

**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

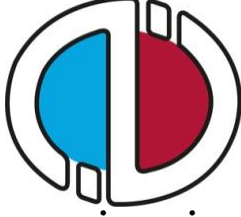
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**KÖR KALIP SİSTEMLERİ İLE OLUŞTURULAN
BOŞLUKLU DÖŞEME SİSTEMLERİNİN YAPISAL
MODELENMESİ**

**Yiğit YAVAŞ
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN**

**BİLECİK, 2019
Ref.No: 10293562**



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

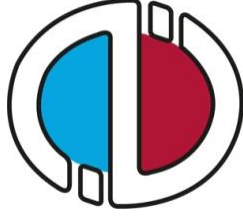
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**KÖR KALIP SİSTEMLERİ İLE OLUŞTURULAN
BOŞLUKLU DÖŞEME SİSTEMLERİNİN YAPISAL
MODELLENMESİ**

**Yiğit YAVAŞ
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN**

BİLECİK, 2019



**ESKİSEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
SEYH EDEBALI ÜNİVERSİTİ**

**Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering**

**STRUCTURAL MODELING OF FLAT SLABS USING
PLASTIC VOIDED FORMERS**

**Yiğit YAVAŞ
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Dr. Ogr. Uyesi Kıvanç TAŞKIN**

BİLECİK, 2019



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 06/08/2019 tarih ve 42-01 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 22/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yiğit YAVAŞ'ın "Kör Kalıp Sistemleri İle Oluşturulan Boşluklu Döşeme Sistemlerinin Yapısal Modellenmesi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN

ÜYE(Başkan) : Dr.Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN

ÜYE : Dr.Öğr. Üyesi Uğur ALBAYRAK

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimde bilgisini, tecrübesini ve zamanını benden esirgemeyen değerli hocam, tez danışmanım Sn. Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN'a, çalışmanın analiz kısmında değerli bilgi ve birikimlerini çekinmeden paylaşan Erdemli Proje ve Müşavirlik San. Tic. Ltd. Şti. Proje Müdürü Dr. Kerem PEKER'e verdikleri destek ve yapıcı katkılarından teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

...../...../ 2019

Yiğit YAVAŞ

KÖR KALIP SİSTEMLERİ İLE OLUŞTURULAN BOŞLUKLU DÖŞEME SİSTEMLERİNİN YAPISAL MODELLENMESİ

ÖZET

Günümüzde özellikle ticari ve endüstriyel binalarda, çok katlı otoparklarda ve kamu binaları (okullar, üniversiteler, hastaneler vb) yapılarında büyük açıklıkların geçilmesi gerekmektedir. Geleneksel betonarme sistemlerle büyük açıklıklar kirişli ve kaset döşeme sistemleriyle geçilebilmekte, fakat bu sistemlerde açıklık arttıkça kiriş derinliği artmakta, yapı ağırlaşmakta ve net kat kullanım yüksekliği de azalmaktadır. Estetik açıdan derin kirişler yapının mimarisini bozmakta ve kirişsiz (mantar) döşemelerde ise zımbalama problemi ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda daha büyük açıklıkların, yapı ağırlığını artırmadan geçilebilmesi için döşeme sistemlerine alternatif olarak plastik kör kalıptan (geri dönüştürülebilir polipropilenden üretilmiş) oluşturulmuş boşluklu kirişsiz döşeme sistemleri uygulanmaya başlanmıştır. Uygulamada döşeme plaklarının içerisinde boşluklar oluşturulması plak kalınlığını arttırırken döşemenin daha hafif olmasını da sağlamaktadır. Bunun sonucu olarak döşeme rijitliğine de etki etmektedir.

Kör kalıp sistemleri kullanılarak yapı ağırlığı azaltılır ve daha büyük açıklıklar geçilebilir. Daha az yapı malzemesi kullanılacağından dolayı maliyetler azalacaktır. Ayrıca aynı ağırlık karşılığında daha rijit plaklar, daha az sehim ve titreşim problemleri oluşmaktadır. Faydalı yük/Ölü yük oranının artması ve bu sebeple daha verimli taşıyıcı sistem elde edilmesi sağlanmaktadır. Boşluklu döşemeler, sadece mühendislik çözümü olmamakla beraber sürdürülebilir ve yeşil bina sistemini de sağlamaktadırlar. Sistemde kullanılan plastik kör kalıplar geri dönüşümlü malzemelerden yapılmaktadır. Burada 1kg'lık geri dönüşümlü plastik 100kg beton yerine geçmektedir. Böylelikle, binaların yapısal problemi çözülürken aynı zamanda karbon izleri de azaltılmaktadır. Bu da ileriye dönük sürdürülebilir bir tasarım ortaya çıkarmaktadır. Yapısal olarak yapı hafiflediğinden dolayı, yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri azalmakta; bunun sonucu olarak daha küçük boyutlu elemanlar tasarlanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Boşluklu Kirişsiz Döşeme; Kirişsiz Plak Döşeme; Zımbalama

STRUCTURAL MODELING OF FLAT SLABS USING PLASTIC VOIDED

FORMERS

ABSTRACT

The invention of a new type of hollow core slabs was a breakthrough at the turn of 20th and 21th centuries. During the first decade there have been many studies on the feasibility of using the new technology. This article presents the different types of hollow core slabs technology that have appeared over the last 15 years. Hollow biaxial slabs, also known as biaxial voided slabs, are reinforced concrete slabs in which voids allow to reduce the amount (volume) of concrete. The main disadvantage of concrete constructions, in case of flat slabs, is the high weight which limits the span. For this reason, basic research in the field of reinforced concrete structures have focused on enhancing the span, either by reducing the weight or overcoming concrete's natural weakness in tension. An assumption has been made about the necessity of further research of modern technologies for creating hollow slabs. Various producer organizations of this kind of slab and the main differences between them should be reviewed and summarized. Also it is necessary to allocate the available advantages and disadvantages of the new technology, and in the future to compare with the currently known methods. On this basis, we should determine the feasibility of new technologies. In principle, plastic voided slabs acts like solid slabs. Designing as a result can be obtained as solid slabs, just with a smaller load, corresponding to the reduced amount of concrete.

A solid slab can only carry approximately one third of its own weight, and have problems with long spans due to its high weight. According to the analysis, due to the fact, that the structural behavior of this new kind of monolithic flat slab is the same as for solid slab, excluding slab-edge column connection, we surely can talk about appropriateness of use and advantages of the new technology. Concrete usage is reduced – 1kg of recycled plastic replaces 100kg of concrete. The technology is environmentally green and sustainable. Avoiding the cement production allows to reduce global CO₂ emissions. This technology is very prospective in modern construction.

Keywords: Void Slabs; Flat Slabs, Punching

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR
BEYANNAME
ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. TEK YÖNLÜ ve ÇİFT YÖNLÜ BETONARME PLAK DÖŞEMELER	8
3.1. Döşemeler ve Türleri.....	8
3.2. Kirişli Döşemeler	12
3.2.1. Bir doğrultuda çalışan döşemeler	12
3.2.2. İki doğrultuda çalışan döşemeler	16
3.3. Dişli (Nervürlü) ve Asmolen Döşemeler.....	21
3.3.1. Tek doğrultuda çalışan dişli döşeme (asmolen).....	21
3.3.1. Çift doğrultuda çalışan dişli döşeme (kaset döşeme).....	22
3.4. Kirişsiz Döşemeler	23
3.5. Kirişsiz Plak Döşeme Avantajları	25
3.6. Kirişsiz Plak Döşeme Dezavantajları	26
4. KİRİŞSİZ DÖŞEME SİSTEMLERİNDE ÖZEL UYGULAMALAR.....	27
4.1. Başlıklı ve Tablalı Kirişsiz Döşemeler.....	27
4.1.1. Kirişsiz döşemelerde zımbalama	29
4.1.2. Deprem yönetmeliğine göre zımbalama	34
4.2. Ardgermeli Sistemler	36
4.2.1. Ardgermeli sistemlerde zımbalama	39
4.3. Plastik Boşluklu Kirişsiz Döşeme Sistemleri.....	40
4.3.1. Kör kalıpların kullanım avantajları.....	41
4.3.2. Kör kalıpların kurulumu	42
5. DÖŞEME SİSTEMLERİ İÇİN PARAMETRİK ÇALIŞMA.....	44
5.1. Taşıyıcı Sistem Tipleri	45

5.2. Hareketli Yük Tipleri	52
5.3. Geometri ve Döşeme Sürekliliği	53
5.4. Maliyetlerin Grafiklerle Karşılaştırılması	54
6.STA4-CAD PROGRAMI İLE ÖRNEK BİR BİNANIN ANALİZİ	60
6.1. Analiz Sonuçları	72
7.SONUÇ ve ÖNERİLER.....	92
7.1. Tasarımcıya Öneriler	93
7.2. Üreticiye Öneriler	93
KAYNAKLAR	95
ÖZ GEÇMİŞ.....

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Döşeme ağırlığının azaltılmasında kullanılan geri dönüşümlü plastik malzemeler	4
Şekil 2.2. Ansys programında modellenen boşluklu döşeme	5
Şekil 3.1. Kirişli döşeme	9
Şekil 3.2. Dişli (nervürlü) döşeme, asmolen döşeme ve kaset döşeme	9
Şekil 3.3. Kirişsiz döşeme	9
Şekil 3.4. Döşeme tasarım yükü	12
Şekil 3.5. Tek doğrultuda çalışan kirişli döşemeye ait görünüş	15
Şekil 3.6. İki doğrultuda çalışan kirişli döşemeye ait görünüş	18
Şekil 3.7. Akma çizgileri.....	20
Şekil 3.8. Tek ve çift doğrultuda çalışan plaklarda donatı yerleşimi	21
Şekil 3.9. Asmolen döşeme kat planı	22
Şekil 3.10. Kaset döşeme kalıp planı	23
Şekil 3.11. Kirişsiz döşemelerde orta ve kolon şeridindeki moment oranları.....	25
Şekil 4.1. Tablasız ve başlıksız kirişsiz döşeme, başlıklı kirişsiz döşeme, başlıklı ve tablalı kirişsiz döşeme, başlıklı ve tablalı kirişsiz döşeme.....	27
Şekil 4.2. Kirişsiz döşeme şerit bilgisi	28
Şekil 4.3. Kirişsiz döşemede tabla ve başlık boyutları.....	29
Şekil 4.4. Kirişsiz döşemede zımbalama etkisi örneği	30
Şekil 4.5. Kirişsiz döşeme zımbalama çevresi ve tasarım zımbalama kuvveti	31
Şekil 4.6. Kolon yerine göre zımbalama çevresi.....	32
Şekil 4.7. Kirişsiz döşemelede kolon başlığı ve tabla	33
Şekil 4.8. Moment yönlerine göre dışmerkezlik hesabı	33
Şekil 4.9. Zımbalama donatılarının yerleşimi	36
Şekil 4.10. Ardgerme kılıfları.....	37
Şekil 4.11. Kör ankraj ile halatların kilitlenmesi.....	37
Şekil 4.12. Ardgerme yapılacak halatlar.....	38
Şekil 4.13. Ardgerme uygulaması.	38
Şekil 4.14. Elips şeklinde kör kalıp, daire şeklinde kör kalıp ve kare şeklinde kör kalıp şekilleri.....	41

