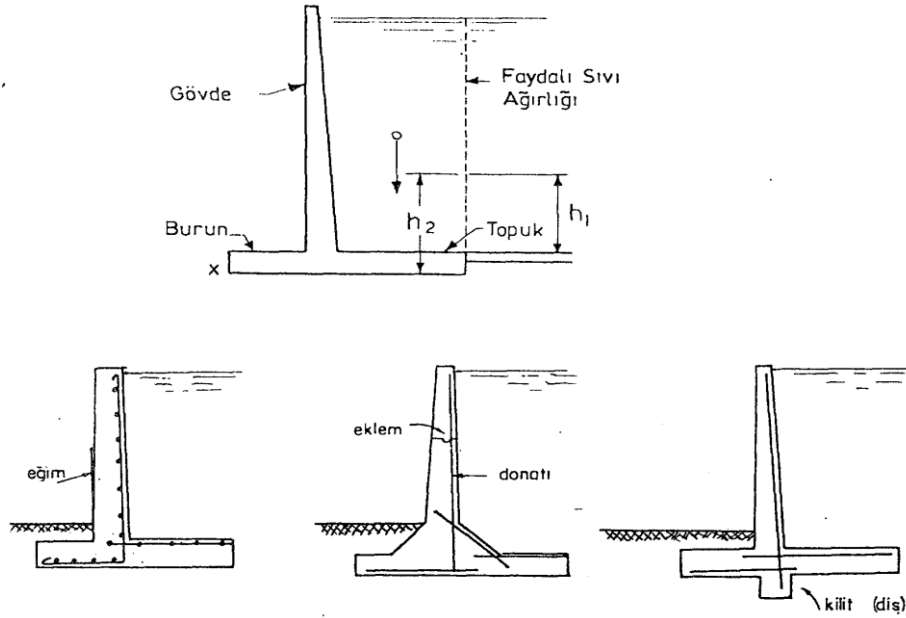
Aksi takdirde, temel tabanında sıvı sızıntıları meydana gelebileceğinden bu olay deponun yıkımına bile sebep olabilir.

- Konsol plak teorik oranları

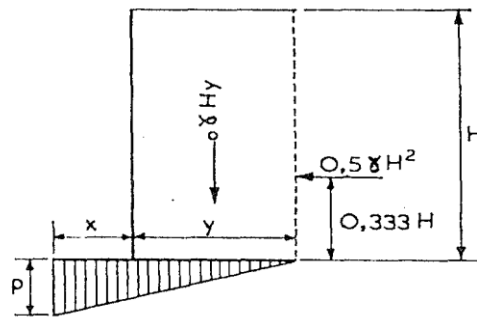
Pratikte depo duvar elemanların kalınlıkları ve ağırlıkları olmasına rağmen, ön boyutlandırma için bunlar başlangıçta Şekil 2.30' de gösterildiği gibi kalınlıksız ve ağırlıksız olarak kabul edilmektedir (Güngör, 1976).

Şekil 2.30' de dikkate alınan duvarın aşağıda verilen şartları sağlaması gerekir:

- 1) Duvarın devrilmeye karşı emniyet katsayısı en az 2 olmalıdır .

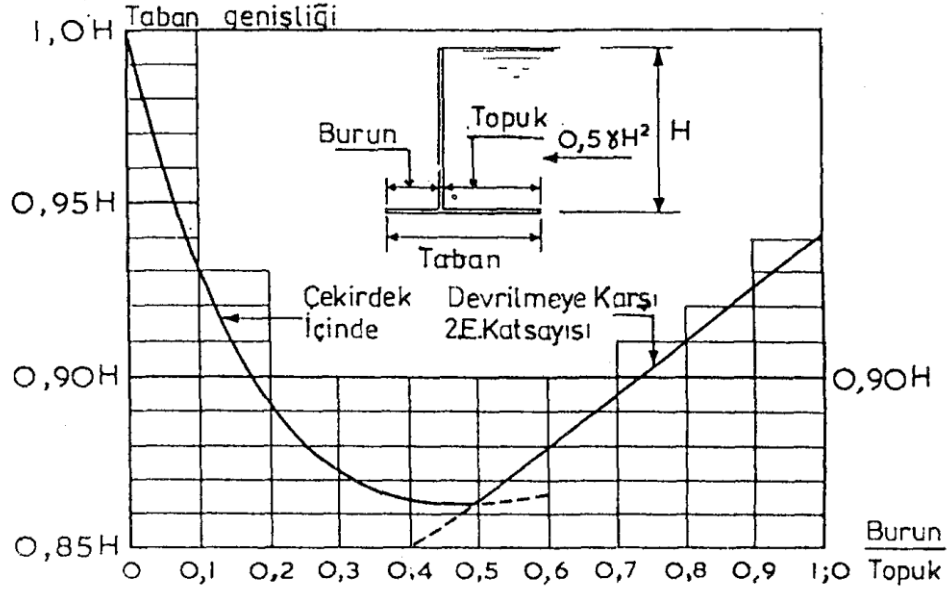


Şekil 2.29: Konsol plak duvarlar ve asal donatılarının yerleştirilmesi (Özden vd., 1967)



Şekil 2.30: İdealleştirilmiş konsol plak duvar (Özden vd., 1967)

2) Duvara etkiyen düşey ve yatay kuvvetlerin bileşkesinin tatbik noktasının çekirdek içinde kalması için duvar boyutlarının Şekil 2.31' deki sınır değerleri sağlaması gerekir.



Şekil 2.31: Konsol plak duvarların boyutlandırılmasında sınır değerler (Özden vd., 1967)

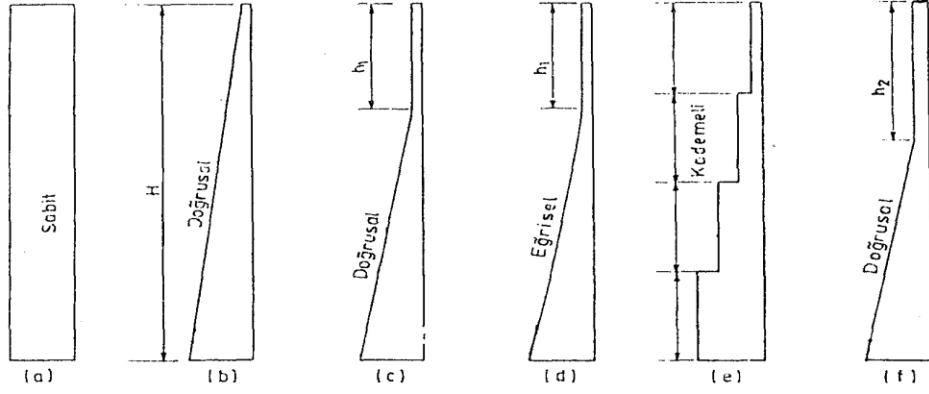
Şekil 2.31' de de görüldüğü gibi, burun genişliğinin, topuk genişliğinin yarısı olması halinde minimum taban genişliğinin $0,863H$ olarak seçilmesi uygun olmaktadır.

Gövdenin tabanla birleştiği bölgede üç konsol momenti (gövde, burun ve topuk) dengelenmek zorundadır.

Şekil 2.31' den alınan değerler genellikle ilk adımda en iyi çözümü vermemesine rağmen ön boyutlandırma için fikir vermektedir. γ' nin bütün değerleri için Şekil 2.31 kullanılabilir. Devirici moment hesaplanırken Şekil 2.29' daki X noktası dikkate alınır, bileşke sıvı itkisi temel tabanından h_2 kadar yukardan etkimektedir. Burada $h_2=0,33H+\text{taban kalınlığı}$ olmaktadır. Ancak pratikte H değeri; $H + \text{taban kalınlığına}$ çok yakın olduğundan H olarak sıvı derinliği alınmaktadır.

- Gövde duvar kalınlığı

Duvar kalınlığı, Şekil 2.32' de gösterilen a, b, c, d, e ve f durumlarından biri dikkate alınarak belirlenebilir. Bu duvar tiplerinden birinin yapımına karar verilirken beton ve çelik maliyeti ile kalıp işçiliği göz önünde tutulmalıdır.



Şekil 2.32: Ekonomik konsol plak gövde şeklinin seçimi (Özden vd., 1967)

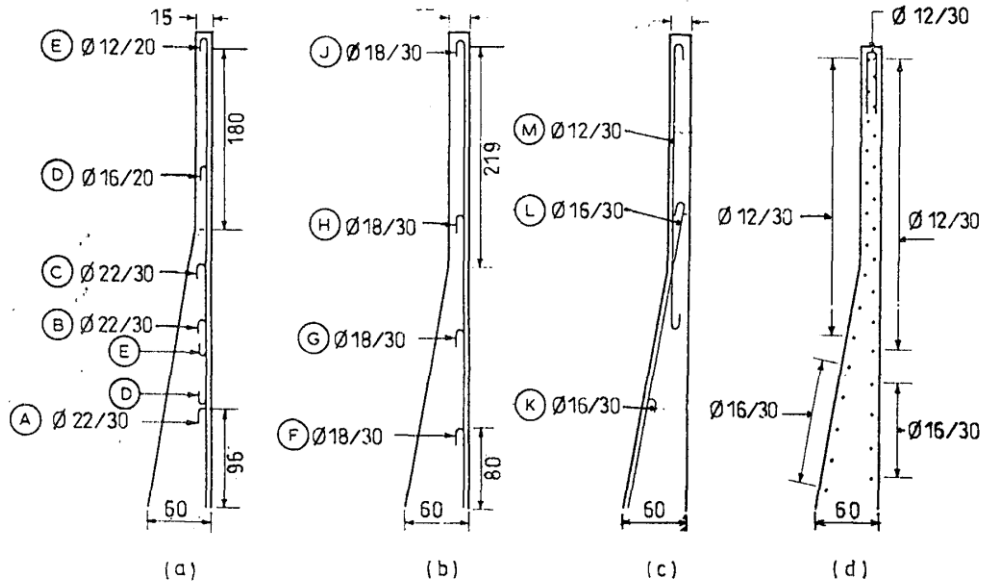
Deponun yapımına, konsol plak duvar olarak karar verilmişse genellikle donatının fazlasını sıvı yüzüne koymak gerekmektedir. Bir fikir vermesi açısından, gövde plağının minimum kalınlıkta yapılması halinde, çekme donatısının %70' inin sıvıya yakın yüze yerleştirilmesi uygun olabilir. Şekil 2.33' de 4,5 m yüksekliğinde konsol plak duvar için hesaplanmış donatı detayı bir örnek olarak verilmektedir.

Pratikte, duvar tabanından tepesine kadar oluşan, düşey çatlaklar özellikle duvarın üst kısımlarında tehlikeli olmaktadır. Bu nedenle duvarın üst kısmına; alt kısmına göre daha fazla yatay donatı yerleştirilir (Şekil 2.33 d).

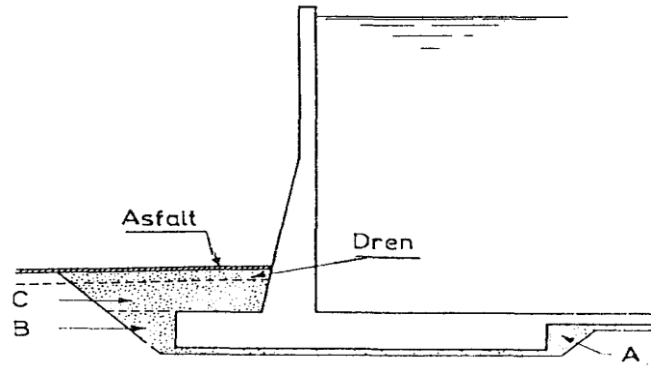
- Konsol plak duvarların dengesinin korunması

Konsol plak duvarların dengesinden emin olmak için, sıvının temel altından sızmasını önlemek gerekir (Şekil 2.34).

Konsol plak temel kenarları keskin olarak yapılmışsa, Şekil 2.34' de gösterilen A ve B alanlarının iyi yapılmış kütle betonla doldurulması gerekir. C alanı da iyi bir şekilde doldurulmalı ve yapılan drenler yağmur sularının uzaklaştırılmasını sağlamalıdır.