Şekil 4.15. Tek parça ve çift parça plastik kör kalıbın aksonometrik görünümü	42
Şekil 4.16. Tek parça plastik kör kalıp ve çift parça plastik kör kalıp ile oluşturulan döşeme en kesiti	42
Şekil 4.17. Kör kalıp dizilimi ve beton dökümü	43
Şekil 5.1. Kirişli plak sistem kalıp planı, bir doğrultuda dişli döşeme kalıp planı, iki doğrultuda dişli döşeme kalıp planı(kaset döşeme), başlıksız kirişsiz döşeme kalıp planı, başlıklı kirişsiz döşeme kalıp planı(mantar döşeme), boşluklu kirişsiz döşeme kalıp planı ve boşluklu dişli döşeme kalıp planı	52
Şekil 5.2. 12mx12m çoklu açıklıklı döşeme sisteminin, toplam maliyet karşılaştırması, beton oranları karşılaştırması, kalıp oranları karşılaştırması, donatı oranları karşılaştırması, donatı/beton oranları karşılaştırması.....	62
Şekil 6.1. Sta4-cad giriş ekranı	60
Şekil 6.2. Sta4-cad yapı bilgi giriş ekranı.....	61
Şekil 6.3. Analiz yapılan binanın 3D modeli	62
Şekil 6.4. Analiz yapılan binanın mimari kesiti	63
Şekil 6.5. Kullanılan beton ve donatının özellikleri	64
Şekil 6.6. Deprem yer hareket düzeyi DD-2	65
Şekil 6.7. Yerel zemin sınıfları	66
Şekil 6.8. Türkiye deprem tehlike haritaları.....	67
Şekil 6.9. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayısı	67
Şekil 6.10. Hareketli yük katılım katsayısının seçildiği çizelge.....	68
Şekil 6.11. Analiz yapılan binanın yapı genel bilgileri.	68
Şekil 6.12. Analiz yapılan binadaki kirişli döşeme kalıp planı, analiz yapılan binadaki kaset döşeme kalıp planı ve analiz yapılan binadaki boşluklu döşeme kalıp planı.....	70
Şekil 6.13. Sta4-cad programında analizi yapılmış yük kombinasyonları.	71
Şekil 6.14. Seçilen boşluklu döşeme geometrisi.	71
Şekil 6.15. Analizi yapılan yapının, toplam maliyet karşılaştırması, beton oranları karşılaştırması, kalıp oranları karşılaştırması, donatı oranları karşılaştırması, donatı/beton oranları karşılaştırması	75
Şekil 6.16. Analizi yapılan yapıların yatay elastik tasarım spektrumları	76

- Şekil 6.17.** Boşluklu döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu farklı 4 adet moda göre X ve Y yönündeki kat deplasman grafikleri..... 81
- Şekil 6.18.** Kaset döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu farklı 4 adet moda göre X ve Y yönündeki kat deplasman grafikleri..... 83
- Şekil 6.19.** Kirişli döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu farklı 4 adet moda göre X ve Y yönündeki kat deplasman grafikleri..... 85
- Şekil 6.20.** Boşluklu döşeme ile modellenen yapımızın analizler sonucunda X ve Y yönündeki katlara göre taban kesme kuvvetleri..... 86
- Şekil 6.21.** Kaset döşeme ile modellenen yapımızın analizler sonucunda X ve Y yönündeki katlara göre taban kesme kuvvetleri..... 87
- Şekil 6.22.** Kirişli döşeme ile modellenen yapımızın analizler sonucunda X ve Y yönündeki katlara göre taban kesme kuvvetleri..... 87
- Şekil 6.23.** Boşluklu döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda katlara göre kat deprem momentleri ve perde taban momentleri..... 89
- Şekil 6.24.** Kaset döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda katlara göre kat deprem momentleri ve perde taban momentleri..... 90
- Şekil 6.25.** Kirişli döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda katlara göre kat deprem momentleri ve perde taban momentleri..... 91

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. İnşaatlardaki bazı malzemelerin karakteristik yoğunlukları.....	10
Çizelge 3.2. Birçok farklı amaçla kullanılan döşemelerde alınması gereken hareketli yük hesap değerleri	11
Çizelge 3.3. Döşeme koşullarına göre α katsayısının değerleri	17
Çizelge 5.1. Seçilen boşluklu döşeme parametreleri.	44
Çizelge 5.2. Taşıyıcı sistem tipi	45
Çizelge 5.3. Hareketli yük tipleri	53
Çizelge 5.4. Geometri ve döşeme sürekliliği	54
Çizelge 6.1. Yapı malzemelerinin hesaplarda kabul edilen fiyatları.	72
Çizelge 6.2. Boşluklu döşeme ile modellenen yapımızın yapılan analizler sonucunda +X, -X, +Y ve -Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri.	77
Çizelge 6.3. Kaset döşeme ile modellenen yapımızın yapılan analizler sonucunda +X, -X, +Y ve -Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri.	78
Çizelge 6.4. Kirişli döşeme ile modellenen yapımızın yapılan analizler sonucunda +X, -X, +Y ve -Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri.	79
Çizelge 6.5. Boşluklu döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu X ve Y yönündeki farklı modlara göre kat deplasmanları.	80
Çizelge 6.6. Kaset döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu X ve Y yönündeki farklı modlara göre kat deplasmanları.	82
Çizelge 6.7. Kirişli döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu X ve Y yönündeki farklı modlara göre kat deplasmanları.	84

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A_{sk}	: 1000 mm lik Şeritteki Donatı Alanı (kısa doğrultuda)
A_{su}	: 1000 mm lik Şeritteki Donatı Alanı (uzun doğrultuda)
A_{sek}	: 1000 mm lik Şeritteki Ek Donatı Alanı (kısa kenar mesnetlerinde)
A_k	: Her Bir Kolon Çevresindeki Döşeme Açıklıklarının Yarıısı Dikkate Alınarak Belirlenen Alan
A	: Modül Beton Kesit Alanı
A/m	: Birim Boyda Beton Kesit Alanı
a	: Zımbalama Hesabında Momentin Geldiği Doğrultudaki Kolon Boyutu
b_x, b_y	: Zımbalama Çevresinin (up) “x” ve “y” Doğrultularındaki Boyutları
b_w	: Dişli Döşemede Diş Genişliği
b	: Modül Genişliği
c_t	: Ampirik Doğal Titreşim Periyodu hesabında Kullanılan Katsayı
d	: Modül Yüksekliği
d^*	: Atalet Momenti Açısından Eşdeğer Boşluksuz Döşeme Yüksekliği
d_k	: Faydalı Yükseklik (kısa doğrultuda)
d_u	: Faydalı Yükseklik (uzun doğrultuda)
d_o	: Dairesel Kolon Çapı
D	: Dayanım Fazlalığı Katsayısı
e	: Komşu İki Diş Arasındaki Net Uzaklık
e_x, e_y	: “x” ve “y” Doğrultularındaki Dışmerkezlikler
F_{res}	: Zımbalama Dayanımı
f_{ctd}	: Beton Tasarım Eksenel Çekme Dayanımı
F_d	: Tasarım Eksenel Yük
F_a	: Zımbalama Çevresinin (up) İçinde Kalan Plak Yüklerinin Toplamı
F_S, F_1	: Yerel Zemin Etki Katsayıları
g	: Sabit Yük
g	: Yer Çekimi İvmesi
h	: Döşeme Kalınlığı
I	: Modül Atalet Momenti

I	: Bina Önem Katsayısı
II/m	: Birim Boyda Atalet Momenti
kII/m	: Birim Boyda Atalet Momenti İçin Düzeltme Katsayısı
kAI/m	: Birim Boyda Efektif Beton Kesit Alanı İçin Düzeltme Katsayısı
kvI/m	: Birim Boyda Hacim İçin Düzeltme Katsayısı
L_{knet}	: Kısa Doğrultudaki Net Açıklık
L_k	: Döşemenin Kısa Kenarı
L_u	: Döşemenin Uzun Kenarı
l_1	: Döşemenin Uzun Doğrultuda, Mesnet Eksenleri Arasında Kalan Açıklığı
l_s	: Döşemenin Kısa Doğrultuda, Mesnet Eksenleri Arasında Kalan Açıklığı
l_n	: Döşemenin İncelenen Doğrultudaki Serbest Açıklığı
m	: Döşeme Uzun Kenarının Kısa Kenarına Oranı, $m = l_1 / l_s$
m_t	: Binanın Bodrum Katlarının Üstündeki Üst Bölümünün Toplam Kütlesi
M_d	: Tasarım Eğilme Momenti
M_0	: Toplam Statik Moment
M_o	: Binanın Tümü için Deprem Yüklerinden Tabanda Meydana Gelen Toplam Devrilme Momenti
M_{d1}, M_{d2}	: Kolon Yüzündeki Plak Tasarım ve Eğilme Momenti
M_{DEV}	: Betonarme Perdenin veya Çaprazlı Çerçevenin Tabanında Deprem Yüklerinden Meydana Gelen Devrilme Momenti
n	: Hareketli Yük Katılım Katsayısı
N_1, N_2	: Zımbalamada Üst ve Alt Kolon Eksenel Yükleri
P_d	: Düzgün Yayılı Döşeme Tasarım Yükü
pp	: Paspayı
pk	: Donatı Oranı (kısa doğrultuda, 1m lik plak şeridinde)
$P_{eşdeğer}$: Üçgen veya Trapez Yük Yerine Kullanılabilecek Düzgün Yayılı Eşdeğer Yük
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
S_s	: Kısa Periyod Harita Spektral İvme Katsayısı
S_1	: 1.0 Saniye Periyod için Harita Spektral İvme Katsayısı
S_{DS}, S_{D1}	: Tasarım Spektral İvme Katsayıları

q	: Hareketli Yük
T	: Doğal Titreşim Periyodu
T	: Yatay Elastik Spektrumu
T_p	: Hakim Doğal Titreşim Periyodu
T_{pA}	: Ampirik Hakim Doğal Titreşim Periyodu
t	: Dişli Döşeme Plak Kalınlığı
t_o	: Tabla Kalınlığı
t_g	: Diş Gövde Kalınlığı
t_a	: Alt Tabla Derinliği
t_u	: Üst Tabla Derinliği
u_p	: Zımbalama Çevresi (yüklenen alana $d/2$ uzaklıkta)
V_{tE}	: Deprem Doğrultusunda Binanın Tümüne Etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (taban kesme kuvveti)
V_{pr}	: Zımbalama Dayanımı
V_{pd}	: Tasarım Zımbalama Kuvveti
v	: Modülün Tam Dolu Beton Hacmi
v/m	: Birim Boyda Beton Hacmi
W_m	: Zımbalama Çevresinin (u_p) İçinde Kalan Alanın Dayanım Momenti
x	: Kör Kalıp Modülü Genişliği
y	: Kör Kalıp Modülü Yüksekliği
\emptyset	: Donatı Çapı
α_s	: Döşeme Sürekli Kenar Uzunlukları Toplamının Kenar Uzunlukları Toplamına Oranı
α	: Zımbalama Hesabında Katsayı
ρ	: Donatı Oranı
ρ_κ	: Donatı Oranı (kısa doğrultuda, 1m lik plak şeridinde)
ρ_v	: Donatı Oranı (uzun doğrultuda, 1m lik plak şeridinde)
γ	: Zımbalamada Eğilme Etkisini Yansıtan Katsayı
η	: Zımbalama Hesabında Bir Katsayı
Δ_i	: Deprem Doğrultusunda Herhangi Bir Kolon veya Perde için, Ardışık İki Kat Arasındaki Yer Değiştirme Farkını İfade Eden Azaltılmış Göreli Kat Ötelemesi

- δ_i : Deprem Doğrultusu için, Binanın i'inci Katındaki Kolon veya Perdeler için Etkin Göreli Kat Ötelemesi
- ω : Titreşim Moduna ait Doğal Titreşim Açısal Frekansı

Kısaltmalar

- ACI : Amerikan Beton Enstitüsü
- BKS : Bina Kullanım Sınıfı
- BS : Kiriş Plak Sistem.(Beam Slab)
- BŞLK1 : Boşluklu Kirişsiz Döşeme
- BŞLK2 : Boşluklu Dişli Döşeme
- DTS : Deprem Tasarım Sınıfı
- DD-1 : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
- DD-2 : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
- DD-3 : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
- FLT : Başlıksız Kirişsiz Döşeme (Flat Slab)
- MSH : Başlıklı Kirişsiz (Mantar) Döşeme (Mushroom Slab)
- RIB : Bir Doğrultuda Dişli (Nervürlü) Döşeme (Ribbed Slab)
- TBYD : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
- TS 498 : Yapı Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
- TS 500 : Betonarme Yapılarının Tasarım ve Yapım Kurallarına ait Türk Standardı
- TS ISO 9194 : İnşaatlardaki Bazı Malzemelerin Karakteristik Yoğunlukları
- WFF : İki Doğrultuda Dişli (Kaset) Döşeme (Waffle Slab)

1. GİRİŞ

Betonarme 1850’li yıllarda ortaya çıkmaya başlamıştır. Hollandalı ünlü mimar, Hendrik Petrus Berlage, 165 yıllık geçmişe sahip betonarmeyi 1922 yılında; “Betonarme, malzeme alanında demirden sonraki en önemli, olan buluştur” diye tanımlamıştır (Topçu, 2018). Günümüzdeki yapılarda yaygın olarak kullanılan betonarme taşıyıcı sistemi ahşap, çelik ve kompozit taşıyıcı sistemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise betonarmenin daha ekonomik ve daha dayanıklı olmasıdır.

Avrupa’da döşeme sisteminin tarihine baktığımızda Robert Maillart’ın çalışmaları karşımıza çıkmaktadır. 1908’de kiriş kullanmadan betonarme bir döşemenin yapılıp yapılamayacağına dair deneysel çalışmalar yapmıştır. Mesnet bölgelerinde yüksek gerilmelerden dolayı oluşan kesme ve eğilme etkilerini karşılaması için kolon üst uçlarına geniş başlıklar kullanarak ilk kirişsiz döşeme sistemini yapmıştır. 1909 yılında patentini almış ve 1910 yılında Zürih’de bir depo inşaatında bunu ilk kez kullanmıştır.

Amerika Bileşik Devletlerine baktığımızda ise Robert Mailart’dan önce 1905 yılında mantar döşeme hakkında Turner’in çalışmaları olmuş ve bir kavram oluşturmuştur.

Mantar döşeme çalışmalarıyla öncelikle kirişler olmadan daha geniş hacimlere ulaşıldıktan sonra daha geniş açıklıklar elde etmek için döşemenin ağırlığını azaltmakta bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Günümüzde de teknolojinin gelişmesiyle analiz programları uygun hale gelmiş ve zımbalama konularında edinilen bilgilerle kirişsiz döşeme sistemi sıklıkla kullanılır hale gelmiştir. Özellikle yüksek binalar, alışveriş merkezleri, otoparklar, köprüler gibi büyük açıklığa ve daha estetik düz bir tavana ihtiyaç duyulan yapılarda çokça kullanılmaya başlamıştır. Bu yapılardaki büyük açıklıklar ya ardgerme ya da boşluklu döşemelerle çözüme ulaştırılmaya başlanmıştır. Ancak boşluklu döşeme, uygulama olarak daha kolay ve maliyet olarak daha uygun olduğu için ardgermeye göre daha fazla tercih edilmiştir (Gezer,2018).

Boşluklu döşeme içinde kullanılan geri dönüştürülebilir polipropilenden üretilmiş kör kalıplar, birçok özel firma tarafından üretilmeye başlanmıştır. Bu kör

kalıplar yüksek yoğunluklu polietilenden elips, dairesel ve kare şeklinde üretilip yaygın biçimde kullanılmaya başlamıştır (Gezer,2018).

Bilindiği üzere yapılarda ağırlığın büyük bir bölümü döşemelerden gelmektedir. Son yıllarda döşeme sistemlerinin çeşitliliği artmıştır ve yapılan iyileştirmelerle döşemelerin hafifletilmesi sağlanmıştır. Yapıya gelen yatay yüklerin yapı elemanları olan kolonlara ve perdelere aktarılması döşeme sistemlerinin rijit diyafram olarak çalıştırılmasıyla mümkündür. Döşeme sisteminin rijitliği artırılırken ağırlığı da azaltılmaktadır. Döşeme sistemlerinin ağırlığının azaltılabilmesi döşemelerin içinde boşluklar oluşturulmasıyla mümkün olmaktadır. Boşluklar döşeme içerisinde kullanılan farklı geometrik özelliklere sahip geri dönüştürülebilir polipropilenden üretilmiş kör kalıp sistemleri ile yapılabilir (Mülazimoğlu, 2019).

Plastik boşluklu döşeme sisteminin ilk uygulama projesi Bubbledeck firması tarafından 1999 yılında Holanda'nın Rotterdam şehrinde Millennium Tower binasına uygulanmıştır (6th International Advanced Technologies Symposium, 2011). Dünya'da plastik boşluklu kirişsiz döşeme sistemlerin uygulandığı projelerden birkaç örneği ise Columbia Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi (2014), Freiburg Üniversitesi Kütüphanesi (2013), Emaar Square-İstanbul (2014), Topkapı Kale Projesi (2015), Borsa İş Kule (2015), Park Royal-Singapur (2012), WestLink – Zurich (2012), FH Kampüsü – Viyana (2009), Walfer Alışveriş Merkezi-Lüksemburg (2008), Sogn Arena-Oslo (2007), City Hall-Glostrup (2004), Millennium Tower-Rotterdam(1999) vd. olarak verilebilir (URL-1 ve URL-2).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

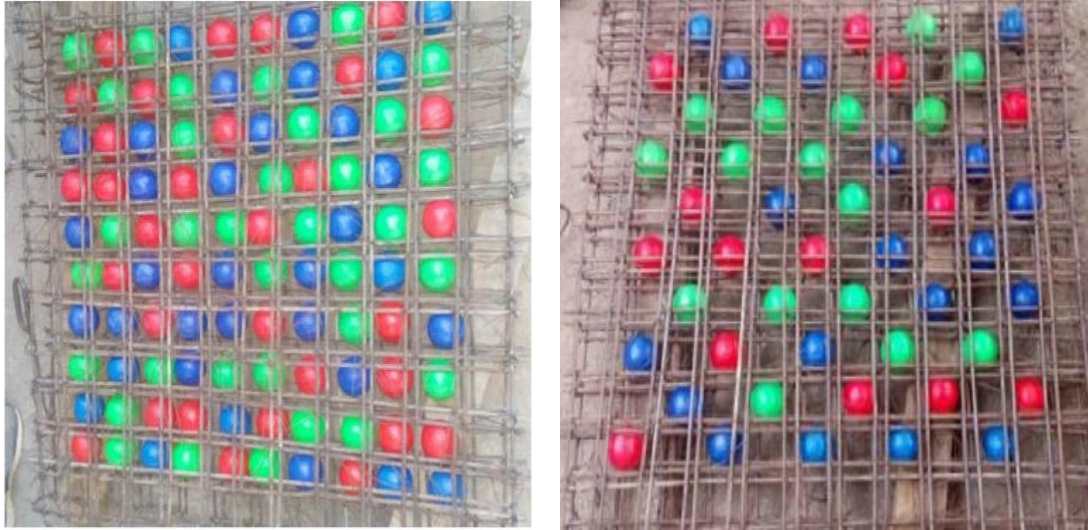
Calin ve Asavaie (2010), çalışmalarında kullanılan plastik kürelerin çaplarının ve şekil değişimlerinin dayanıma etkisi üzerinde tam ölçekli testler gerçekleştirmişlerdir. Test numunelerinin statik yükleme altında çatlak oluşumları, göçme karakteristikleri ve oluşan deformasyonları bulunmuştur. Bulunan sonuçlar elips şeklindeki boşluklu döşemelerin küresel boşluğa sahip döşemelerden daha iyi davrandığını göstermiştir.

Shetkar ve Hanche (2015), 180 mm – 450 mm kadar değişen farklı boşluk çaplara sahip ve 230 mm – 600 mm' ye kadar farklı derinliklerdeki boşluklu döşemeler üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmalarında boşluk çapının değişiminin döşeme kalınlığına oranları üzerinde göçme modlarını gözlemlemişlerdir. Test sonuçları boşlukların çapları arttıkça daha iyi yük taşıdıklarını bununla beraber kullanılan beton malzemenin azaldığı belirtmişlerdir.

Taşkın (2014), çalışmalarında taşıyıcı sistem tipi, hareketli yük, Geometri ve döşeme sürekliliği parametreleri kullanılarak 9 farklı döşeme sistemi üzerinde konutlar veya ofislerden depolama bölgesinde hesaba katılması gereken 5 farklı yükleme tipinde ve 16 farklı açıklıkta toplam 720 adet sayısal analiz modeli oluşturulmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Mevcut yönetmeliklere göre, birbiriyle entegre gelişmiş hesap, donatı detaylandırma ve pozlu metraj yapabilen bir sayısal analiz programı kullanılarak farklı döşeme sistemlerinin çeşitli parametreler için çözümlü m² bazında maliyetleri, kalıp, beton ve donatı oranları karşılaştırılmıştır.

Jamal ve Jolly (2012), boşluklu döşemeler üzerinde Ansys sonlu elemanlar programı kullanılarak farklı beton basınç dayanımlarına göre üretilmiş modeller üzerinde analizler yapmışlardır. Bu analizlerde modeller üzerinde toplam yer değiştirme deformasyon ve eşdeğer gerilme yöntemine göre küresel ve eliptik boşlukların davranışlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bulunan sonuçlara göre eliptik boşluklara sahip olan modeller daha fazla yük taşımışlardır. Beton basınç dayanımı arttıkça her iki tip numunede davranış iyileşmiştir. Ortalama olarak her iki numunede %30 oranında hafiflik sağlamıştır.

Bhowmik ve arkadaşları (2017) geleneksel plak döşemelerin boşluklu döşeme sistemlerine göre karşılaştırılmaları konusunda bir derleme çalışması yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda yapıların ağırlaşmasıyla beraber büyük deprem kuvvetlerinin yapıyı etkilediği görülmüş olup yapının ağırlığının azaltılması konusunun ön plana çıktığını belirtmişlerdir. Yapının ağırlığının azaltılmasında en önemli yapı elemanının döşeme olduğu ve içerisinde boşluklar meydana getirerek ağırlığının azaltılmasının mümkün olacağını belirtmişlerdir. Şekil 1,2’de görüldüğü gibi boşluklu döşeme sistemlerinde geri dönüşümlü plastik malzemeler küre elips veya prizmatik numuneler şeklinde kullanılabilir ve yapıda %30 luk bir azalma olacağını söylemişlerdir.



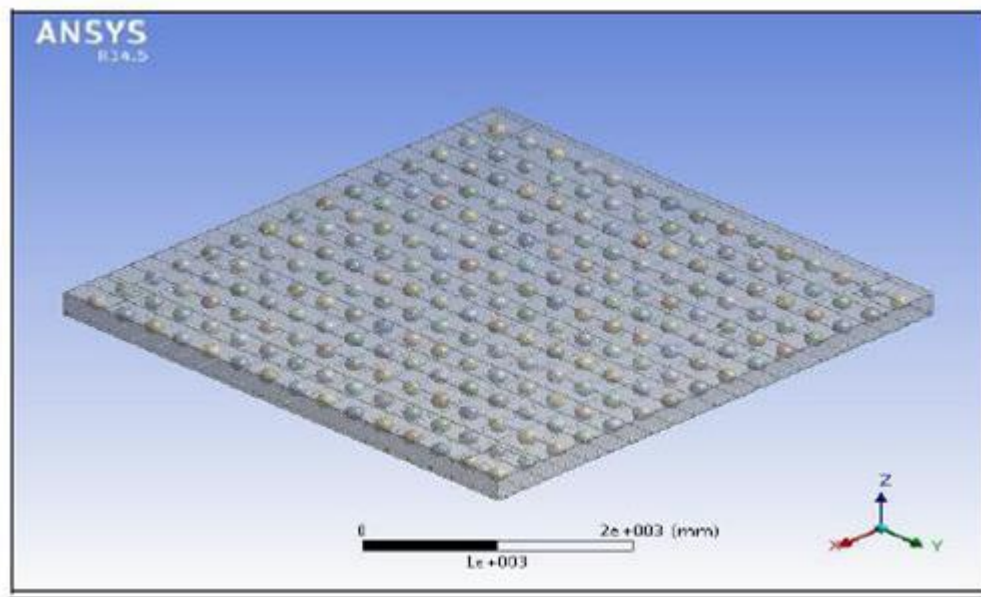
Şekil 2.1. Döşeme ağırlığının azaltılmasında kullanılan geri dönüşümlü plastik Malzemeler (Bhowmik ve arkadaşları, 2017).

Marais ve arkadaşları (2010), öngörülen ve mantar döşeme sistemlerine göre küresel kör kalıplarla imal edilmiş döşemelerin ekonomik değerleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir ve bunun sonucunda boşluklu döşemenin yaklaşık olarak en az %10 daha ekonomik olduğu göstermişlerdir.