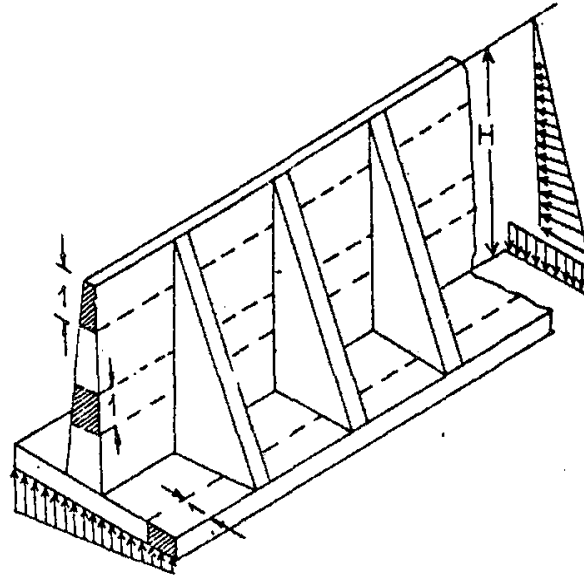
Şekil 2.33: 4,5 m yüksekliğinde konsol plak donatı detayı (Özden vd., 1967)



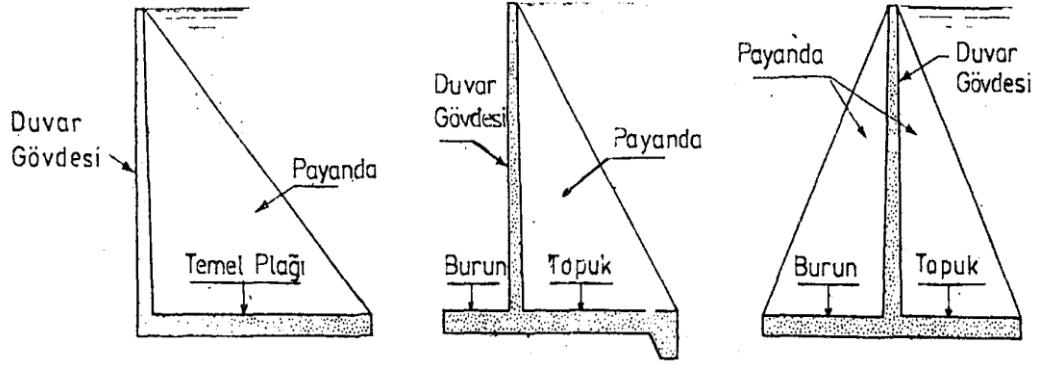
Şekil 2.34: Konsol plak duvar drenaj sistemi (Özden vd., 1967)

2.5.2 Payandalı Konsol Plak Duvarlı Betonarme Depolar

Yapılacak deponun çok yüksek olması durumunda payandalı konsol plak duvarların yapılması zorunlu olmaktadır. Bu duvarlar özellikle baraj rezervuarlarının yapımında kullanılmaktadır. Payandaların yapılmasıyla duvar hesabında büyük zorluklar çıkmaktadır. Çünkü bunları bağımsız parçalara ayırarak hesabını yapmak oldukça yaklaşık olmakta, dolayısıyla da çözüm gerçeklikten uzaklaşmaktadır. Bu konuda daha geniş bilgi için istinat duvarlarının irdelendiği zemin mekaniği ve betonarme kitaplara başvurmak gerekmektedir. (Özden, Eren, Trupia ve Öztürk, 1988). Payandalı konsol plak duvarlara ilişkin bazı örnekler Şekil 2.35’ de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.35: Payandalı konsol duvar yük etkileri genel görünüşü ve çeşitleri

- a) Payandalı duvarda yük etkileri genel görünüşü (sıvı payandalı tarafta)
- b) Payandalı konsol duvar çeşitleri (Özden vd., 1967).

Bu duvarlarda donatı yerleştirilmesi gövde plağında kolay; ancak payandalarda oldukça güç olmaktadır. Çünkü yatay ve düşey donatı aralıkları genellikle sık olmakta ve bu durumda eğimli payandalara büyük çaplı donatıların yerleştirilmesi güçlük meydana getirmektedir.

2.6 Dikdörtgen Kesitli Monolitik ve Prefabrike Betonarme Depolarda Konstrüksiyon

Genel olarak dikdörtgen kesitli depoların inşası dairesel kesitli depolara göre daha kolaydır. Kesit alanı fazladır. Kalıp teşkili basittir. Bilhassa zemine gömülü depolarda depo yüksekliğinin 8m den fazla olması uygun değildir.

Depo elemanları arasındaki birleşimler mafsallı, rijit veya derzle ayrılmış olarak teşkil edilebilir.

Açık depolarda duvarların üst kenarları serbest (mesnetsiz) veya bir yatay çerçeve ile mesnetlendirilmiş olabilir. Eğilme momentini azaltmak amacıyla büyük yapılarda durum elverirse çekme bağlantısı yapılabilir.

Zemin üstü depolarında rijit bağlantı öngörülmesine karşın gömme dolaplarda mafsallı bağlantılar veya derzler kullanılır.

Depo elemanlarının dış etkilere karşı korunması zemin su durumuna ve depo edilecek malzemenin cinsine bağlıdır. Zemin içinde teşkil edilen depolar tüm zemin sularına ve sel sularına karşı korunmalıdır. Diğer depolar gibi dikdörtgen kesitli depolarda da geçirimsizlik probleminin gerektirdiği özen gösterilmelidir.

2.6.1 Betonarme Dikdörtgen Depolarda Tavan Konstrüksiyonu

Tavanın depo duvarları ile bağlantısı monolitik, mafsallı ve nadiren kayıcı mafsallı olabilir. Belirli bir basınçta tutulması gereken yanıcı sıvıların toplandığı depolar hariç bu birleşim bölgesi genellikle mutlak bir tecridi gerektirmez.

Depoyu ve içindeki sıvıyı aşırı soğuma ve ısınmalara karşı korumak amacıyla basit bir izolasyon düşünülür. Gömme depolarda tavanın üstünde 1 metreye kadar curuf veya toprak tabakası kullanılabilir. Yükü azaltmak amacıyla hafif bir izolasyon tabakası teşkil edilebilir. Bilhassa büyük depolarda bu tip izolasyon teşkilinde deponun doldurma ve boşaltma sıklığı ile ısı değişimleri göz önüne alınmalıdır. Seçilen izolasyon, döşeme sisteminin seçimine ve döşeme maliyetine etkilidir. Etkileyen yüke göre düzlem plak, prefabrike kabuk veya ızgara üzerine yerleştirilmiş hafif beton plaklar kullanılabilir. Kuvvetli ısı izolasyonunun gerektirdiği durumlarda tavan konstrüksiyonu olarak bir veya iki doğrultuda nervürlü döşeme, mantar döşeme, monolitik veya prefabrike olarak teşkil edilmiş kırıklı

döşeme kullanılır.

Depo inşaatında prefabrik kısımlar genellikle döşemelerde kullanılır. Ayrıca depo içinde veya dışında teşkil edilen kolonlar da prefabrik yapılabilir. Depo üstüne gelen suların daha iyi aktarılması için tavan genellikle % 0,5-1,0 eğimli teşkil edilir. Tavanın üst yüzü çimento şerbeti ile sıvanır ve uygun bir izolasyon örtüsü kaplanır.

Deponun havalandırılması amacıyla su yüzeyinin üstünde döşeme havalandırıcılar tesis edilir. Havalandırma teşkili sadece teknolojik açıdan değil aynı zamanda su seviyesinin değişmesi durumunda üniform bir hava basıncı temini için de gereklidir. Hücre şeklindeki döşeme elemanlarında bazı durumlarda her bir hücrede ayrı havalandırma gerekebilir. Uçucu sıvıların korunduğu depolarda depo üst kısmındaki hava ile temas eden sıvının buharlaşmasına neden olduğu için havalandırma kullanılmaz.

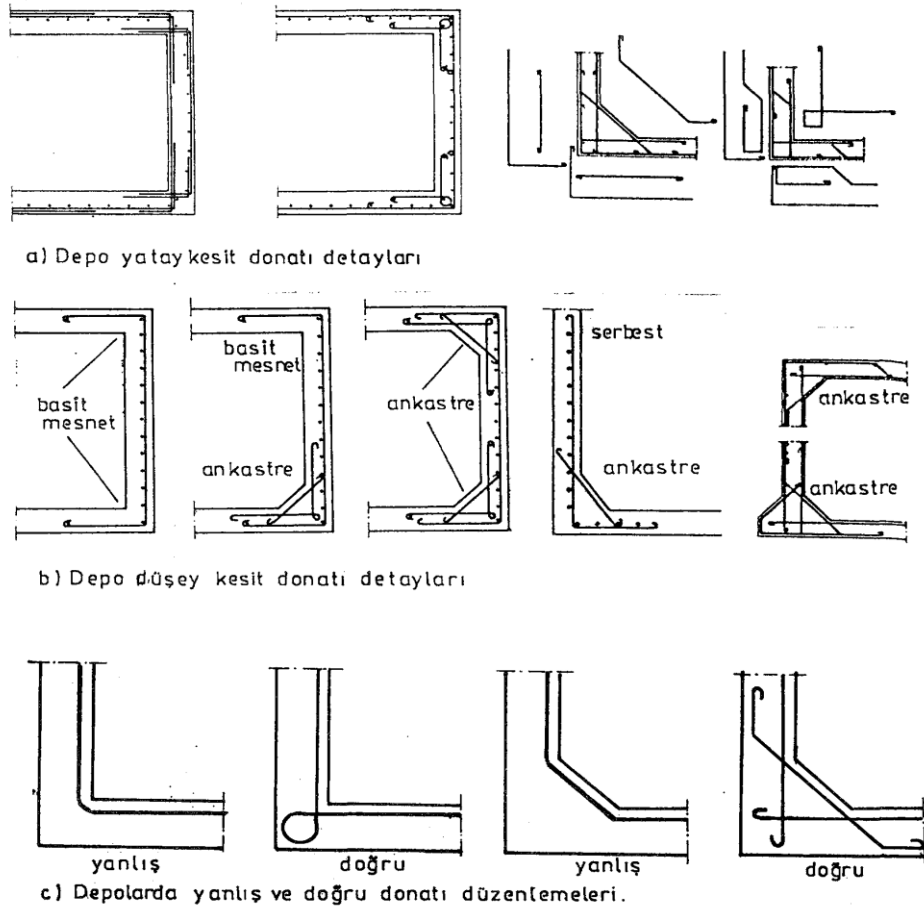
2.6.2 Betonarme Dikdörtgen Depolarda Yan Duvar Konstrüksiyonu

Yan duvarlar düşey ve yatay kirişlerle bir ya da iki doğrultuda çalışan sürekli plak şeklinde yapılabilirler. Plaklar yatay doğrultuda dış merkez çekme kuvvetine, düşey doğrultuda ise dış merkez basınç kuvvetine göre hesaplanıp donatılmalıdır. Bir doğrultuda ortaya çıkan gerilmelerin diğer doğrultudaki gerilmelerin hesabında dikkate alınmasına gerek yoktur.

Duvar kalınlıkları en basit olarak sabit seçilir. Yüksekliğin fazla olması durumunda değişken kalınlıklı duvar kullanılabilir. Genellikle iç yüz düşey olarak yapılıp, dış yüze 1/15-1/20 arasında eğim verilir. En küçük duvar kalınlığının geçirimsizliği temin etmek için, 10 cm den az olmaması uygun olmaktadır. İnce duvarlara genellikle bir kat donatı yerleştirilir. Kalınlık arttıkça ya da donatı tek sıraya sığmıyorsa, her iki yüze de donatı koymak gerekebilir. İki kat donatı kullanmak çatlama riskini azaltacağı için geçirimsizlik açısından da uygundur. Ayrıca gömme depolarda, dışarıdan dolgu malzemesi basıncı olacağından, ortaya çıkan eğilme momentlerini karşılamak için iki yüze de donatı koymak gerekli olabilir. Dıştan dolgu basıncına maruz kalmayan duvarlar iç sıvı basıncına göre donatılır (Güngör, 1976). Deponun değişik kesitlerinde bu basınca göre yerleştirilmiş donatı detayları Sekil 2.36' da gösterilmektedir.