Ali ve Kumar (2017), 2017 yılında yapmış oldukları sayısal çalışmada farklı mesnetlenme durumlarına göre farklı yüklenme durumlarının boşluklu döşemeler üzerindeki etkilerini ansys sonlu elemanlar programı kullanılarak göstermişlerdir. Çalışmada özellikle döşemenin tarafsız ekseninin altında kalan (çekme bölgesinde) betonun davranışı olan etkisini ön plana çıkarmışlardır. Analiz sonuçları uniform yayılı

yük altında oluşan toplam yer değiştirme Von-mises gerilmeleri kullanılarak yorumlamışlardır.

Purushottam ve Hemantkumar (2016), 2016 yılında yapılan bu çalışmada farklı açıklıklara sahip döşeme plakları üzerinde Ansys programı kullanılarak modellemeler yapılmıştır. Döşeme modelleri ACI 318-11 ' e göre ve Bubble Deck tasarım kılavuzuna göre üretilmişlerdir. Sonlu elemanlar analiz sonuçları toplam ağırlık eğilme donatıları miktarı moment kapasiteleri hesaplanmış yönetmelik karşılaştırmaları verilmiştir. Bulunan sonuçlara göre boşluklu döşemelerin ekonomik olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2.2. Ansys programında modellenen boşluklu döşeme (Purushottam ve Hemantkumar, 2016).

Coronelli ve arkadaşları (2016), Boşluklu döşeme sistemine ait atalet değişimlerinin dayandığı plak teorileri denklemleri yazılarak gösterilmiştir. Boşluklu döşemede genellikle kirişsiz döşemelerde kullanılmaktadır. Bu döşeme sistemlerinde zımbalama büyük önem taşıdığı için bu konuda detaylı açıklamalar ve zımbalama donatıları Eurocode'a göre anlatılmıştır. Son olarak teorik bilgileri kullanarak Abaqus programında eğilme altında boşluklu döşemenin düşey yük ve yer değiştirme grafikleri karşılaştırılmıştır. Zımbalama etkileri için deneyler yapılarak Sap2000 programıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Surendar ve arkadaşları (2016), plak döşemelerin hafifletilmesi amacıyla plastik kör kalıpların kullanımına yönelik sayısal ve deneysel bir çalışma yapmışlardır. Döşemenin yapısal davranışını göstermek için ansys sonlu eleman programı kullanılmıştır. Araştırmacılar maksimum taşıma kapasitesi, gerilme dağılımları ve şekil değiştirmeleri sayısal olarak ölçmüşler ve deneysel çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak boşluklu döşemenin plak döşemeye göre daha iyi davrandığı belirlenmiştir.

Gezer (2018), tez çalışmasında boşluklu döşeme sistemine sahip yüksek katlı bir yapının TBDY şartlarını sağlayan bir proje örneği yapmıştır. Proje örneğinin taşıyıcı sistemi yönetmelik koşullarına göre oluşturulduktan sonra analizleri tamamlanmış ve döşeme için eğilme ve kesme tasarımı yapmıştır. TBDY döşeme için kontrol edilmesi gereken özel şartlar olan döşemelerin perdeye deprem yükünü aktardığı, düzlem içi gerilme sınırlarının sağlandığı ve zımbalama yönünden problem olmadığı hesapsal olarak göstermiştir. Deneyleri tamamlanan numunelerde malzeme deney sonuçları sonucu elde edilen parametreler kullanılarak ve yönetmelik değerleri kullanılarak deneyi yapılan boşluklu döşeme kesitinin matematiksel modelini oluşturmuştur. Sistem olarak yüklenen yük ve açıklık ortasında okunan yer değiştirme grafikleri matematiksel modelden elde edilen grafikler ile karşılaştırmıştır. Kesit olarak deney sonucu açıklık ortasında elde edilen moment dönme grafikleri matematiksel modelde tanımlanan değerler ile kıyaslamıştır. Tez kapsamı boyunca elde edilen sonuçlar ve dikkat edilmesi gereken konular hakkında önerilerde bulunmuştur.

Chung ve arkadaşları (2010), boşluklu döşeme için bırakılacak boşluğun önemi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda küre boşluktan kare boşluğa kadar farklı tipik şekillerde, şekillerin köşelerinin yarıçapları ve boşluk plastiğinin ortasındaki bırakılan delik ile beton girmiş bölgenin çapı bakımından olmak üzere üç tip parametre üzerinde analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları olarak da eğilme ve kesme yükleri altında yük ve yer değiştirme grafikleri incelenmiştir. Sonuç olarak boşluklu döşeme de %45'e varan ağırlık kazancı sağlayan şekil kare şekildir. Ancak gerilme yığılımları ve çatlak dağılımı düşünüldüğünde 50 mm yarıçapa sahip köşelerin olduğu kesit optimum kesit olarak belirlenmiştir.

Bhagat ve Parikh (2014), farklı açıklıklarda ve farklı kalınlıklarda döşeme sistemlerinde rijitlik ve hacim değişiklikleri dikkate alınarak sayısal yöntemlerle ve

Sap2000 programında analizler yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarında tepki kuvvetleri, yer değiştirmeler ve moment değerleri gösterilmiştir. Boşluklu döşeme zati ağırlık tasarrufu sağladığı için moment değerleri %7-10 arasında daha az olduğu gözlemlenmiştir. Boşluk bırakılarak oluşturulan döşeme de daha az moment olduğu için ve atalet daha düşük olduğu için aynı yükler altında boşluksuz döşeme ile benzer yer değiştirme değerleri okunmaktadır. Donatı moment değerlerine göre koyulduğu için donatı miktarında %20'e varan kazanç sağlanmaktadır. Sonuç olarak boşluksuz döşemenin rijitlik düzeltme katsayısı ve hacim azaltma katsayısı ile modellenebileceği gösterilmiştir.

Mülazimoğlu (2019), tez çalışmasında kirişli, kirişsiz, boşluklu, asmolen ve kaset döşemelerde tek ve çift doğrultuda 16 farklı açıklıkta beş farklı hareketli yük altında toplam 560 adet sayısal analiz modeli oluşturmuştur. Bu analizler sonucunda döşeme sistemlerinin beton, kalıp, donatı oranları ve maliyetleri karşılaştırmıştır. Boşluklu döşeme ile yapılan bir binanın SAFE (integrated design of slabs, mats and footings) programı kullanılarak nasıl modellenebileceği göstermiştir. Ardından kesme dayanımı, eğilme dayanımı, zımbalama dayanımı, sehim değerleri, donatı alanları grafiklerle göstermiştir. Sonuçları değerlendirmiş olup boşluklu döşeme ile ilgili bazı öneriler sunmuştur.

Naik S.R. ve Joshi D. (2017), 2017 yılında Hindistan da IS456:2000 standardı kullanılarak yapılan bir çalışmada yüksek yoğunluklu politen plastik küreler kullanılarak sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Burada kullanılan küre boşluklar 'bubble deck' sistemleri olmakla beraber 7x8,6x7, 8x9 açıklıklarına sahip 13 katlı bina üzerinde SAP2000 programı kullanılarak modellenmiştir. Çalışmanın sonucunda araştırmacılar boşluklu döşemelerde açıklık farklarının kesme kuvveti, eğilme momenti, kesit tesirleri ve sehim miktarları üzerindeki değişimleri gösterilmiştir.

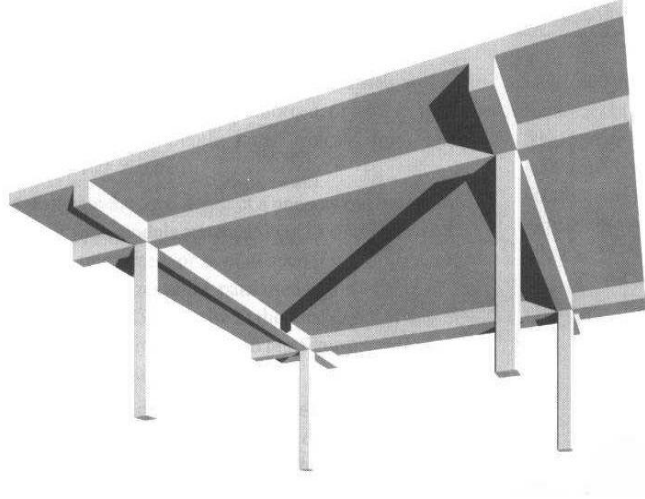
3.TEK YÖNLÜ ve ÇİFT YÖNLÜ BETONARME PLAK DÖŞEMELER

Döşemeler, üzerlerine gelen zati ve hareketli yükleri kirişlere veya doğrudan düşey taşıyıcı eleman olan kolonlara ileten, binayı katlara ayıran yatay betonarme elemanlardır. Ayrıca döşemeler rüzgâr ve deprem gibi yatay yükleri de düşey taşıyıcı sistemlere aktaran elemanlardır. Kenar açıklıkları ve mesnet durumuna göre bazen tek doğrultuda bazen ise çift doğrultuda çalışmaktadırlar (Celep, 2011).

3.1.Döşemeler ve Türleri

Betonarme döşemeler kirişli plak döşemeler, kirişsiz (mantar) döşemeler, dişli (nervürlü) döşemeler ve kaset döşemelerdir (TS500, 2000). Döşeme türü seçiminde döşemenin maliyeti, bölgenin deprem durumu, kolonlar arası açıklık miktarı, yapının kullanım amacı, yapının plan geometrisi ve etkileyecek yük miktarı göz önüne alınarak döşeme tipi seçilir.

Döşeme türleri üçe ayrılır; Birincisi, kirişli (plak) döşemedir; ülkemizde konutlarda yaygın şekilde kullanılan döşeme sistemidir. Döşeme kenar uzunluklarına göre tek veya çift yönde çalışabilir. Bu döşemeler 7 m açıklığa kadar ekonomiktir, depreme karşı dayanıklılık açısından ise en dayanıklı döşeme sistemidir. İkincisi, dişli/nervürlü döşemelerdir. Ara dişlerin (kirişçiklerin) ana kirişlere oturtulmasıyla oluşan ve üzerlerinde çok ince bir plak bulunan döşeme tipidir. Kullanıldıkları duruma göre tek veya çift doğrultuda çalışabilirler. Bu döşemede tipinde, kirişler arası hafif malzeme ile doldurulması halinde asmolen döşeme olarak adlandırılırlar. Asmolen döşeme tipinin dezavantajlarının yanı sıra; kalıp maliyetlerinde azalma, büyük kolon arası açıklıkların geçilmesi, kirişlerin sarkmadığı düz bir tavanın elde edilmesi ve böylelikle her yerde bölme duvar yapılabilir olması gibi mimari tercihler nedeniyle, ülkemizde yaygın şekilde kullanılmaktadır. İki doğrultudaki dişli döşemelere ise kaset döşeme olarak adlandırılmaktadır. Üçüncüsü, kirişsiz döşeme tipidir. Kirişleri olmayan doğrudan olarak kolonlara veya perdelerine oturan döşeme sistemidir. Genelde düz bir tavan istendiğinde ve hafif yükler kullanıldığında tercih edilen bir sistemdir. İşçilik ve kalıp maliyeti az olmasına rağmen kullanılan beton ve donatı miktarları fazladır. Depremde davranışı iyi olmadığından pek tercih edilmez. Kirişsiz döşemelerde en büyük sorun zımbalama olayıdır ve bu durumu engellemek için çeşitli özel uygulamalar kullanılır (Bikçe ve Akyol, 2017).



Şekil 3.1. Kirişli döşeme (Topçu, 2018).

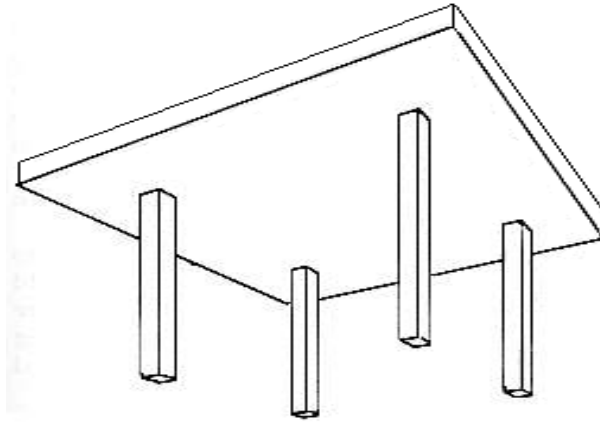


(a)

(b)

(c)

Şekil 3.2. Dişli (nervürlü) döşeme (a), asmolen döşeme (b), kaset döşeme (c) (Topçu,2018).



Şekil 3.3. Kirişsiz döşeme (Topçu, 2018).

Döşemede yük hesapları

Döşemedeki yükler sabit ve hareketli yükler olarak ikiye ayrılır. Döşemenin bu sabit ve hareketli yükleri $1 \times 1 \text{ m}^2$ alan için belirlenir ve söz konusu döşemenin tamamına uygulanır. Döşemeye etkiyen sabit ve hareketli yükler genelde düzgün yayılıdır (Topçu, 2018).

a) Sabit yükler: Döşeme betonarme ve tesviye betonu, kaplama ve sıva ağırlıklarının toplamından oluşur. Varsa, asma tavan ağırlığı ve benzeri ağırlıklar da hesaba katılır. Çizelge 3.1’de inşaatlardaki malzemelerin karakteristik yoğunlukları verilmiştir. Bu tablolar yardımıyla döşeme karakteristik sabit yükü belirlenir. Sabit yük g ile gösterilir (Topçu, 2018).

Çizelge 3.1. İnşaatlardaki bazı malzemelerin karakteristik yoğunlukları (TS ISO 9194, 1997).

Malzeme	Hesap Değeri (1cm. kalınlık için) kN/m^2
Betonarme betonu	25.0
Tesviye betonu	22.0
Sıva(kireçli çimento harcı)	20.0
Mermer	27.0
Meşe ağacı	6.9
Kayın ağacı	6.8
Isı yalıtımlı gazbeton	6.0
Dolu tuğla duvar	14.5
Gazbeton dolgu duvar	7.0
Gazbeton taşıyıcı duvar	13.0
Granit taş duvar	28.0

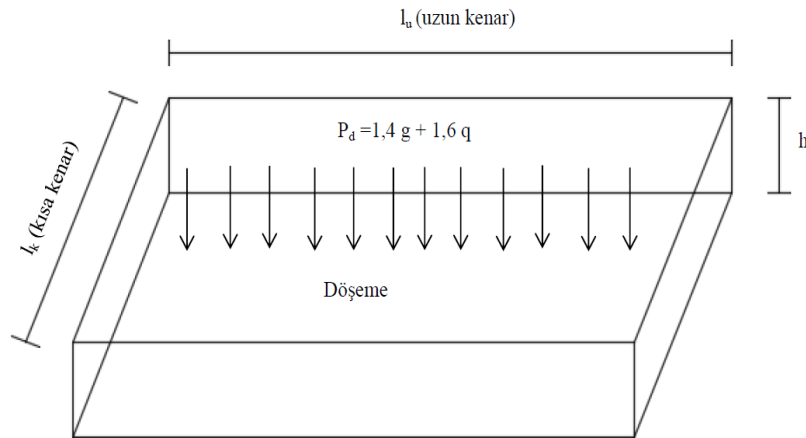
b)Hareketli yük: İnsan yükü, eşya ağırlıkları, kar yükü ve depolanmış malzeme gibi, zamanla yeri ve değeri değişebilen yüklerdir. Bu yükler TS 498 Çizelge 3.2’de konut odaları, merdiven, balkon, kütüphane ve birçok farklı amaçla kullanılan döşemelerde alınması gereken düzgün yayılı düşey hareketli yük hesap değerleri

verilmiştir. Döşeme üzerinde yarım bölme tuğla duvar var ve bunun altında kiriş bulunmuyorsa veya ilerde döşemelerin üzerinde yarım tuğla duvar yapılması söz konusu ise, bu döşemelerin hareketli yükleri $1.5 \sim 2.0 \text{ kN/m}^2$ artırılmalıdır. Hareketli yük q ile gösterilir (Topçu, 2018).

Çizelge 3.2. Birçok farklı amaçla kullanılan döşemelerde alınması gereken hareketli yük hesap değerleri (TS 498, 1997).

Mekan ve kullanma şekli	Yayıllı yük hesap değeri (kN/m^2)
Çatı arası odaları	1.5
Konut, teras ve hastane odaları, koridorları bürolar, konutlarda 50m^2 ye kadar dükkanlar	2.0
Hastanelerin mutfakları, muayene odaları sınıflar, yatakhaneler, anfiler konut merdivenleri	3.5
Cami, tiyatro, sinema, spor ve sergi salonları tribünler, lokantalar, mağazalar, kütüphaneler arşivler, fırınlar, atölyeler büro, hastane, okul, sinemaların koridorları balkonlar 10 m^2 ye kadar	5.0
Garajlar	5.0
Tribünler (oturma yeri sabit olmayan)	7.5

c)Tasarım yükü: Sabit yükün 1.4 ve hareketli yükün 1.6 katının toplamıdır (TS500-2000), P_d ile gösterilir: $P_d = 1.4g + 1.6q$ Döşemenin statik ve betonarme hesapları P_d tasarım yükü ile yapılır (Topçu, 2018).



Şekil 3.4. Döşeme tasarım yükü (TS 500, 2000).

3.2. Kirişli Döşemeler

En az bir kenarı kirişe oturan kalınlığı 8-20 cm arasında değişen, günümüzde konutlarda yaygın şekilde kullanılan döşeme sistemidir. Üzerlerindeki yükü etrafındaki kirişlere dağıtırlar. Düşey yük altında döşemeler eğilir ve momentler oluşur, deprem kuvveti yatay olduğundan döşemenin rijit diyafram gibi çalıştığı ve yükü kolondan kolona aktardığı varsayılır bu nedenle döşemenin moment hesabında deprem kuvveti dikkate alınmaz (Topçu, 2018).

Döşeme kenar uzunluklarına göre tek veya çift yönde çalışabilir. Bu döşemeler 7 m açıklığa kadar ekonomiktir, depreme karşı dayanıklılık açısından ise en dayanıklı döşeme sistemidir. En güvenli sistem dört taraftan kirişlere oturan sistemdir. Bir kenarı boşta kalıyorsa bu döşemelere konsol döşeme denilmektedir. Kirişli plaklarda bazen tek ve çift doğrultuda ara kirişler de kullanılmaktadır. Bu tip kirişlere saplama kiriş denilmektedir.

3.2.1. Bir doğrultuda çalışan döşemeler

Uzun kenar uzunluğunun kısa kenar uzunluğuna oranı (l_u / l_k) 2'den büyük olan kirişli plak döşemeler bir doğrultuda çalışan döşemelerdir. Tek doğrultuda çalışan plakların kalınlığı minimum 80 mm olmalıdır. Plak kalınlığının serbest açıklığa oranı basit mesnetli tek açıklıklı döşemelerde 1/25 ten, sürekli döşemelerde 1/30 dan, konsol döşemelerde 1/12 den az olmamalıdır. Tek doğrultuda çalışan döşemelerde sadece kısa doğrultuda eğilme donatısı konulur, uzun doğrultuda dağıtma donatısı kullanılır. Tek doğrultulu sistemlerde komşu iki açıklığın birbirine oranı (l_{max} / l_{min}) 0,8 den büyük olan

ve hareketli yükün zati yüke oranı (q/g) 2 den küçük olan durumlarda moment katsayıları kullanılır, diğer durumlarda sürekli kiriş teorisine göre elverişsiz yüklemeler yapılarak bulunan en büyük eğilme momentleri kullanılır(TS 500, 2000). Moment katsayıları yönteminde kullanılacak olan açıklık ve mesnet momentleri aşağıdaki bağıntılarda gösterilmiştir.

Açıklık Momentleri Kenar açıklıkta,

$$M_d = p_d l^2 / 11 \quad (3.1)$$

$$\text{İç açıklıkta,} \quad M_d = p_d l^2 / 15 \quad (3.2)$$

Mesnet Momentleri İki açıklıklı plaklarda,

$$\text{Dış mesnetlerde,} \quad M_d = - p_d l^2 / 24 \quad (3.3)$$

$$\text{İç mesnetlerde,} \quad M_d = - p_d l^2 / 8 \quad (3.4)$$

Mesnet Momentleri İkiden fazla açıklıklı plaklarda,

$$\text{Dış mesnetlerde,} \quad M_d = - p_d l^2 / 24 \quad (3.5)$$

$$\text{Kenar açıklığın iç mesnetinde,} \quad M_d = - p_d l^2 / 9 \quad (3.6)$$

$$\text{Diğer iç mesnetlerde,} \quad M_d = - p_d l^2 / 10 \quad (3.7)$$

Burada;

l = döşeme hesap açıklığı

İç mesnetlerde hesap yaparken iki taraftan gelen yük ve uzunlukların aritmetik ortalamaları kullanılmalıdır. Mesnetler girişlerden oluşursa mesnet ortasındaki momentten ΔM değeri çıkarılır ve yeni moment hesaplanır. Azaltılmış olan moment $P_d l^2 / 14$ ten az olmamalıdır.

$$\Delta M = Va/3 \quad (3.8)$$

Burada;

V = hesap yapılan açıklıktaki kesme kuvveti

a = mesnet genişliği (açıklığın 0,175 katından fazla olamaz)

Momentler bulunduktan sonra döşeme için gerekli olan donatı alanı (3.9) bağıntısıyla hesaplanır.

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} \cdot j \cdot d} \quad \text{gerekli donatı alanı} \quad (3.9)$$

Burada;

f_{yd} = donatının akma dayanımı

j = tablolardan alınan katsayı (genelde 0,86 kullanılır).

d = faydalı yükseklik

Bulunan alana göre kısa doğrultu için donatı seçilir. Bu alanın 1/5'i uzun doğrultuda dağıtma donatısı olarak 0,6sı da mesnet donatısı olarak kullanılır. Kullanılan donatı aralığı döşeme kalınlığının 1,5 katından, kısa doğrultuda 20 cm den, uzun doğrultuda 30 cm den az olmalıdır. Eğilme donatısı oranı 0,002 den az olmamalıdır.

Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler

Kenarların oranı m:

$$m = \frac{L_{uzun}}{L_{kıs}} = \frac{L_u}{L_k} > 2$$

Döşeme Beton Kalınlığı h:

$h \geq \ell_{knet} / 25$ (basit mesnetli, tek açıklıklı döşemelerde)

$h \geq \ell_{knet} / 30$ (sürekli döşemelerde)

$h \geq \ell_{knet} / 12$ (konsol döşemelerde)

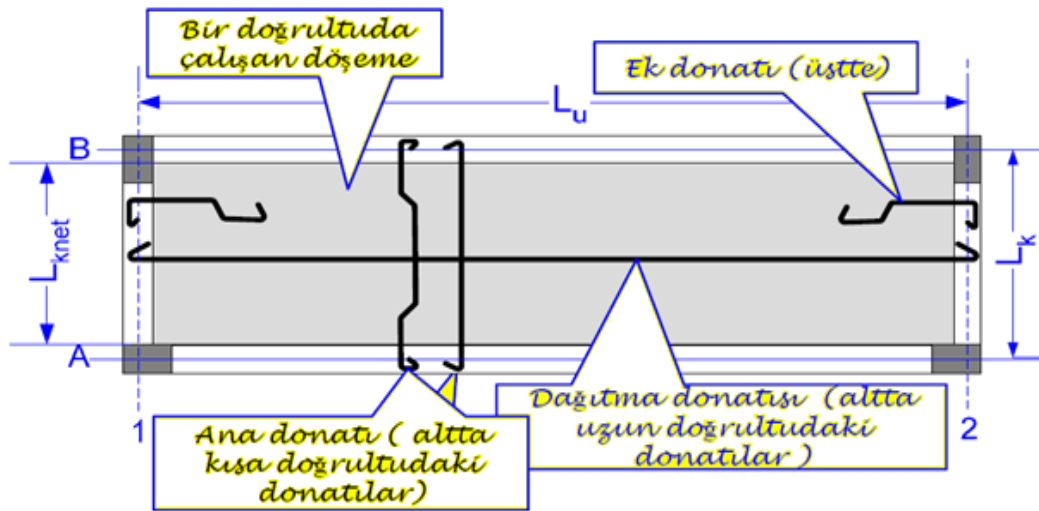
$h \geq 80\text{mm}$

$h \geq 120\text{mm}$ (üzerinden taşıt geçen döşemelerde)

$h \geq 100\text{mm}$ (önerilen)

$h \geq 150\text{mm}$ (konsol üzerinden taşıt geçen döşemelerde, önerilen)

$h \geq 150\text{mm}$ (merdiven sahanlıklarında ve büyük boşluklu döşemelerde, öneri)



Şekil 3.5. Tek doğrultuda çalışan kirişli döşemeye ait görünüş (Topçu, 2018).