Yüksekliği az olan depolarda, depo duvarı ister alttan ankastre ister alttan ve üstten basit momentli olsun, duvarlara sadece düşey doğrultuda asal donatı, yatay doğrultuda ise dağıtma donatısı yerleştirilir.

Prefabrik elemanların duvar olarak kullanılması oldukça kısıtlıdır. Birleşim bölgelerinde kullanılan donatı elemanlar arasında çekme kuvvetini taşır. Çelik kısımlarının birleşimi kaynakla ya da bu amaç için yerleştirilmiş profil çelik elemanlarla yapılabilir. Arada kalan boşluklar ise çimento hamuru ile doldurulur (Şekil 2.37).

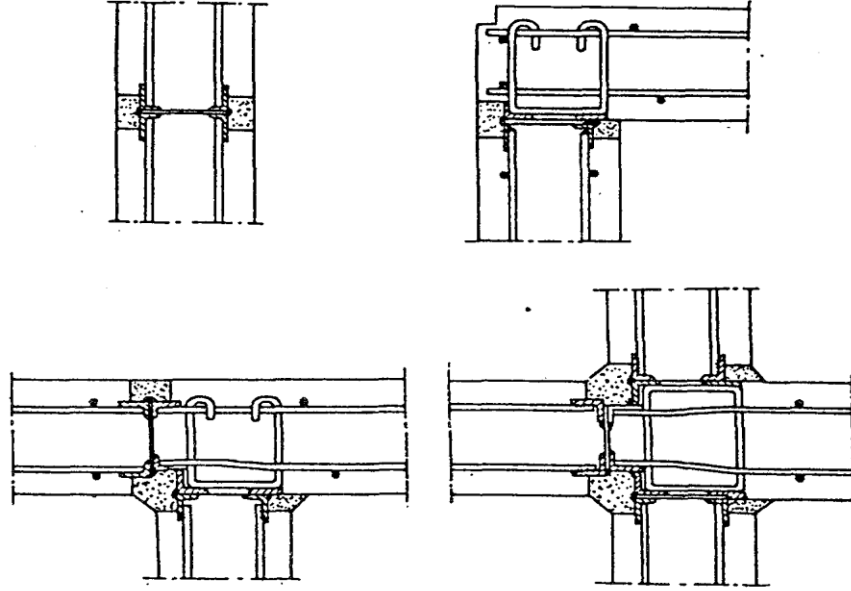


Şekil 2.36: Dikdörtgen depolarda donatı düzenlemesi (Güngör, 1976)

Plaklar arasında derzler özel çimento ile ya da normal beton kullanılması halinde vibrasyon ya da hava vermek suretiyle kapatılır. En iyi geçirimsizlik öngörülme uygulayarak sağlanır (Güngör, 1976).

Depoların geçirimsizlik ve hesap varsayımları açısından en önemli kısmı depo duvarıyla, taban plağının birleşim bölgesi olmaktadır. Bu birleşim monolitik, mafsallı ya da kayıcı mafsallı olabilir. Dolayısıyla da mesnet çeşidi olarak tam

ankastre, kısmen ankastre, basit mesnet ve kayıcı mesnet durumlarından biri dikkate alınarak hesabı yapılabilir. Tam ankastrelik temel zemininin çok sağlam olduğu ya da kalın taban plağında ve geniş temelde dikkate alınır. İnce ve dar taban plağında kısmen ankastrelik söz konusudur.



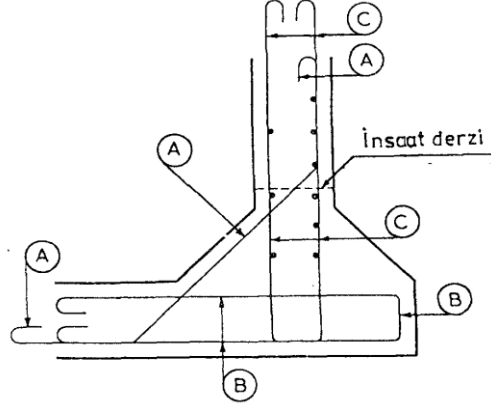
Şekil 2.37: Dikdörtgen depolarda prefabrik elemanların birleşimi (Güngör, 1976)

Duvar tabanlarında kayma derzi bulunması son zamanlarda uygulamaya konulmuştur. Eski depoların çoğunda kayma derzi bulunmamasına rağmen duvarlar tabandan bağımsız bir parça olarak dikkate alınıp hesapları yapılmıştır. Bunun yanında proje mühendisleri, çoğu kez içgüdüsel olarak duvarla temel arasındaki birleşimi takviye etmeye, sağlamlaştırmaya çalışmışlardır. Bunun için birleşim bölgesinin iç köşesine bazen de hem iç hem de dış köşesine eğim vermişlerdir (Şekil 2.38). Bu şekilde birleşim bölgelerine donatılar hesaplanmadan tecrübe yardımıyla yerleştirilmiştir.

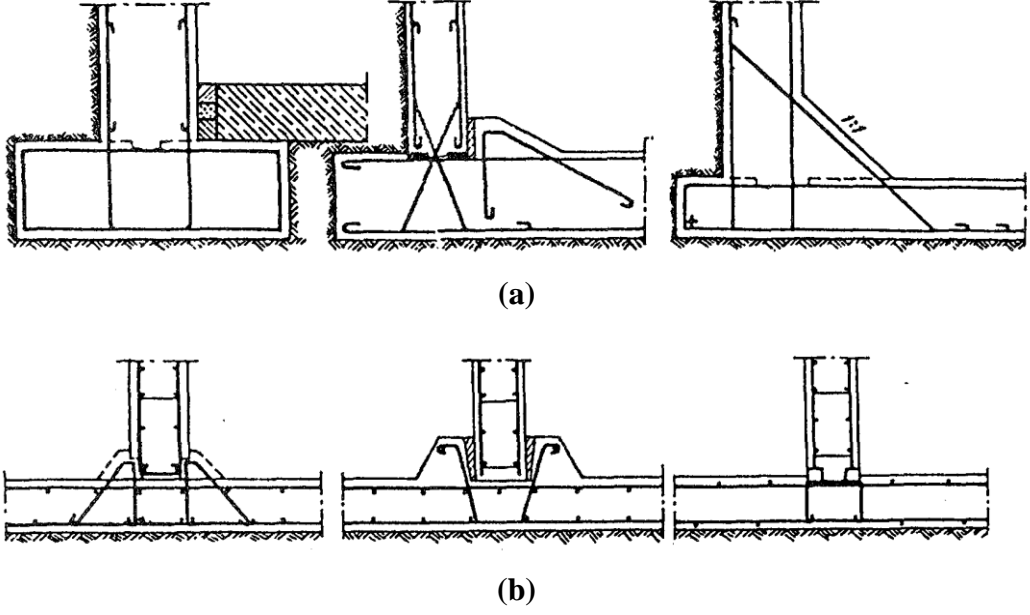
Bugün artık duvarla taban plağı arasında derz bulunmakta dolayısıyla da bu şekilde birleşim nadiren yapılmaktadır. Bu şekilde birleşim yapılacaksa ve taban plağıyla birlikte dökülecekse inşaat derzi Şekil 2.38’ de gösterilen konumda yapılmalıdır.

Şekil 2.39’ da yerinde dökme beton ve prefabrik elemanlarla yapılan depo taban ve duvar birleşim detayları verilmektedir.

Üniform olmayan oturmaların zararlı etkisini azaltmak amacıyla duvar tabanıyla, taban plağı derz vasıtasıyla birbirinden ayrılmalıdır.



Şekil 2.38: Depo taban duvar birleşim detayı (Güngör, 1976)



Şekil 2.39: Depo taban duvar birleşim bölgesi detayları (Güngör, 1976)

a) Yerde dökme (monolitik)

b) Prefabrik olarak

2.6.3 Betonarme Dikdörtgen Depolarda Taban Konstrüksiyonu

Depo taban konstrüksiyonu genellikle üzerine oturduğu zeminin özelliklerine bağlıdır.

Gömme ya da kısmen zemine gömülü depolarda yan duvarlar ile boş depoda dolgu zemini etkisinden dolayı taban plağı kenarlarında eğilme momentleri ortaya çıkar. Bu sakıncayı önlemek için Bölüm 3' de anlatıldığı gibi depo tabanının derzlerle (4mx4m) ~ (10mx10m) lik alanlara bölünerek dökülmesi uygundur. İnce taban plaklarında donatı tek katlı, kalın plaklarda ise her iki yüze yakın iki katlı olarak yerleştirilir. Ancak bu durumda da donatılar korozyona karşı korunmalıdır.

Prefabrik tabanlar ağırlığı genellikle 2,5 - 3,0 ton ve boyutları 3,0 m x 3,0 m olarak teşkil edilen prefabrik elemanlardan oluşur. Bu elemanlar asfalt ile sıkıştırılmış grobeton ya da çimento şerbeti akıtılmış kum tabakası üzerine konulur. Plakların birleşimi dışarıya uzatılan donatı çubukları yardımıyla yapılır.

Depo tabanlarına ilişkin daha ayrıntılı bilgi Bölüm 3' de verilmektedir.

3. BETONARME DİKDÖRTGEN DEPO TABANLARI

Depo tabanları, diğer normal betonarme yapı tabanlarına genel olarak benzemekle beraber, bunlarda geçirimsizlik önemli olduğundan bazı ilave konstrüktif önlemler almak gerekir. Alınan bu konstrüktif önlemler depo tabanının çatlamasına neden olacak zemin oturması, rötre ve sıcaklık etkilerinin azaltılmasını sağlamaktan ibarettir. Bu etkiler genel olarak depo tabanına yerleştirilen derzler yardımıyla karşılanmaktadır.

Zeminin çok yumuşak, çok değişken ya da umulandan daha kolay sıkışabilir olması durumunda moment ve kesme kuvveti etkisinde taban plağının ve yerleştirilecek derzin projelendirilmesini yapmak oldukça zor olmaktadır. Bu durumda mühendisler başarıyla uyguladıkları taban ve derz çeşitlerini tavsiye etmekte olup pratikte bunlar yapılmaktadır. Bu nedenle bu bölümde verilen depo taban ve derz örnekleri genellikle pratikte başarıyla uygulanmıştır (Lufsky, 1980).

Derz çeşitleri ve bunların depolarda uygulamaları Bölüm 4' de ayrıntılı olarak verildiğinden aşağıda sadece tabanlarda, zemin cinsine göre, uygulamaları üzerinde durulmaktadır.

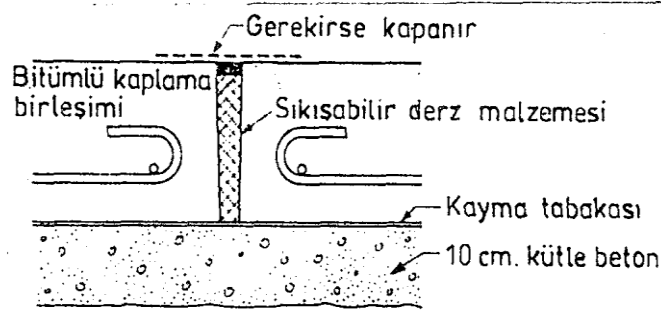
3.1 Sağlam Zemine Oturan Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanları

Bu tabanlar oldukça sert ve sağlam zemine (kaya zemin,vb.) oturduğundan, taban zemininde meydana gelen çökmeler küçük, gerilmeler ise üniform olmaktadır. Durum böyle olunca depo tabanlarında eğilme momenti meydana gelmez.

Bu zeminler üzerine oturan C25 betonundan yapılmış 12 cm lik bir plak 3 m, 20 cm lik bir plak ise 10 m su yüksekliğinde bir depo tabanı için yeterli olabilir.