Donatı aralığı t:

- $t \leq 1.5 h$ (kısa doğrultuda)
- $t \leq 200$ mm (kısa doğrultuda)
- $t \leq 300$ mm (uzun doğrultuda)
- $t \geq 250$ mm (uzun doğrultuda öneri)

Donatı oranları ρ_k , ρ_u , ρ :

- $\rho_k \geq 0.003$ (S220 için)
- $\rho_u \geq 0.002$ (S420 ve S500 için)

Faydalı yükseklikler d_k , d_u :

- önerilir)
- $d_k \approx h - (pp+5)$ mm $\approx h - 20$ mm önerilir)
- $d_u \approx h - (pp+15)$ mm $\approx h - 30$ mm

Ek donatı A_{sek} :

- $A_{sek} \geq 0.60 A_{sk}$ (ek donatı)
- $A_{sek} \geq 250$ mm² (S220 için)
- $A_{sek} \geq 170$ mm² (S420 için)

$$p_k = \frac{A_{sk}}{1000d_k} \quad (\text{TS 500, 2000})$$

Donatı çapı \emptyset :

- $\emptyset \geq 8$ mm (çubuk)
- $\emptyset \geq 5$ mm (hasır)

Paspayı pp :

- $pp \geq 15$ mm (kısa doğrultuda)

Beton sınıfı: C16-C50 (en düşük C20/25)

Çelik sınıfı: Her tür çelik (En düşük S420a)

Dağıtma donatısı A_{su} :

- $A_{su} \geq A_{sk}/5$ (dağıtma donatısı)

3.2.2. İki doğrultuda çalışan döşemeler

Uzun kenar uzunluğu kısa kenar uzunluğuna oranı (l_u/l_k) 2 ve 2 den küçük olan kirişli plak sistemler iki doğrultuda çalışan plak döşemelerdir. İki doğrultuda çalışan plak döşeme kalınlığı (3.10) bağıntısında verilen değerden az olmamalıdır.

$$h \geq \frac{\ell_{knet}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right) \quad (3.10)$$

Burada;

l_{sn} = kısa kenar net açıklığı

α_s = sürekli kenar uzunluğunun tüm uzunluğa oranı

m = uzun kenar uzunluğunun kısa kenar uzunluğuna oranı (l_u/l_k)

İki doğrultuda çalışan plakların çözümünde genelde Westergaard ve akma çizgileri yöntemi kullanılır. Westergaard yöntemine göre moment (2.11) bağıntısında gösterilmiştir.

$$M_d = \alpha \cdot P_d \cdot l_{sn}^2 \quad (3.11)$$

Denklemden kullanılan α katsayısı döşeme durumuna göre Çizelge 2.2 de gösterilmiştir.

Uygulamada karşılaşılan döşemelerin çoğu dikdörtgen geometrilidir, düzgün yayılı yüklerle yüklüdür ve dört tarafından kirişlere otururlar. Bu koşullara uyan denklemden kullanılan α katsayısı döşeme durumuna göre Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Döşeme koşullarına göre α katsayısının değerleri (TS500, 2000).

Döşemenin sınır koşulları	Kısa açıklık doğrultusunda moment katsayıları								Uzun açıklık doğrultusunda
	m=1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,75	2,0	
DÖRT KENAR SÜREKLİ									
Negatif moment sürekli kenarda	0,033	0,040	0,045	0,050	0,054	0,059	0,071	0,083	0,033
Pozitif moment açıklık ortasında	0,025	0,030	0,034	0,038	0,041	0,045	0,053	0,062	0,025
BİR KENAR SÜREKSİZ									
Negatif moment sürekli kenarda	0,042	0,047	0,053	0,057	0,061	0,065	0,075	0,085	0,041
Pozitif moment açıklık ortasında	0,031	0,035	0,040	0,043	0,046	0,049	0,056	0,064	0,031
İKİ KOMŞU KENAR SÜREKSİZ									
Negatif moment sürekli kenarda	0,049	0,056	0,062	0,066	0,070	0,073	0,082	0,090	0,049
Pozitif moment açıklık ortasında	0,037	0,042	0,047	0,050	0,053	0,055	0,062	0,068	0,037
İKİ KISA KENAR SÜREKSİZ									
Negatif moment sürekli kenarda	0,056	0,061	0,065	0,069	0,071	0,073	0,077	0,080	-
Pozitif moment açıklık ortasında	0,044	0,046	0,049	0,051	0,053	0,055	0,058	0,060	0,044
İKİ UZUN KENAR SÜREKSİZ									
Negatif moment sürekli kenarda	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056
Pozitif moment açıklık ortasında	0,044	0,053	0,060	0,065	0,068	0,071	0,077	0,080	0,044
ÜÇ KENAR SÜREKSİZ									
Negatif moment sürekli kenarda	0,058	0,065	0,071	0,077	0,081	0,085	0,092	0,098	0,058
Pozitif moment açıklık ortasında	0,044	0,049	0,054	0,058	0,061	0,064	0,069	0,074	0,044
DÖRT KENAR SÜREKSİZ									
Pozitif moment açıklık ortasında	0,050	0,057	0,062	0,067	0,071	0,075	0,081	0,083	0,050

Eğer m değerleri tabloda yoksa lineer enterpolasyon yapılarak bulunabilir. Döşeme açıklık ortasında pozitif mesnetlerde negatif moment bulunur. Mesnetlerde donatı hesabı için küçük momentin büyük momente oranına bakılır. Oran 0,8 den büyükse büyük momente göre, küçükse moment farklarının 2/3 katı bir ε katsayısı ile çarpılır. Bulunan değer küçük momente ilave edilip büyük momentten çıkarılmasıyla elde edilen maksimum momente göre hesap yapılır ve gerekirse ek donatı kullanılır.

$$\frac{M_k}{M_b} \geq 0,8 \text{ ise } M_d = M_b \quad (3.12)$$

$$\frac{M_k}{M_b} < 0,8 \text{ ise } \Delta M = 2/3(M_b - M_k) \quad (3.13)$$

$$R_1 = \frac{I_1}{L_1}, R_2 = \frac{I_2}{L_2}, \varepsilon_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \varepsilon_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.14)$$

$$M_{d1} = M_k + \varepsilon_1 \Delta M, M_{d2} = M_b - \varepsilon_2 \Delta M, M_d = \max(M_{d1}, M_{d2}) \quad (3.15)$$

Burada;

L = incelenen doğrultudaki döşeme uzunluğu

I = atalet momenti

İki doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler

Kenarların oranı m :

$$m = \frac{L_{uzun}}{L_{kıs}} = \frac{L_u}{L_k} \leq 2$$

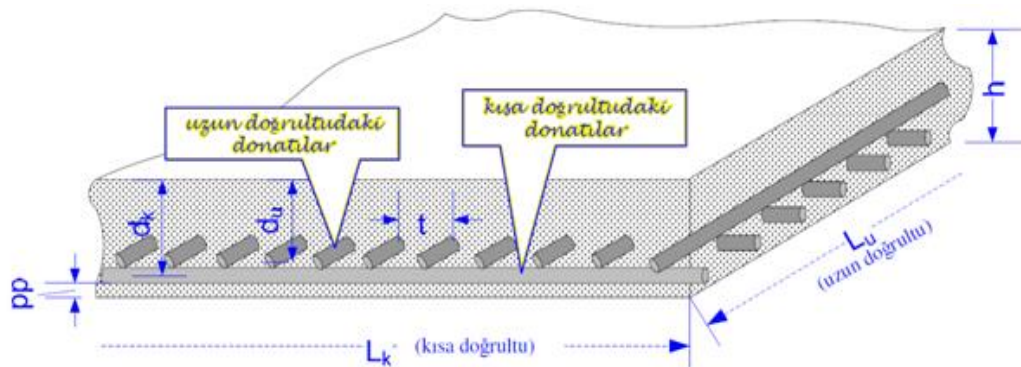
Döşeme Beton Kalınlığı h :

$$h \geq \frac{\ell_{knet}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right)$$

$h \geq 80\text{mm}$

$h \geq 100\text{mm}$ (önerilen)

$h \geq 150\text{mm}$ (konsol üzerinden taşıt geçen döşemelerde, önerilen)



Şekil 3.6. İki doğrultuda çalışan kirişli döşemeye ait görünüş (Topçu, 2018).

Donatı aralığı t :

$t \leq 1.5 h$ (her iki doğrultuda)

$t \leq 200\text{ mm}$ (kısa doğrultuda)

$t \leq 250\text{ mm}$ (uzun doğrultuda)

$t \geq 50\text{ mm}$ (öneri)

Donatı çapı \emptyset :

$\emptyset \geq 8\text{ mm}$ (çubuk)

$\emptyset \geq 5\text{ mm}$ (hasır)

Donatı oranları ρ_k , ρ_u , ρ :

$$\rho_k \geq 0.0015$$

$$\rho_u \geq 0.0015$$

$$\rho \geq 0.004 \text{ (S220 için)}$$

$$\rho \geq 0.0035 \text{ (S420 ve S500 için)}$$

Paspayı pp :

$$pp \geq 15 \text{ mm (kısa doğrultuda)}$$

Faydalı yükseklikler d_k , d_u :

önerilir)

$$d_k \approx h - (pp + 5) \text{ mm} \approx h - 20 \text{ mm}$$

önerilir)

$$d_u \approx h - (pp + 15) \text{ mm} \approx h - 30 \text{ mm}$$

Beton sınıfı: C16-C50 (en düşük C20/25

Çelik sınıfı: Her tür çelik (En düşük S420a

$$p_k = \frac{A_{sk}}{1000d_k} \quad p_u = \frac{A_{su}}{1000d_u}$$

$$\rho = \rho_k + \rho_u \text{ (toplam donatı oranı)(TS 500, 2000).}$$

Özel uygulamalarda akma çizgileri yöntemi de kullanılabilir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi akma çizgileri yöntemi sürekli kenarların kesiştiği noktadan 45° derecelik açı ile çizilen dönme eksenlerini oluştururlar. Üst yüzde çatlak oluşturan akma çizgileri pozitif, alt yüzde çatlak oluşturan akma çizgileri negatif akma çizgileridir. Akma çizgileri yönteminde iç işi dış işe eşitleyerek moment veya yük bulunabilir. Deformasyon olmaması için bulunan yük 0,5 ile bulunan moment 2 ile çarpılır.

$$W_i = m \cdot L \cdot \theta \quad (\text{iç iş}) \quad (3.16)$$

$$W_d = \Sigma(P_d \cdot A \cdot \delta) \quad (\text{dış iş}) \quad (3.17)$$

Burada;

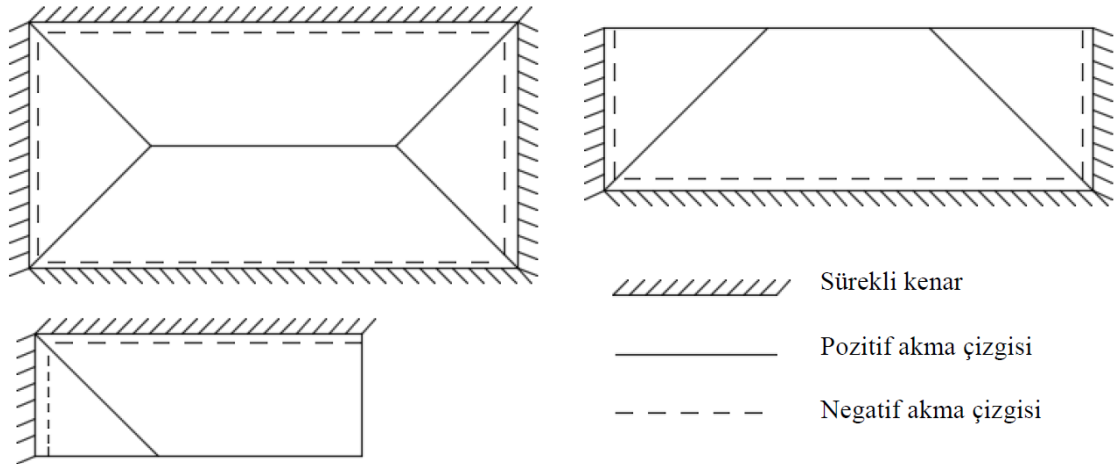
m = momentlerin toplamı

L = akma çizgisinin eksen üzerindeki iz düşümü

θ = dönme açısı

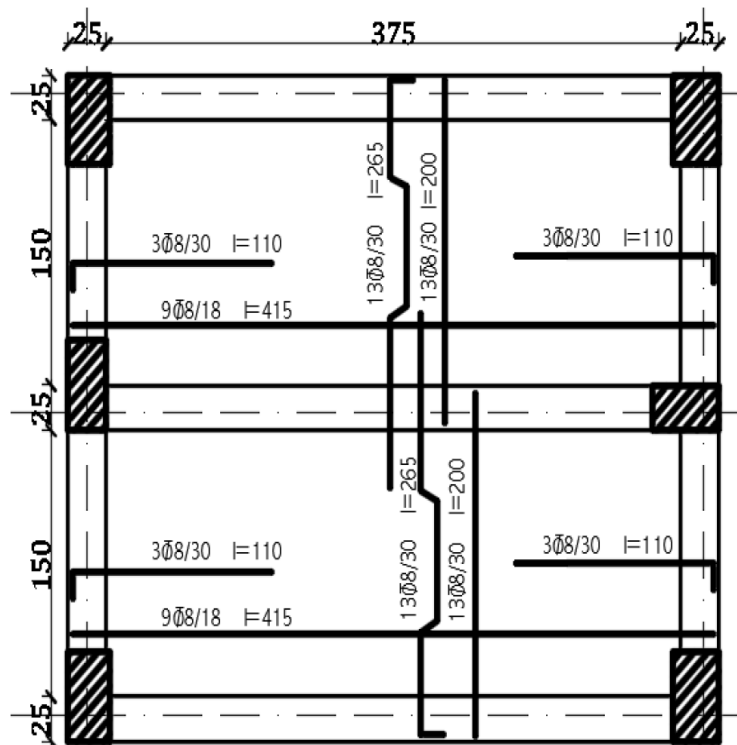
δ = 1 birimlik yer değiştirmenin ağırlık merkezine uzaklığı

A = alan

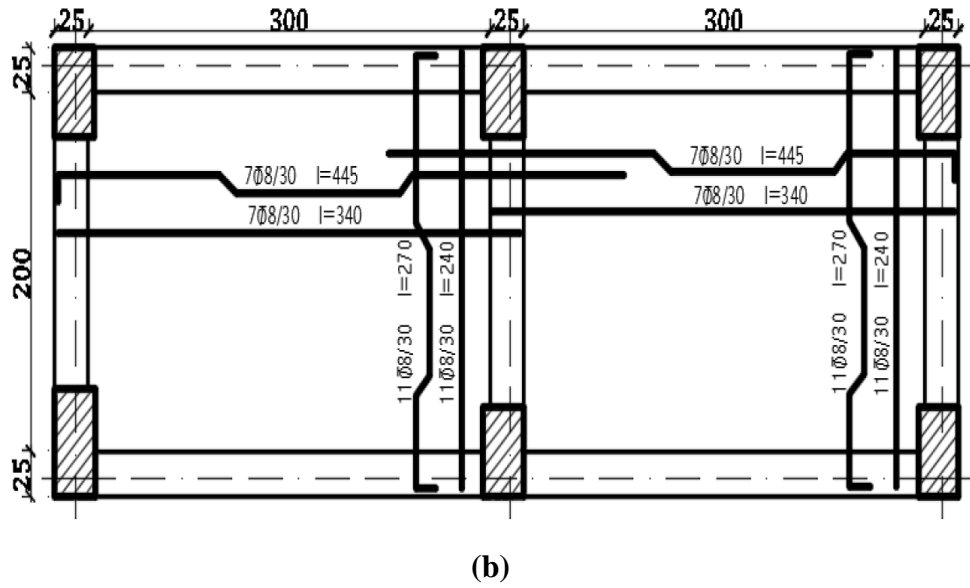


Şekil 3.7. Akma çizgileri.

Çift doğrultuda çalışan plak döşemelerde x ve y doğrultusunda donatı oranı 0,0015 ten toplamda 0,0035 ten az olamaz. Donatı aralığı döşeme kalınlığının 1,5 katından ve kısa doğrultuda 20 cm den, uzun doğrultuda 25 cm den az olmamalıdır.



(a)



Şekil 3.8. Tek doğrultuda çalışan plaklarda donatı yerleşimi (a), Çift doğrultuda çalışan plaklarda donatı yerleşimi (b).

3.3. Dişli (Nervürlü) ve Asmolen Döşemeler

Ara kirişlerin (dişlerin) ana kirişlere oturtulmasıyla oluşan ve üzerlerinde ince bir plak bulunan döşeme tipidir. Kullanıldıkları duruma göre tek veya çift doğrultuda çalışabilirler.

3.3.1. Tek doğrultuda çalışan dişli döşeme (asmolen)

Ara kirişlerin tek doğrultuda çalışmasıyla oluşan dişli döşeme tipidir. Tek doğrultuda çalışan dişli döşemelerin dişlerinin arası dolgulu veya dolgunsuz olabilir. Dolgu olduğu durumlardaki döşeme tipine asmolen döşeme denilmektedir. Dolgu için kullanılacak malzemeler boşluklu pişmiş kil, gaz beton, boşluklu beton briket, köpük veya benzeri, bu amaç için özel olarak üretilmiş, standart boyutlarda hafif bloklar kullanılır. Dolgu için kullanılan malzemelerin yapıda taşıyıcılık özelliği yoktur. Dişli döşemelerde yükü ana kirişler taşımaktadır. Asmolen döşemelerin kalıp işçiliğinin ve maliyetinin az olması, ısı ve ses yalıtımını iyi sağlaması, dişler arasındaki boşluklara borular ve kablolar konulabilmesi, düz bir tavan görünümü olması avantajlarından olmasına rağmen plak sistemlere göre daha ağır olması ve depremde davranışının kötü olmasından dolayı pek tercih edilmez. Şekil 3.9'daki gibi eğer dişler uzun doğrultuda yani kısa olan ana kirişlere taşıtılsa dişlerin boyu uzar kirişler zorlanmaz. Kısa doğrultuda konulursa diş boyu kısalmır ama ana kirişler çok zorlanır.



Şekil 3.9. Asmolen döşeme kat planı (Topçu, 2018).

Tek doğrultuda çalışan dişli döşemelerde dişler arasındaki serbest açıklık 70 cm den az olmalı, plak kalınlığı 5 cm den ve serbest açıklığın 1/10' undan az olamaz. Dişlerin genişliği 10 cm az olmamalıdır. Diş yüksekliğinin serbest açıklığa oranı; sürekli döşemelerde 1/25 ten, basit mesnetli tek açıklıklı döşemelerde 1/20 den, konsollarda 1/10'dan az olmamalıdır. Döşemenin büyüklüğüne göre taşıyıcı dişlere dik aynı boyutlarda belli sayıda enine dişlerde kullanılabilir. Her bir doğrultudaki donatı oranı 0,0015 ten az ve donatı aralığı 25 cm den az olamaz. Tek doğrultuda çalışan dişli döşemelerde kenar kirişler asmolen yüksekliğinden fazla olabilir. Bu döşemelerin donatı hesabında moment katsayıları yöntemi veya tablalı kiriş hesabı yapılarak değerler bulunur.

3.3.1. Çift doğrultuda çalışan dişli döşeme (kaset döşeme)

Yapı ortasında kolon istenmeyen açıklıkların ve yükün fazla olduğu durumlarda kullanılan çift doğrultuda çalışan dişli döşemelerdir, bu döşemelere kaset döşemede denilmektedir. Genellikle otopark ve sinema salonlarında kullanılır. 20-25 metre açıklıkta kullanılabilir. Ana kirişlerin genişliği 80 cm den tali kirişlerin genişliği 50 cm den az olmamalıdır. Fazla yük olduğundan perdelerle taşınması daha avantajlı olmakla beraber maliyetinin fazla olmasından dolayı az tercih edilen döşeme tipidir. Döşeme alt kalıbı çakıldıktan sonra kaset döşemenin hazır kalıpları belli aralıklarla dizilir, donatıları yerleştirilir ve beton dökülür. Genellikle kare kalıplar kullanılmaktadır.



Şekil 3.10. Kaset döşeme kalıp planı (URL-4).

Dişli ve asmolen döşemelerde sınır değerler

Sınır değerler:

$$e \leq 700 \text{ mm}$$

$$b_w \geq 100 \text{ mm}$$

$$h \geq L_{net} / 20 \text{ (tek açıklıklı basit mesnetli diş)}$$

$$h \geq L_{net} / 25 \text{ (sürekli diş)}$$

$$h \geq L_{net} / 10 \text{ (konsol diş)}$$

$$t \geq 0.1e$$

$$t \geq 50 \text{ mm}$$

$$t \geq 70 \text{ mm(öneri)}$$

3.4. Kirişsiz Döşemeler

Kirişleri olmayan doğrudan olarak kolonlara veya perdelere oturan döşeme sistemidir. Genelde düz bir tavan istendiğinde ve hafif yükler kullanıldığında tercih edilen bir sistemdir. Kiriş kullanılmadığından dolayı kat yüksekliği azalır. Kalıp ve işçilik maliyeti az olmasına rağmen kullanılan donatı ve beton miktarları fazladır. Depremde davranışı iyi olmadığından pek tercih edilmez. Kirişsiz döşemelerde en

büyük sorun zımbalama olayıdır ve bu durumu engellemek için çeşitli özel uygulamalar kullanılır.

Kirişsiz döşeme sistemlerinde donatı hesabı eş değer çerçeve yöntemi ve moment katsayıları yöntemi kullanılarak hesaplanabilir (TS500, 2000). Moment katsayıları yönteminin uygulanması için her yönde en az üçer açıklık olmalı, uzun kenarın kısa kenara oranı 2 den az olmalı, hareketli yükün zati yüke oranı 2 den az olmalıdır. Ayrıca komşu plakların açıklıkları arasındaki fark herhangi bir doğrultudaki uzun açıklığın 1/3 ünden az olmalıdır. Bu şartlar sağlandıktan sonra moment bağıntı (3.18) deki denklemlerle bulunur.

$$M_0 = \frac{P_d \cdot x l_2 \cdot x l_n^2}{8}$$

(3.18)