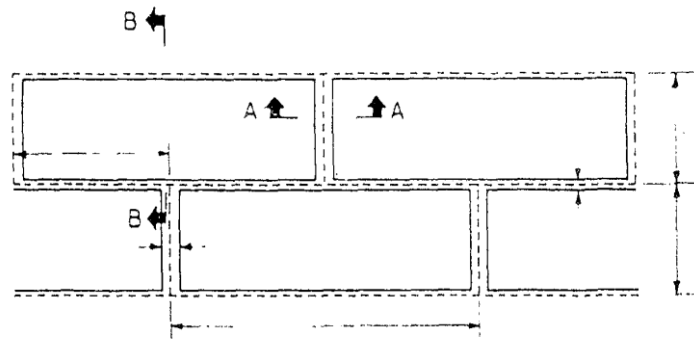
Yukarıda da belirtildiği gibi rötre ve sıcaklık etkileri depo tabanı için büyük önem arz etmektedir. Toplam rötrenin yaklaşık % 5-7' si beton dökümünün ilk haftasında, % 25' ide ilk ay içinde meydana gelmektedir. Depo tabanı, bu etkileri azaltabilmek için çapraz şekilde ya da santranç tahtasına benzer şekilde dökülür. Bu şekilde betonlama sayesinde soğutma rötresinin %50' si önlenebilir. Ancak, diğer

sertleşme rötresinin % 95' inin kontrol edilmesi oldukça zor olmaktadır. Bu rötre etkisini azaltabilmek için de değişik önlemler alınmaktadır. Bu amaçla taban plağı sürtünmesiz bir yüzey üzerine oturtularak her iki doğrultuda büzülüp genişmesine imkan verilir (Şekil 3.1). Kayıcılığı sağlamak için eskiden kayma tabakası olarak bitümlü malzemeler kullanılmaktaydı. Ancak, son zamanlarda genellikle sentetik polimerler kullanılmaktadır (Doğangün, 1989).



Şekil 3.1: Depo tabanının kayma tabakası üzerine oturtulması (Doğangün, 1989)

Taban kalınlığının fazla olması halinde Şekil 3.2' de gösterilen türde depo tabanı yapmak, rötre ve sıcaklık etkilerini karşılamak için uygun olmaktadır. Kullanılan derz malzemesi burada meydana gelebilecek tüm hareketleri almak zorundadır. Genişlemesi istenen derz malzemesi sıkıştırılmış durumda derze yerleştirilmeli ve alüminyum kağıdı gibi bazı ilave malzemelerle korunmalıdır (Doğangün, 1989).



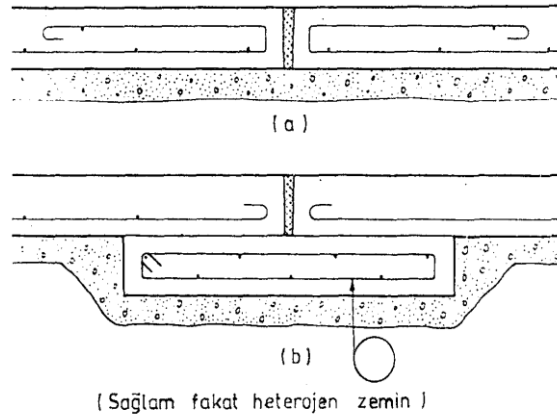
Şekil 3.2: Tabanın bölmelere ayrılması halinde derzlerin yerleştirilmesi (Doğangün, 1989)

3.2 Heterojen Zemine Oturan Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanları

Bazı zeminler birkaç metre içinde çakıldan, kile; iriden, inceye değişiklik göstermektedir. Bu zeminlerde oturuların küçük olması nadiren mümkün olmakla

beraber, gerilme yayılışının üniform olması imkansızdır. Bu durumda depo tabanlarında ihmal edilemeyecek büyüklükte eğilme momentleri meydana gelmektedir.

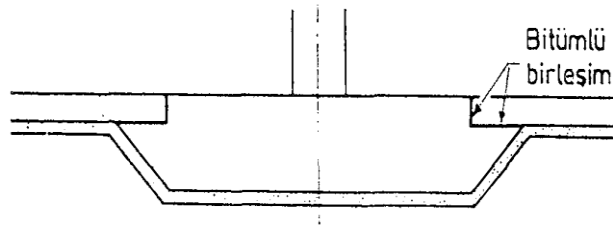
Taban plağında bulunan derzin altındaki zeminin sağlam olması halinde plak bu noktada konsol olarak dikkate alınabilir. Zemindeki değişikliğin ani ya da teoriden olması halleri için Şekil 3.3 a' da verilen taban detayı kullanılabilir. Zemin şartlarının bazı bölgelerde çok kötü olması halinde Şekil 3.3b' de gösterildiği gibi ilave plaklar koymak gerekebilir.



Şekil 3.3: Karışık zeminlerde tabanların birleşimi (Doğangün, 1989)

3.3 Sıkışabilir Zemine Oturan Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanları

Burada zemin sağlam ve üniform olmakla beraber, çökmelerin önemli olacağı düşüncesiyle zeminin sıkışabilirliğini dikkate almak gerekmektedir. Bu çeşit zeminlerde komşu bölmeler arasındaki düşey harekete, duvar tabanlarına ve eğer varsa, kolon temellerine dikkat etmek gerekir. Bu problem özellikle gömme depolarda tavan üstünde fazla toprak dolgunun bulunması halinde, önemli olmaktadır. Bu durumda detaylandırmayı Şekil 3.4' deki gibi yapmak gerekir.



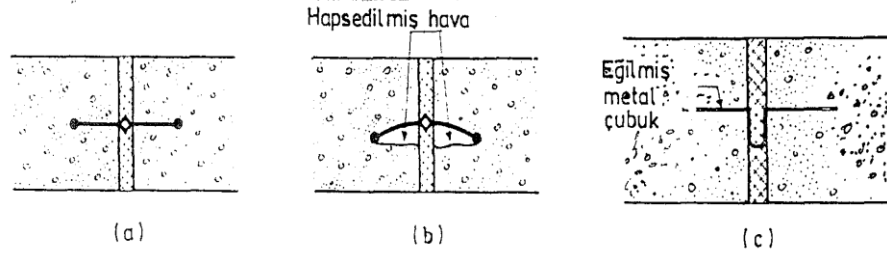
Şekil 3.4: Sıkışabilir zeminlerde tabanların birleşimi (Demir, 1988)

3.4 İki ve Üç Tabakalı Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanları

Yol yapımında taban plakları iki tabaka olarak dökülecekse, üst tabaka alt tabakadan hemen sonra dökülmek zorundadır. Bu şekilde yapılmasının amacı, etkilere karşı tek bir tabaka gibi davranmasını sağlamaktır. Ancak, depo tabanlarında durum bundan farklıdır. Çünkü, bazen alt ve üst tabakaların birbirinden bağımsız çalışması gerekli olabilir. Bu nedenle depo taban tabakalarının belirtilen zaman aralıklarında dökülmesi gerekir. Tabakalar birbirinden, bitümlü boya, cam lifi kumaş, sentetik polimer yaygı gibi malzemelerle ayrılarak, bağımsız çalıştırılabilir (Demir, 1988).

3.5 Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanlarında Derz Bandı Kullanımı

Derz bandını duvardaki derzlere yerleştirmek, tabandaki derzlere yerleştirmekten daha kolaydır. Şekil 3.5’ de pratikte uygulanmış eğilebilir sentetik derz bantları verilmektedir. (Demir, 1988).



Şekil 3.5: Derz bantlarının depo tabanlarında uygulanması (Demir, 1988)

İyi galvanize edilmiş çelik ya da bakır derz çubuğu eğilmeleri karşılamak için uygun olmayabilir. Bu durumda derz bantının kolları altında hapsedilmiş hava kalabilir. Ancak, özel işçilik ve alet kullanılarak, derz bantının kolları altında kalan havanın dışarı çıkması sağlanabilir. Şekil 3.5b’ de gösterilen bu durumdan kaçınmak için Şekil 3.5 c’ de gösterildiği gibi eğilmiş elemanlar kullanılmaktadır (Demir, 1988).

3.6 Betonarme Dikdörtgen Depolarda Geçirimsiz Taban Astar Kaplaması

Geçirimsizlik katkı maddeleri kullanılarak, ince kum ile bir beton karışımı yapılıp depo tabanına döşenebilir. Bu tür astar kaplama depo dolu olduğu sürece görevini tam olarak yapabilir. Ancak, deponun birkaç hafta boş kalması durumunda çatlayıp dökülebilir. Ayrıca, tabanda meydana gelebilecek eğilme gibi hareketlere karşı plastik davranış gösteremeyeceğinden derhal çatlayabilir.

Kaplama olarak bitümlü malzemeler de kullanılabilir. Ancak bunlar depolanın sıvıya zarar verebilir.

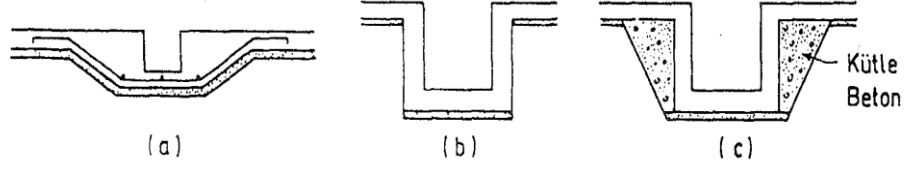
Hasır şeklinde kaynaklanmış ince donatıyla birlikte püskürtme harç kullanılarak oldukça sağlam bir takviye tabakası yapılabilir. Ancak, bu, oldukça pahalı bir çözüm olduğundan, genellikle hasar görmüş depoların takviyesinde kullanılmaktadır.

3.7 Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanlarında Drenaj Çukurları

Depo tabanlarının çoğu eğimli olarak yapılmaktadır. Taban eğimi tesviye betonu ile temin edilebilir. Büyük depolarda taban plağı % 1 eğimle, küçük depolarda % 2-3 eğimle yapılabilir.

Büyük depolarda taban içine yerleştirilen çıkış borusu bulunmaktadır. Bazı durumlarda bu boru ağzının drenaj çukuruna yerleştirilmesi gerekli olabilir. Drenaj çukurunun projelendirilmesinde dikkat edilecek en önemli husus tabanın en düşük seviyesine yapılmasıdır. Drenaj çukurunun mümkün olduğu kadar çabuk yapılması gerekir. Bu nedenle projesinde kullanılacak donatıların hafriyata başlanmadan önce hazırlanması gerekir. Aksi halde "depo yapımı sırasında yağacak bir yağmur depo tabanında birikerek, çevreden de gelen çamurlu sularla birlikte depoya zarar verebilir.

Küçük drenaj çukurları (yaklaşık 50 cm x50 cm x 40 cm) Şekil 3.6a' da gösterildiği gibi yapılabilirler. Çukur kazılır kazılmaz 10 cm' lik grobetonla kaplanmalıdır (Demir, 1988).



Şekil 3.6 : Depo tabanlarında drenaj çukurlarının uygulanması (Demir, 1988)

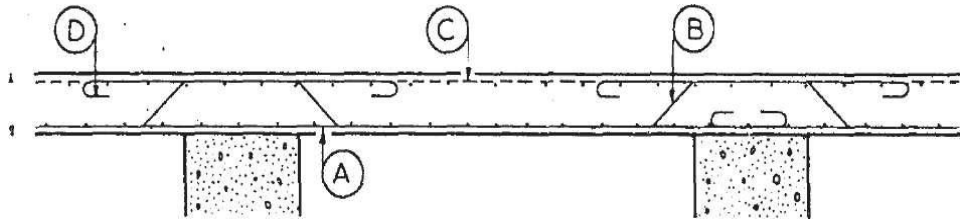
Daha büyük drenaj çukurları (yaklaşık 1 m x 1 m x 1 m boyutlarında) Şekil 3.6 b ve Şekil 3.6c' de gösterildiği gibi yapılıdır. Zeminin sert olması halinde kazı yüzeyleri düşey olarak yapıлып bu yüzeye ayrıca kalıp yapmaya gerek yoktur.

Büyük drenaj çukurları donatı detaylandırılmasında etriye donatılarını yerleştirmek gerekir. Boyutları yaklaşık 1 m x 1 m x 1 m olan drenaj çukuruna her iki doğrultuda yerleştirilen Ø 36/20' lik donatı 10 m su yüksekliğine kadar yeterli olmaktadır.

3.8 Askılı Betonarme Dikdörtgen Depo Tabanları

Sıvı depolarının çoğu su deposu olarak kullanılmakta ve bunların yükseklikleri yaklaşık 3 m ile 15 m arasında değişmektedir. Yüksekliği 15 m olan bir deponun zemin üzerinde, yaklaşık olarak, meydana getirdiği basınç 15 t/m² olmaktadır. Sağlam bir zemin bu basıncı emniyetle taşır. Ancak zeminin sağlam olmaması halinde bu basıncı karşılaması imkansızdır.

Duvara oturan depo tabanına yerleştirilen donatı detayı şematik olarak Şekil 3.7' de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi depo tabanının duvara, kolonlara ya da kazık temellere oturması halinde hesabı normal betonarme yapılardaki döşeme hesabına benzer şekilde yapılabilir. Ancak bu durumda depo tabanına etkiyen yük, diğer normal betonarme yapılarda bulunan sabit ve hareketli yüke göre çok fazladır. Bu konuda kaynak (Manning, 1967)' ye başvurulabilir.



Şekil 3.7: Depolarda askılı taban donatı detayı (Manning, 1967)

4. BETONARME DİK DÖRTGEN DEPOLARDA DERZLER

Betonarme yapıyı tek bir bütün olarak yapmak çeşitli bakımlardan yararlıdır. Ancak, yapının boyutları büyüyünce ve bağlantılarda oluşan etkiler önem kazanınca, hesaplarda genellikle göz önüne alınmayan ikinci derecedeki gerilmeler tehlike yaratacak değerlere çıkmaktadır. Zorunlu durumlarda rötne, sıcaklık değişmesi, temelde farklı oturmalar gibi etkenleri de hesaba katarak boyutlandırma yapılabilir. Ancak pratikte genel olarak bunları hesaba katmak yerine; yapının taşıyıcı sistemi, bu etkiler minimum olacak şekilde seçilmektedir. Bu da yapıyı derzlerle parçalara ayırmak suretiyle önemli ölçüde gerçekleştirilebilmektedir.

Bu bölümde derz malzemeleri hakkında kısa bir bilgi verildikten sonra derz çeşitleri ve bunların depolarda projelendirilmeleri hakkında genel ilkeler üzerinde durulmaktadır. Pratikte, depo projesinde derzlerin yerleri ve değişik kısımların betonlama zamanları açık bir şekilde belirtilmek zorundadır.

4.1 Derz Malzemeleri

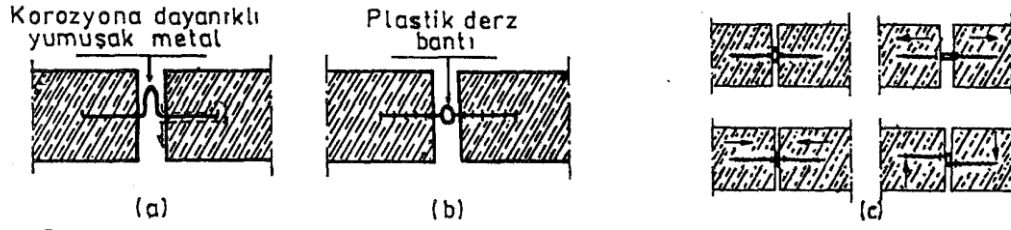
Derzlerde kullanılan malzemeler aşağıdaki şekilde üç sınıfa ayrılabilir:

- Derz dolgu malzemesi.
- Derz yalıtım malzemesi.
- Sıvı tutucu derz bantı.

Depo derzlerinde kullanılacak dolgu ve yalıtım malzemeleri "Su Depoları ve Yüzme Havuzlarının Sızdırma Yalıtımı Tasarım ve Yapım Kuralları, TS3599" standardına uygun olarak kullanılmalıdır.

Sıvı tutucu derz bantı olarak korozyona dayanıklı yumuşak metal, kauçuk ya da plastik bantlar kullanılabilir (Sekil 4.1). Kullanılan derz bantlarında geçirimsizliği sağlaması özelliğinin yanında, derzin iki karşılıklı yüzlerinin her yönde hareket etmesini sağlama özelliği de aranmaktadır (Sekil 4.1c). Ayrıca sıvının kullanılan derz

bantı ile temas ettiği beton yüzeyi arasından dolanarak sızma tehlikesi de önlenmelidir (Altan, 2008).



Şekil 4.1: Sıvı tutucu derz bantı çeşitleri ve hareket kabiliyetleri (Altan, 2008)

4.2 Derz Çeşitleri

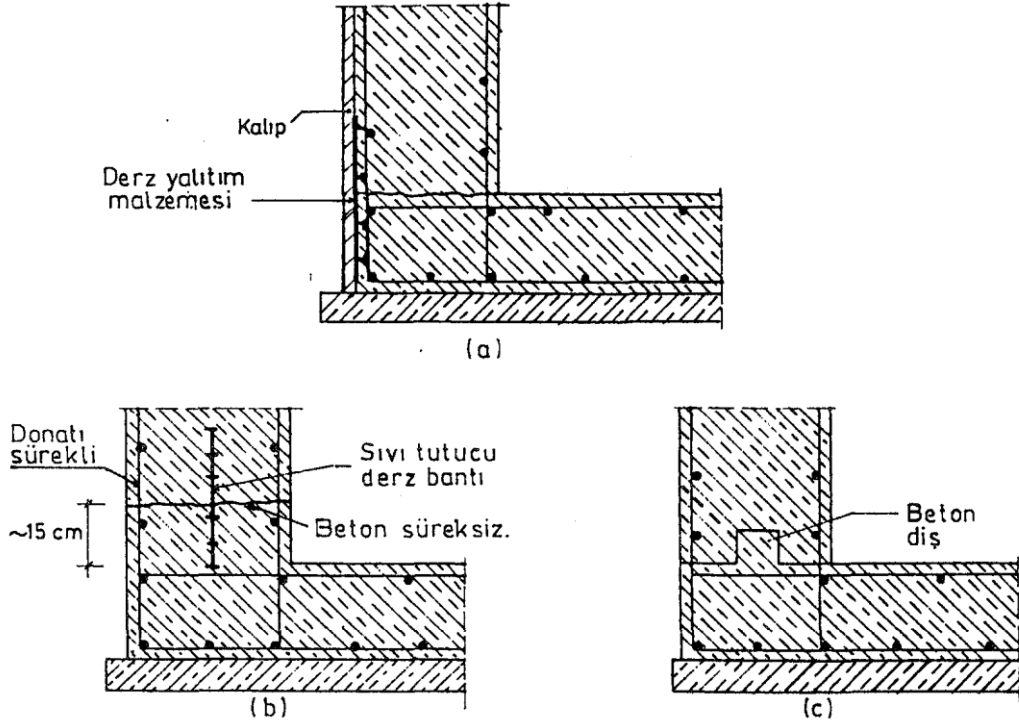
4.2.1 İnşaat Derzleri

İnşaat derzleri çalışma şartlarına ve tekniğine bağlı olarak betona yapılan ve elemanın sürekliliğini bozmayan derzlerdir. Bu derzlerde donatı sürekli, beton süreksiz olarak teşkil edilmektedir. İnşaat derzleri genel olarak taban plağı ile duvar birleşim bölgelerinde ve bitişik depo duvar şeritleri arasında düzenlenmektedir.

Duvarla taban plağının birleşim bölgesine teşkil edilen inşaat derzi ya sıvı tutucu derz bantı kullanarak (Şekil 4.2b) ya da beton dış yapılarak (Şekil 4.2c) düzenlenebilir.

İnşaat derzleri statik etkilerin en az olduğu yerlere (örneğin taban plaklarında moment sıfır kesitleri) ya da çatlakların kolayca onarılabileceği bölgelere yerleştirilmelidir.

Ayrıca dışarıdan zararlı sıvıların depo içine bu derzler ya da duvar taban birleşim bölgesinde oluşabilecek çatlak vasıtasıyla sızması da engellenmelidir (Altan, 2008).



Şekil 4.2: İnşaat derzleri detayları (Altan, 2008).

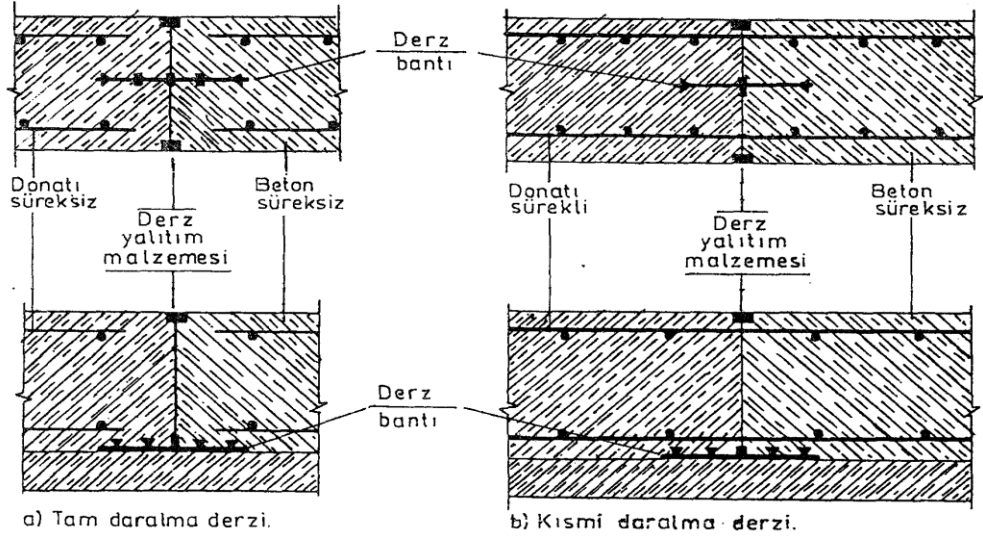
4.2.2 Hareket Derzleri

Bir yapının bitişik kısımlarının birbirinden bağımsız hareket etmesine imkan vermek amacıyla özel olarak yapılan derzlerdir. Depolarda kabul edilemeyecek çatlakları önlemenin etkin yollarından biri de bu derzlerin yapılmasıdır. Ancak bu derzlerin çatlamayı önlemede etkinlikleri yerlerinin doğru seçilmiş olmasına bağlıdır. Bu yerler özellikle derz yapılmadığı takdirde çatlakların meydana gelebileceği bölgelerdir. Bu bölgelere yapılan hareket derzleri;

- Betonda rötre ve ısı değişimlerinden doğan çekme gerilmelerini azaltırlar,
- Farklı zemin oturmalarında çatlak oluşmasını önlerler,
- Statik sistemi basitleştirip, momentleri azaltırlar.

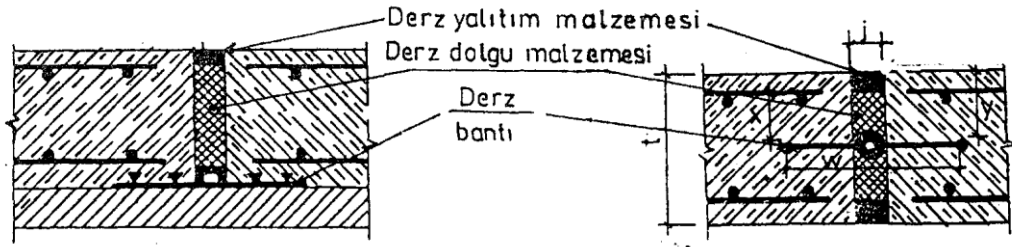
Bu derzler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

a) Daralma derzleri: Derz boyunca betonun sürekli olmadığı fakat teşkilinde derzin iki yan yüzü arasında boşluk bırakılmamış olan betonun büzülmesine imkan veren derzlerdir. Derz boyunca hem beton hem de donatı süreksiz ise tam daralma derzi, donatı sürekli beton süreksiz ise kısmi daralma derzi olarak sınıflandırılırlar.



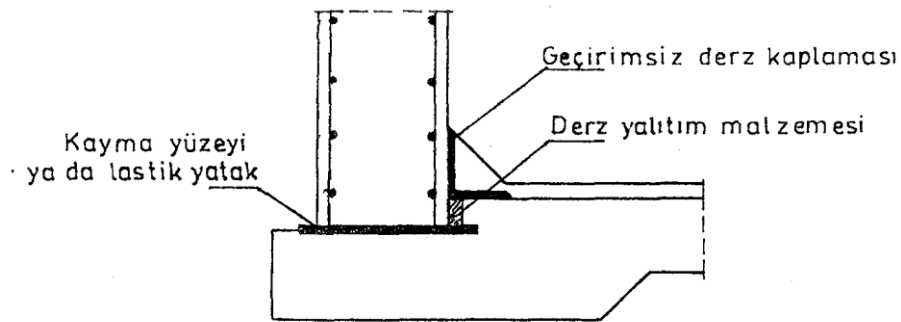
Şekil 4.3: Daralma derz çeşitleri ve detayları (Altan, 2008).

a) Genleşme derzleri: Yapıda hem genişleme, hem de daralma hareketlerine imkan veren derz boyunca hem betonun hem de donatının süreksiz olduğu ve derzin iki yüzü arasında boşluk bırakılmış derzlerdir.



Şekil 4.4: Genleşme derzi detayları (Altan, 2008).

b) Kayma derzleri : Derz düzleminde yapı kısımları arasındaki rölatif hareketleri kolaylaştırmak için özel tedbirlerin alındığı donatı ve betonda tam süreksizliğin sağlandığı derzlerdir. (Altan, 2008).



Şekil 4.5: Kayma derzi detayları (Altan, 2008).

4.2.2.1 Tabandaki Derzler

Depo tabanlarında zemin cinsine göre kullanılması gerekli derz çeşitleri Bölüm 3’ de anlatılmıştı. Burada da bu bölümde anlatılan derzlerin tabanlarda uygulamalarından kısaca söz edilmektedir.

Depoların taban plakları, harekete engel unsurları minimuma indirerek rötre ve sıcaklık daralmasına imkan verecek şekilde projelendirilebilir. Taban plağı ile grobeton arasına kalın polietilen ya da kalın bitümlü malzemedan bir ayırma tabakası yapılarak hareketin kısıtlanmasına engel olunabilir. Genleşmenin öngörüldüğü ve genişleme derzi yapılan yerler dışındaki hareket derzleri tam daralma derzi olmalıdır. Bu tür derzlerle ayrılmış taban bölme bloklarının uzun kenarının boyutu 15 m’ yi geçmemelidir.

Bununla birlikte, taban plağı rötre ve sıcaklık büzülmesine tamamen engel olunacak şekilde projelendirilebilir. Bu amaçla taban plağı bir ayırma tabakası yapılmadan doğrudan grobeton üzerine dökülmelidir. Bu durumda daralma derzi gerekmez, eğer yapılacak olursa da kısmi daralma derzi yapılmalıdır.

4.2.2.2 Duvarlardaki Derzler

Duvarların rötre ihtimali açısından davranışı özellikle incelenmelidir. Düşeyde kısmi daralma derzi yapılmadığı zaman maksimum 10 m’ de bir tam daralma derzi temin edilerek hareketi kısıtlayıcı tesirler azaltılmalıdır. Genleşme derzleri 30 m’ yi geçmeyen aralıklarla yapılmalıdır.

Yatayda betonun işlenebilirliğinin mümkün olduğu yüksekliğe kadar şerit halinde monolitik olarak dökülmesi gerekir. Bu yükseklikte inşaat derzi yapılabilir. Ancak pratikte düşey inşaat derzlerinde yatay olanlara oranla daha az sorun çıkmaktadır. Bu nedenle proje mühendisi seçim yapmak durumunda kalırsa düşey inşaat derzlerini seçmesi tavsiye edilir (Doğangün, 1989).

4.2.2.3 Tavan Plağında Derzler

Tavan plağı genellikle taban plağından daha fazla sıcaklık etkisine maruz kalır. Buna karşılık, tavan plağı depo köşeleri dışında önemli bir sınırlayıcı etkisinde

değildir. Tavan plağı ile duvarların monolitik olarak projelendirildiği durumlarda, duvarların etkisiyle tavanda meydana gelebilecek çatlakları önlemek için, duvarlardaki hareket derzleri tavan plağında da devam ettirilmelidir.

Tavan plağında hareket derzlerinin yapılmaması isteniyorsa ya uygun bir inşaat sırası belirleyerek sıcaklık etkisinden doğan hareketleri sınırlayıcı baskıları azaltmak ya da çatlakları sınırlayacak yeterli donatı koymak zorunludur. Bu özellikle dikdörtgen depolarda duvar köşelerinde gereklidir. Bir boyutu 60 m' yi geçen depolarda duvarla tavan plağı arasında mutlaka kayma derzi yapılmalıdır.

5. BETONARME DİKDÖRTGEN DEPOLARDA GEÇİRİMSİZLİĞİN SAĞLANMASI

Normal bir betonarme yapının görevini tam olarak yapabilmesi için üç temel şartın sağlanması gerekmektedir. Bunlar;

- Betondaki gerilmelerin kabul edilebilir sınırlar içinde kalması,
- Donatıdaki gerilmelerin kabul edilebilir sınırlar içinde kalması,
- Beton ve donatı arasındaki aderansın sağlanmış olması,

olarak sıralanabilir. Ancak, sıvı depoları gibi özel mühendislik yapılarında bu üç temel şarta ilaveten rötre ve sıcaklık farkından doğan gerilmelerin de kesinlikle dikkate alınması gerekir. Çünkü sıvı depolarında geçirimsizlik birinci dereceden önemli olduğundan, normal betonarme bir yapıda kabul edilebilen çatlaklar bunlar için son derece sakıncalı olmaktadır (Lufsky, 1980).

Depoların, bağlantı ve derz bölgeleri gibi önemli kısımlarında geçirimsizlik için alınması gerekli konstrüktif önlemler bundan önceki bölümlerde anlatıldı. Bu bölümde ise genel olarak geçirimsiz beton ve kaplama yapımı üzerinde durulmaktadır.

5.1 Betonun Geçirimsizliğinin Sağlanması

Betonu oluşturan temel malzemeler çimento, agrega ve su olduğundan, aşağıda geçirimsiz beton yapmak için, bu malzemelerde aranan özelliklerden söz edilmektedir.

5.1.1 Çimento

Depo yapımında kullanılan çimentolarda aşağıdaki özellikler aranmaktadır:

- İnce Öğütülmüş olmalı.
- Kuruduktan sonra çok az büzülme göstermeli ve rötresi az olmalı.
- Belli bir kıvama gelmek için az suya ihtiyaç göstermeli.

- Mukavemeti yüksek olmalı.
- Prizini yavaş almalı.
- Temini mümkünse, uçucu küllü çimento kullanılmalı ya da normal portland çimentosuna % 5 - % 15 oranında uçucu kül katılmalı.

5.1.2 Agregası

Depo betonlarında aranılan en önemli özellik, düşük su/çimento oranlarında istenen optimum sıkışma derecesine ulaşmasıdır. Bu nedenle en uygun agrega cinsi ve granülometrisini tespit etmek en önemli hususlardan biridir.

5.1.2.1 İnce Agregası (Kum)

İnce agrega normal doğal temiz kum olmalı ve içerisindeki zararlı madde oranları aşağıda belirtilen yüzdeleri geçmemelidir (DSİ, 1980) .

	<u>Ağırlık olarak (%)</u>
200 Nolu elekten geçen malzeme	3
Şist	1
Kömür	1
Kil	1
Diğer zararlı maddelerin tümü (Alkali, mika, balçık, vb)	2

Kum malzemesi içindeki zararlı maddelerin toplamı % 5' i geçmeyeceği gibi granülometrisi de TS706 da belirlenen sınırlar içinde kalmalıdır. Kum kirliliğine neden olan zararlı maddeler ve kum kirliliğinin ölçülmesinde kullanılan yöntemler hakkında (Durmuş ve Diğ. , 193.8; 1989) kaynaklarına bakılabilir.

5.1.2.2 Kaba Agregası (Çakıl)

Kaba agregada geçirimsizlik için aranan özellikler aşağıda verilmektedir.

- Temiz olmalı, değilse organik maddelerden arınıncaya kadar yıkanmalı.

- Tamamen yuvarlak doğal dere çakılı kullanılmalı, kırmataş kullanılmamalı. Çünkü doğal agregalarla yapılan betonda geçirimsizliği sağlamak kırma taşla yapılan betondan daha kolaydır (DSİ, 1980; Manning, 1967)
- Dona dayanıklı, sağlam, yüzeyi gözenekli olmayan, ağır agregaya olmalı. Kuru birim ağırlığı 2,6 gr/cm³ ten az olmamalı.
- Yapısında Jips, anhidrid, klorür tuzları gibi beton ya da donatıya zarar veren maddeler bulunmamalı.
- Farklı genleşme sonucunda çatlak oluşturacak karışık agregaya kullanılmamalı.

Agrega granülometri eğrisinin, D maksimum tane çapını (mm), d herhangi bir çapı (mm) ve P, d çapındaki agregaya yüzdesini göstermek üzere,

$$P = 20 \left(\frac{d}{D} + 4 \sqrt{\frac{d}{D}} \right)$$

bağıntısına uyması tavsiye edilmektedir. (DSİ, 1980)

Betoniyere giriş anındaki kaba agreganın içindeki zararlı maddelerin değerleri aşağıda belirtilen yüzdeleri geçmemelidir.

	<u>Ağırlık olarak (%)</u>
200 Nolu elekten geçen malzeme	1
Şist	1
Kömür	1
Kil	0,5
Diğer zararlı maddelerin tümü (Alkali, mika, balçık, vb)	1
Bu malzemelerin toplamının % 3' ü geçmemesi gerekir.	

5.1.3 Karışım Suyu

Beton karışım suyu olarak hiç bir deneye tabi tutulmaksızın içme suyu kullanılabilir. Dere ya da göllerden su alınması halinde bunları teste tabi tutmak gerekmektedir (Akman, 1987).

5.2 Geçirimsizlik İçin Beton Karışımı ve Yerleştirilmesi

Depolar için seçilen beton karışım oranları, yeterli derecede geçirimsizliği ve mukavemeti sağlamalıdır.

Geçirimsizlik üzerinde birçok faktör etkili olmaktadır. Bunlar arasında çimento dozajı da sayılabilir. Normal ya da çabuk sertleşen portland çimentosu ile yapılan geçirimsiz betonun bitmiş halindeki çimento dozajı 300 kg/m^3 ile 550 kg/m^3 arasında olmalıdır. Depolar için asgari beton kalitesi C20' dir.

Diğer bir önemli faktör de su/çimento oranıdır. Bu oranın düşük olması geçirimsizlik için uygun olmaktadır. Bu oranın depolarda 0,50 civarında olması iyi netice vermektedir.

Beton mikserinde karma işlemine, malzeme homojen olarak karışmaya ve üniform bir renk ve kıvam alınca kadar devam edilmelidir. Bu süre, su hariç bütün malzemelerin beton mikserine girmesinden itibaren 1,50 dakikadan az olmamalıdır.

Beton uygun bir şekilde karıştırıldıktan sonra kullanılacağı yere mümkün olan en kısa yoldan taşınıp yerleştirilmeli ve mekanik bir vibratör kullanarak sıkıştırılmalıdır. Taşıma esnasında malzemenin ayrışmasına, kaybına ve kirlenmesine engel olunmalıdır.

Betonun yüksek yerlere nakli mekanik aletlerle yapıp, kürek ve benzeri aletler kullanarak beton elle yüksek yerlere taşınmamalıdır.

Beton dökümü sırasında, ısının $+4 \text{ }^\circ\text{C}$ ile $+32 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında olması gerekir. Bu sınırların dışında beton dökülmemelidir.

Beton döküldükten hemen sonra başlayan bakım zamanı içinde beton , devamlı nemli tutulmalı ve beton yüzündeki ısı değişikliklerini önleyecek tedbirler alınmalıdır. Beton döküldükten sonra beton yüzü ani kurumayı önlemek ve sıcaklık değişikliğini minimuma indirmek için örtülmelidir. Bu iş beton dökümünden itibaren 20 saat içerisinde yapılmalıdır.

Betonun kürüne, şartnamede (TS 500) belirtilen 28 günlük mukavemetin $3/4$ ' ünü alınca kadar devam edilmelidir, ancak bu süre 10 günden az olmamalıdır.

5.3 Betonun Katkı Maddeleri

Geçirimsizlik betonun kendi bünyesinde temin edilmeye çalışılıp, gerekli olmadıkça katkı maddesi kullanılmamalıdır. Basınçlı geçirimsizlik için plastikleştirici adı verilen çok yüksek özgül alana sahip tozlar kullanılır. Bunların da puzolanik aktiflikleri (diatome toprağı, silis dumanı) daha da uygundur.

Geçirimsizlik için betona katılan katkı maddeleri piyasada toz ve sıvı halde bulunmaktadır.

5.4 İç Kaplama ve Geçirimsizlik Şekilleri

5.4.1 İç Kaplama

Yalıtılmış yüzeyleri korumak amacıyla yatay, eğimli ve eğri yüzeylerde en az 10 cm kalınlığında betondan yapılan, düşeyde ise blok ya da yerinde dökülerek yapılan betondan oluşan bir kaplama tabakasıdır.

5.4.2 Yalıtım Örtüleri İle Yapılan Geçirimsizlik

Deponun yatay, düşey, eğri ve eğimli yüzlerine uygulanan içinde taşıyıcı bir malzeme bulunan bitüm bazlı yalıtım örtüleri kullanarak yapılan, ihtiyaca göre iki ya da çok katlı olarak uygulanabilen, katların birbirine ve uygulandıkları yüzeye sıcak uygulanan bitüm ile yapıştırıldıkları geçirimsizlik şeklidir.

5.4.3 Cam Lifi Takviyeli Plastik Kaplama İle Yapılan Geçirimsizlik

Cam lifi takviyeli plastik kaplama ile yapılan geçirimsizlik, depoların yatay, eğri, eğimli ve düşey yüzlerine polyesterin cam elyafı ile takviye edilmesi suretiyle yüzeyde bir kaplama tabakası oluşturacak şekilde dökülmesi ile yapılan geçirimsizlik şeklidir.

6. BETONARME DİKDÖRTGEN DEPOLARDA DEPREM HESABI

Normal bir betonarme yapı için zor olan deprem hesabı, depolarda daha da karmaşık durum almaktadır. Çünkü depolarda yapı - zemin etkileşmesine ilave olarak depo haznesi-sıvı etkileşimi de ortaya çıkmaktadır.

Bu bölümde gömme depoların depreme göre hesabına ilişkin birkaç hesap yöntemi verilmekte ve yöntemler kendi aralarında karşılaştırılmaktadır. Bu arada pratik uygulamaları kolaylaştırmak için yöntemlerden elde edilen çeşitli çizelge ve grafikler de verilmektedir.

6.1 Betonarme Gömme Dikdörtgen Depoların Hesabı

Gömme depoların deprem hesabının; yerüstü depoların hesabından farkı, bunların hesabında diğer etkilere ilaveten dinamik zemin basıncının da dikkate alınması gereğidir.

6.1.1 Dinamik Zemin Basıncının Hesabı

İstinat duvarlarına ya da gömme depo yan duvarlarına benzer yapılara deprem sırasında gelecek statik ve dinamik basınçlar birçok ülke yönetmeliklerinde Mononobe-okabe yöntemi ile tayin edilmektedir. Bu yöntemle ilgili kritik bir değerlendirme için (Seed ve diğ., 1970) kaynağına bakılabilir. Bu tür yapıların Japon şartnamesine göre (JSCE, 1984) dinamik zemin basıncının hesabı aşağıda verilmektedir.

- z yüzeyden itibaren derinliği,
- γ_z zemin birim ağırlığını (N/m^3),
- c kohezyonu (N/m^2), ,
- q yüzeydeki ek yükü,

\emptyset zemin iç sürtünme açısını,
 k_h yatay deprem katsayısını,
 k' itibari deprem katsayısı $[\gamma_z k_h / (\gamma_z - 1)]$,
 Θ arc tan (k_h) ya da arc tan (k') değerini,
 β duvar arka yüzünün düşeyle yaptığı açığı,
 δ zemin ve yapı arasındaki sürtünme açısını ($\leq 15^\circ$),
 α zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açığı,
 P_{AE} z derinliğindeki toplam aktif basıncı (N/m²),
 P_{PE} z derinliğindeki toplam pasif basıncı (N/m²),
 göstermektedir.

$$K_{AE} = \frac{\cos^2 (\emptyset - \Theta - \beta)}{\cos \Theta \cos^2 \beta \cos(\beta + \Theta + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\Theta + \delta) \sin(\emptyset - \alpha - \Theta)}{\cos(\beta - \alpha) \cos(\beta + \Theta + \delta)}} \right]^2}$$

olmak üzere;

$$P_{AE} = \gamma_z z K_{AE} - 2 c \sqrt{K_{AE}} + q K_{AE}$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Zemin yüzeyinden z derinliğindeki toplam pasif statik ve dinamik zemin basıncı P_{PE} ;

$$K_{PE} = \frac{\cos^2 (\emptyset - \Theta + \beta)}{\cos \Theta \cos^2 \beta \cos(\beta - \Theta + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\emptyset - \delta) \sin(\emptyset + \alpha - \Theta)}{\cos(\beta - \alpha) \cos(\beta - \Theta + \delta)}} \right]^2}$$

olmak üzere;

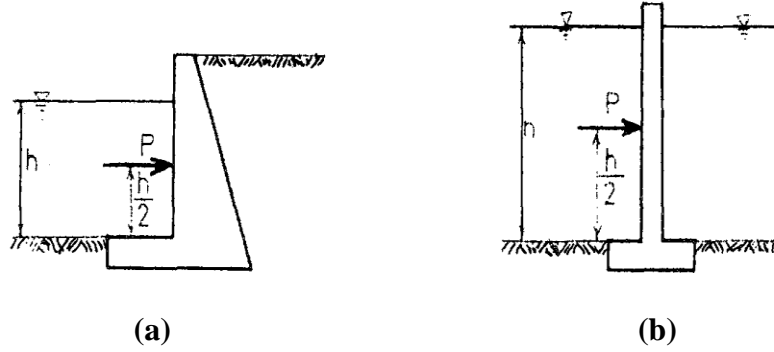
$$P_{PE} = \gamma_z z K_{PE} + 2 c \sqrt{K_{PE}} + q K_{PE}$$

'den hesaplanır.

6.1.2 Hidrodinamik Basıncın Hesabı

Şekil 6.1' de gösterilen yapı tiplerine benzer yapılar (gömme depo yan duvarı, bölme duvarı, vb.) üzerine etkiyecek hidrodinamik basınçların hesabı için deprem yönetmelikleri genellikle Westergaard teorisini (Westergaard, 1933)

kullanmaktadır. Aşağıda hidrodinamik basınç için yine yukarıda adı geçen Japon şartnamesinde önerilen yaklaşık bağıntılar verilmektedir.



Şekil 6.1: Hidrodinamik basınç etkisi (JSCE, 1984)

a) Duvar tipi yapılar, b) Kule tipi yapılar

Duvar tipi yapılar için birim duvar boyuna düşen toplam hidrodinamik kuvvet P (N), h su yüksekliğini (m) göstermek üzere;

$$P = \frac{7}{12} k_h \gamma h^2$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Hidrodinamik kuvvete dik doğrultudaki genişliği b (m) olan Şekil 6.1 b' deki benzer yapılar için toplam hidrodinamik kuvvet;

$$b / h \leq 2 \text{ için, } P = \frac{3}{4} k_h \gamma b^2 h \left(1 - \frac{b}{4h} \right),$$

$$2 < b / h \leq 3,1 \text{ için, } P = \frac{3}{8} k_h \gamma b^2 h$$

$$b / h > 3,1 \text{ için, } P = \frac{7}{6} k_h \gamma b h^2,$$

değerlerini alır. P kuvvetinin tatbik noktası sıvı derinliğinin yarısı olarak alınmaktadır.

7. DSİ SU TUTUCU BETONARME YAPILARIN HESAP VE YAPIMINA AİT GENEL TEKNİK ŞARTNAME ÖZETİ

Yan duvarların konsol duvar olarak çalıştığı ve bu şekilde projelendirildiği durumlarda

a- Devrilme güvenliğinin tüm yükleme hallerinde depremsiz durumda 1,50 den, depremlı durumda 1,20 den az olmaması temin edilmelidir.

b- Kayma güvenliğinin tüm yükleme hallerinde depremsiz duruma 1,50 den, depremlı durumda 1,20 den az olmaması temin edilmelidir.

Su tutucu yapıların ilk doldurulması 24 saatte su seviyesi 2,0 metreyi geçmeyecek şekilde üniforma yakın bir hızla olmalıdır.

Bu şartnamede su tutucu yapıların elemanları su ile ilgili olarak maruz kaldıkları tesirler yönünden iki sınıfa ayrılmışlardır:

A Sınıfı: Hemen hemen daimi olarak su ile temasta olan kısımlar,

B Sınıfı: Su ile temasta olmayan kısımlar.

Şartnameye göre 25 cm veya daha ince olan ve bir yüzü (A) sınıfı tesirine maruz duvar veya döşemelerin diğer yüzlerinin de aynı şartlarda olduğu varsayılır. 25 cm den daha kalın olan ve bir yüzü (A) sınıfı tesirine maruz duvar veya döşemelerin diğer yüzlerinin (B) sınıfı tesirine maruz olduğu varsayılır.

Yönetmeliğe göre (B) sınıfı tesirlere maruz yapı elemanlarının TS 500 ve diğer ilgili standartlara uygun olarak projelendirilmelidir. (A) sınıfı tesirlere maruz yapı elemanlarının projelendirilmesi ise;

a- Çatlamaya karşı uygun direnç

b- Uygun mukavemet

c- Ekonomik kesit pürsantaj bağıntısı göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Yönetmelikte projelendirme varsayımları:

a- Beton ve çelik doğrusal elastik davranırlar,

b- $\eta = \frac{E_s}{E_c} = 15$

c- Eğilme ve eksenel çekmede çatlamaya karşı direnç hesaplarında beton çekme gerilmeleri alır.

d- Mukavemet hesaplarında beton çekme gerilmeleri ihmal edilir.

Gerilmeler:

V / bz formülü ile verilen kayma gerilmesinin kayma donatısı ne olursa olsun Tablo 7.1’ de verilen değerleri aşmaması gerekmektedir.

Tablo 7.1: Beton sınıfları için kayma gerilmeleri (DSİ, 1980)

BETON SINIFI	Beton Emniyet Gerilmeleri (kg/cm ²)		
	Kesit Zorlaması		Kayma
	Eksenel Çekme	Eğilmede Çekme	V / bz
C20	9	15	18
C25	10	17	20

Tabloda ;

V : Toplam kesme kuvveti

b : Genişlik

z : Moment kolu’ dur.

Mukavemet hesaplarında beton emniyet gerilmeleri Tablo 7.2’ den alınmalıdır. Betondaki kayma gerilmesi emniyet gerilmesini aşarsa kaymanın tamamı donatı ile alınacaktır.

Tablo 7.2: Mukavemet hesaplarında beton emniyet gerilmeleri (DSİ, 1980)

Beton Sınıfı	Beton Emniyet Gerilmeleri (kg/cm ²)				
	Kesit Zorlaması		Kayma	Aderans	
	Eksenel Basınç	Eğilmede Basınç		Düz	Nerv.
C20	65	80	7	6	12
C25	80	100	8	8	16

Mukavemet hesaplarında çelik emniyet gerilmeleri Tablo 7.3’ den alınacaktır.

Tablo 7.3: Mukavemet hesaplarında çelik emniyet gerilmeleri (DSİ, 1980)

Gerilme	Tesir Sınıfı	Emniyet Gerilmeleri (kg/cm ²)	
		Düz	Nervürlü
Eksenel Çekme Eğilmede Çekme Kesme	A	1000	1500
Basınç	A	1400	2000

Yönetmelikteki Konstruktif Özellikler:

Minimum donatı miktarı:

Rötre ve ısı tesirlerinden dolayı meydana gelen çatlakları dağıtmak için gerekli minimum donatı kritik porsantajı

$$\rho_{cr} = \frac{f_{ctk}}{f_{yk}}$$

f_{ctk} : Betonun çekme dayanımı (genelde 3 günlük beton için verilen bu değer C 20 için 7,5 kg/cm²) C 25 için 8,7 kg/cm² olarak alınabilir.

f_{yk} : Donatı çeliğinin akma dayanımı

Bu formülle verilen donatı yüzdesi uzun mütemadi duvarlar, ince döşeme ve duvarlar için geçerlidir. Yapının 50 cm' den büyük kesitleri kalın kesitler olarak tarif edilir. Kalınlığı 50 cm' den daha kalın kesitler 50 cm kalınlığa göre donatılmalıdır.

Minimum donatı, kalınlığı 20 cm' nin altında olan taban döşemelerinde kesit kalınlığı 10 cm, kalınlığı 20 cm ile 50 cm arasında olan taban döşemelerinde yarı kalınlık esas alınarak tespit edilir ve paspayı 5 cm' yi geçmemek üzere tamamen beton üst yüzüne konur. Kalınlığı 50 cm veya daha fazla olan taban döşemelerinde hem alt hem de üst yüzeye donatı yerleştirilir. Her bir yüzdeki minimum donatı için 25 cm kalınlık esas alınacaktır.

Rötre ve ısı tesirlerinden dolayı meydana gelen çatlakları önlemek için izlenmesi gereken bir hususta ince demirleri sık aralıklarla yerleştirmektir.

(A) sınıfı tesire maruz bütün duvar, döşeme gibi plaklarda, kiriş ve kolonlarda uygulanacak minimum donatı miktarı TS 500' de belirtilenden daha az

olamaz. Plaklarda kesit kalınlığı 50 cm' yi geçerse minimum donatı için toplam kesit alanı 50 cm kalınlığa göre hesaplanır.

Minimum paspayı:

Minimum paspayları her yerde en dıştaki donatıdan (etriyeler dahil) itibaren 40mm' den az olamaz. Zararlı sızılarda temasta olan yüzeylerde veya aşınmaya maruz yerlerde daha büyük paspayları tavsiye edilir.

Donatı Çapı:

Genel olarak çapı 26 mm' den daha büyük ve 6 mm' den daha küçük donatı çubukları kullanılmamalıdır. Boyuna donatı çubuklarının çapları, kirişlerde 12 mm, kolonlarda ise 14 mm' den az olmamalıdır. Plaklarda kullanılacak hasır donatılarının çapları ise 2,5 mm' den daha az olamaz.

Donatı aralığı:

Betonarme kesitlerde iki paralel çubuk arasındaki temiz açıklık aşağıdaki iki değerlerin en büyüğünden daha küçük olamaz.

a) Kesitteki en büyük donatı çapı

b) Betonda kullanılan kaba agreganın nominal maksimum çapından 5 mm daha fazlası

Plaklarda (döşeme, duvar, üst tabliye) esas donatı arasındaki maksimum mesafe 20 cm, tali donatılar arasındaki maksimum mesafe 30 cm' den daha fazla olmamalıdır. Silindirik duvarlarda iç yatay donatı dış yatay donatıya bağlanacaktır.

Donatı kancaları ve ekleri TS 500' e uygun olarak yapılacaktır.

Minimum Plak Kalınlıkları:

Su basıncı altındaki duvar veya döşeme plağının kalınlığı 1 m' lik hidrostatik basınç için 15 cm ve daha büyük basınçlar için de 20 cm' den az olamaz.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, çok yaygın olarak kullanılan dikdörtgen kesitli betonarme sıvı depoları konusunda derli toplu bir sentez çalışması ortaya koyarak teknik literatürdeki boşluğun doldurulmasına kısmen katkıda bulunabilmektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde genel olarak depoların hesap yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Dikdörtgen kesitli depolar, plaklardan oluşan yüzeysel taşıyıcılar olarak dikkate alınabilir. Bu durumda hesapları elastik, plastik yöntemlerle, duvarların kısmi ankastreliğini dikkate alan yaklaşık yöntemle ya da depo duvarlarını istinat duvarı olarak dikkate alan yöntemle yapılabilir. Tek gözlü ve küçük depoların hesabı elastik yöntemle yapılabileceği gibi kısmi ankastrelik durumunu dikkate alan yaklaşık yöntemle de yapılabilir. Çok gözlü depoların hesabında kırılma çizgileri teorisine dayalı plastik hesabı Johansen yöntemi kullanılarak yapılabilir. Depo boyutlarının çok büyük olması halinde depo duvarlarını istinat duvarı şeklinde hesaplamak daha uygun olabilir. Bu durumda konsol plak duvarlar, aşırı yüksek olması halinde de payandalı konsol plak duvarlar yapılmaktadır.

Üçüncü bölümde dikdörtgen depo tabanlarından söz edilmiştir. Depo tabanlarında zemin oturmasından, rötre ve sıcaklık etkilerinden doğan gerilmelerin azaltılması için bazı konstrüktif önlemler almak gerekir. Bu amaçla depo tabanına derz yerleştirilmesi, tabanın satranç tahtasına benzer şekilde dökülmesi gibi önlemler alınabilir. Depo tabanlarının projelendirilmesinde zeminin rolü büyük olduğundan zeminin özellikleri iyi bir şekilde tespit edilmeli, derzlerin yerleştirilmesine ve korunmasına özen göstermek gerekmektedir. Tabanın zemin üzerine, kolonlara ya da kazık temellere oturtulacağına zemin özellikleri belirtildikten sonra karar verilir.

Dördüncü bölümde depolarda derzlerin kullanılmasından bahsedilmiştir. Normal bir yapıyı tek bir bütün olarak yapmak birçok bakımdan yararlıdır. Ancak depolarda oluşabilecek çatlakları önlemek ve değişik kısımların bağımsız hareket etmesini sağlamak için derzlerin yapılması zorunlu olmaktadır. Derzler depolarda da inşaat derzleri ve hareket derzleri olarak dikkate alınabilir.

İnşaat derzleri depolarda statik etkilerin en az olduğu yerlere ya da çatlakların kolayca onarılabileceği bölgelere yerleştirilmelidir. Depo duvarlarına yerleştirilen düşey inşaat derzlerinde yatay olanlara göre daha az sorun çıkmaktadır. Bu nedenle proje mühendisi seçim yapmak durumunda kalırsa, düşey inşaat derzlerini seçmesi tavsiye edilir.

Depo duvarlarında rötre çok önemli olduğundan, hareket derzi olarak düşeyde kısmi daralma derzi yapılmalıdır. Genleşme derzleri ise 30 m' yi geçmeyen aralıklarla yapılmalıdır.

Beşinci bölümde depoların geçirimsizliğinden söz edilmektedir. Beton karışımında kullanılan temel malzemelerde (su, çimento, agrega) geçirimsizlik için bazı ilave özellikler aranmaktadır. Özellikle beton karışımında kullanılan agrega kırma taş yerine doğal agrega olmalıdır. Geçirimsizlik betonun kendi bünyesinde temin edilmeye çalışılmalı ve zorunlu olmadıkça katkı maddesi kullanılmamalıdır. Çünkü kullanılan katkı maddelerinin yan etkileri olabileceğinden geçirimsizlik tehlikeye düşebilir.

Altıncı bölümde depoların deprem hesabı üzerinde durulmaktadır. Depolarda yapı-zemin etkileşimine ilave olarak yapı- sıvı etkileşiminin de bulunması deprem hesabını zorlaştırmaktadır. Bu durumda kullanılan yöntemlerin matematiksel ifadeleri oldukça karmaşık olmakta dolayısıyla da pratik hesap için uygun olmamaktadır. Bu nedenle matematiksel ifadeleri bilgisayar programı, çizelgeler ya da grafikler yardımıyla proje mühendislerinin kullanımına sunulması uygun olmaktadır.

Yedinci bölümde ise DSİ' nin Su Tutucu Yapıların Hesap ve Yapımına Ait Genel Teknik Şartnamesinin bir özeti sunulmaktadır. Bu şartnamede de özellikle yapımında yardımcı olmak üzere donatı çapları ve aralıkları, etriye çapları ve emniyet gerilmeleri hakkında tablolar ve bilgiler verilerek sağlıklı, emniyetli ve rijit olarak bir deponun yapılması hakkında özet bilgiler verilmektedir.

Dairesel depo duvarlarında normal kuvvet etkili olmasına rağmen dikdörtgen depolarda normal kuvvet yanında eğilme momenti de etkili olmaktadır. Bu durum dikdörtgen depoların sakıncalı yönünü oluşturmaktadır. Ancak özellikle endüstri yapılarında depo yapılacak arazinin sınırlı olması halinde dikdörtgen depo inşası gerekli olmaktadır. Ayrıca dikdörtgen depolarda kalıp ve donatı işçiliği, dairesele depolara göre daha az maliyetlidir. Bunlar da dikdörtgen depoların

üstünlüklerini oluşturmaktadır. Sonuç olarak statik açıdan dairesel kesitli depolar daha uygun olmakla birlikte, kullanım ve imalat açısından dikdörtgen kesitli depolar daha uygundur. Bu nedenle bu çalışmada özellikle dikdörtgen kesitli su depoları detaylı olarak incelenmiş ve teknik literatürdeki bu konu ile ilgili eksik olan boşlukların doldurulması amaçlanmıştır.

9. KAYNAKLAR

- AKA, İ., KESKİNEL, F. ve ARDA, T.S. (1977). *Betonarme Yapı Elemanları*. İstanbul: Birsen Kitabevi.
- AKMAN, M.S. (1987). *Yapı Malzemesi*. İstanbul: İTÜ Matbaası
- ALTAN, M. ve GÜLER, K. (2008). *Betonarme Su Depolarının Tasarımı. İMO Meslekiçi Eğitim Semineri*, İstanbul.
- BAY, M.E. (2006). *İçmesuyu Proje El Kitabı*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- ÇEÇEN, C. (1973). *İçme Suyu Mühendisliği*. İstanbul : İnkılap ve Aka Basımevi.
- DEMİR, H., ALTAN, M. ve GÜLER, K. (1988). *Betonarme Depolar*. İstanbul: İTÜ Matbaası.
- DOĞANGÜN, A. (1989). *Betonarme Sıvı Depoları ve Projelendirme İlkeleri*. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- DSİ: Su Tutucu Betonarme Yapıların Projelendirilmesine Ait Genel Teknik Şartname*. (1980). Ankara: DSİ Basım ve Foto-Film İşletme Müdürlüğü
- GÜNGÖR, M.Ş. (1976). *Dikdörtgen Betonarme Depo Duvarlarının Projelendirilmesi*. *DSİ Teknik Bülteni*.
- HOUSNER, G.W. (1963). *The Dynamic Behaviour of Water Tanks*. *BSSA*, 53(2), 381-387.
- İBTŞ: Şehir ve Kasaba İçmesuyu Projelerinin Hazırlanmasına ait Yönetmelik*. (1985). Ankara: İller Bankası.
- IS 1893*. (1984). *Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures* Indian Standarts Institution. New Delhi.
- JSCE: Earthquake Resistant Design of Bridges*. (1984). Japanese Society of Civil Engineers. Tokyo.

- JOHANSEN, K.W. (1962). Yield- Line Theory. *Cement And Concrete Association*.
- LUFISKY, K. (1980). *Yapılarda Su İzolasyonu*. İstanbul: Seyaş Yayınları.
- MANNING, G.P. (1967). *Concrete Reservoirs and Tanks*. London: Concrete Publications.
- MUSLU, Y. (1978). *Su Temini ve Çevre Sağlığı*. İstanbul: İTÜ Matbaası.
- ÖZDEN, K., EREN, İ., TRUPIA, A.L. ve ÖZTÜRK, T. (1988). *Betonarme İstinat Duvarları ve Perdeleri*. İstanbul: İTÜ Matbaası.
- TÜRKDOĞAN, F.İ. ve YETİLMEZSOY, K. (2004). *Su Getirme ve Kanalizasyon Uygulamaları*. İstanbul: Su Vakfı.
- TS 500: *Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*. (1984). Ankara.
- TS 3599: *Su Depoları ve Yüzme Havuzlarının Sızdırma Yalıtımı Tasarım ve Yapım Kuralları*. (1982). Ankara.
- UZAKGÖREN, N. (1987). *Su Depoları*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni. (14).