Burada;

l_n = hesap yapılan doğrultudaki serbest açıklık (0,65 l_1 den az olamaz)

l_2 = hesap yapılan doğrultuya dik olan mesafe

İç Açıklıklarda,

$$\text{Açıklık momenti} = 0,35 M_0 \quad (3.19)$$

$$\text{Mesnet momenti} = 0,65 M_0 \quad (3.20)$$

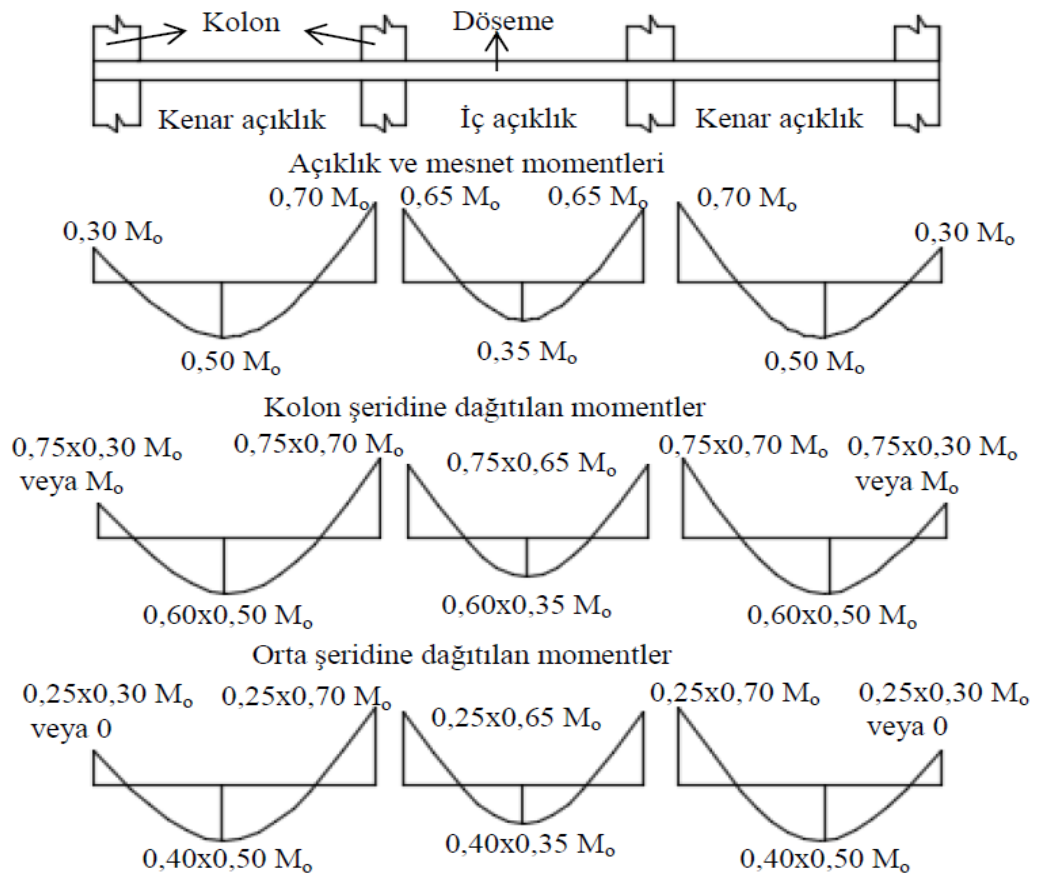
Kenar Açıklıklarda,

$$\text{Dış mesnet momenti} = 0,30 M_0 \quad (3.21)$$

$$\text{İç mesnet momenti} = 0,70 M_0 \quad (3.22)$$

$$\text{Açıklık momenti} = 0,50 M_0 \quad (3.23)$$

İç mesnetlerde bulunan toplam mesnet momentinin %75 i, kenar mesnetlerde çözüm yapılan doğrultuya dik kenarda kiriş yoksa toplam mesnet momentinin tamamı varsa %75 i kolon şeridine aktarılır. Hesaplanan toplam açıklık momentinin %60 ı kolon şeridine aktarılır. Toplam momentle kolon şeridine aktarılan moment arasındaki fark orta şeride aktarılır. Kolon ve orta şeride aktarılan mesnet ve açıklık momentlerinde en fazla %10'luk bir değişiklik yapılabilir(Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Kirişsiz döşemelerde orta ve kolon şeridindeki moment oranları

3.5. Kirişsiz Plak Döşeme Avantajları

Bu tip döşemelerin yük taşıma kapasitesi ile ilgili birçok avantajı vardır. Açıklık ve döşeme kalınlığına göre mm^2 ye yüzlerce Newton ağırlığı aktarmak için kullanılabilirler. Genel betonarme binalarda 6 m den küçük açıklıklarda 25cm veya daha az kalınlıkta bir döşeme kalınlığı kullanılabilir. Bu tip bir tasarımda destek kirişlerine veya kirişlere ihtiyaç duyulmayacaktır (Midkiff, 2013).

Bu tür döşemeler kiriş desteği olmadan özel tasarımlarla daha fazla açıklık geçmeyi sağlayabilir. Benzer açıklıklarda kullanılan döşeme sistemlerine göre (kaset, dişli döşeme vb.) kalıp ve donatı işçiliğinin basitleştirilmesine bağlı uygulama kolaylığı ve buna bağlı inşaat tamamlanma süresinde azalma olur. Ayrıca kirişsiz döşemelerin en önemli avantajlarında birisi de kat yüksekliğinin azalmasına sebep olmasıdır. Bu da birçok yapı malzemesinde tasarruf sağlamaya yardımcı olur. Düz bir tavan elde edilerek tesisat döşemesi kolay yapılır (Kolgu ve Peker, 2018).

3.6. Kirişsiz Plak Döşeme Dezavantajları

Betonarme binalarda döşeme sistemini seçerken avantajlarının yanında dezavantajları dikkate alınmalıdır. Bu tip döşemelerde düzensiz düşey eleman yerleşim geometrisi, büyük açıklık ve aşırı yükleme durumlarına paralel yapı ağırlığı artar bu durumda düşey yükler açısından büyük kolonların, kirişlerin ve temellere gerek duyulmasına hem de deprem, rüzgâr gibi yatay yüklerin yapı üzerindeki etkisinin artmasına sebep olur. Tasarlanan büyük kiriş, kolon ve temeller ekonomiklikten uzaklaşabildiği için kullanmak tercih edilmeyebilir.

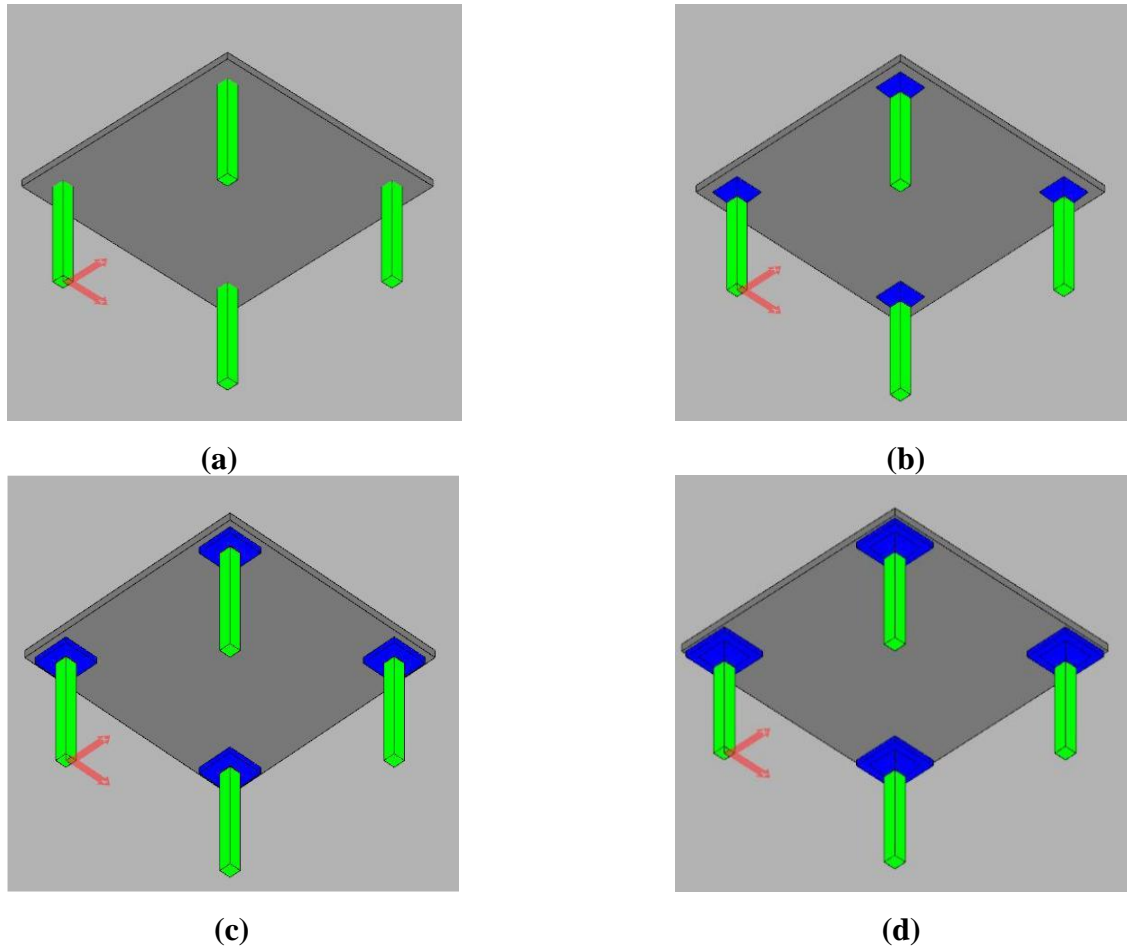
Bu tür döşemelerde yatay yüklerin tamamı perdeler tarafından temele aktarılmalıdır. Kolon ve perde başlarında yüksek kayma ve zımbalama etkisi oluşur sünek davranışı azalır (Kolgu ve Peker, 2018).

4. KIRIŞSIZ DÖŞEME SİSTEMLERİNDE ÖZEL UYGULAMALAR

Kirişsiz döşeme sistemleri kirişleri olmayan, doğrudan kolonlara veya perdelere oturan, 20–40 cm kalınlığında plaktan oluşan döşeme sistemleridir. Başlıklı, ardgermeli, tablalı ve boşluklu kirişsiz döşeme olmak üzere özel uygulamalar mevcuttur.

4.1. Başlıklı ve Tablalı Kirişsiz Döşemeler

Kirişsiz döşemelerde en büyük problem zımbalama etkisidir. Bu zımbalama etkisinden kurtulmak için kolon uçlarına tabla veya başlık konulur. Bu şekilde zımbalama derinliği ve çevresi artırılarak zımbalama dayanımı sağlanmış olur. Kirişsiz döşemeler Şekil 4.1’de görüldüğü gibi başlıksız, tablalı, başlıklı, başlıklı ve tablalı şekilde tasarlanabilir.



Şekil 4.1. Tablasız ve başlıksız kirişsiz döşeme (a), başlıklı kirişsiz döşeme (b), başlıklı ve tablalı kirişsiz döşeme (c), başlıklı ve tablalı kirişsiz döşeme (d) (Kolgu ve Peker, 2018).

Başlık kullanılarak tasarlanan kirişsiz döşemelere mantar döşeme denilmektedir. Kirişsiz döşeme kalınlığı TS 500 deki yaklaşık yöntemlerden biri kullanılıyorsa aşağıda verilen değerlerden az olamaz (TS 500, 2000).

$$h \geq l_l / 30 \text{ ve } 200 \text{ mm} \quad (4.1)$$

$$\text{Tablasız kirişsiz döşemelerde, } h \geq l_n / 30 \text{ ve } 180 \text{ mm} \quad (4.2)$$

$$\text{Tablalı kirişsiz döşemelerde, } h \geq l_n / 35 \text{ ve } 140 \text{ mm} \quad (4.3)$$

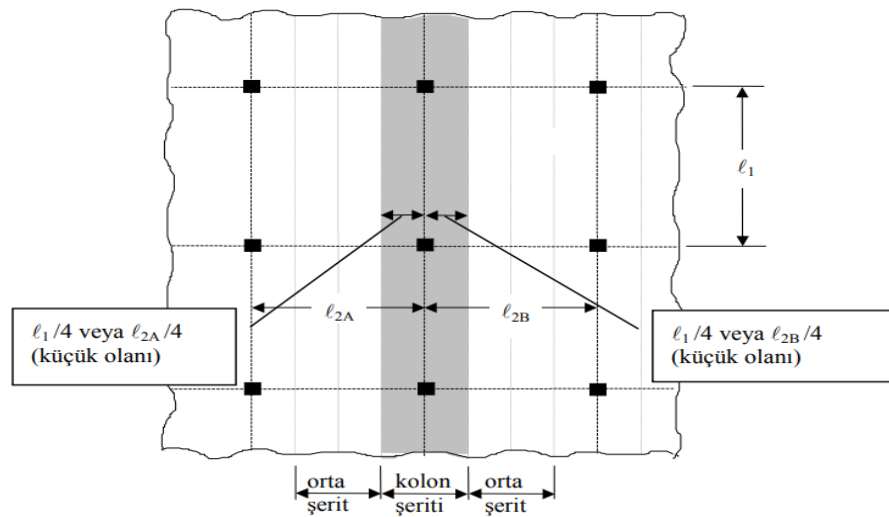
Burada;

h : Döşeme kalınlığı

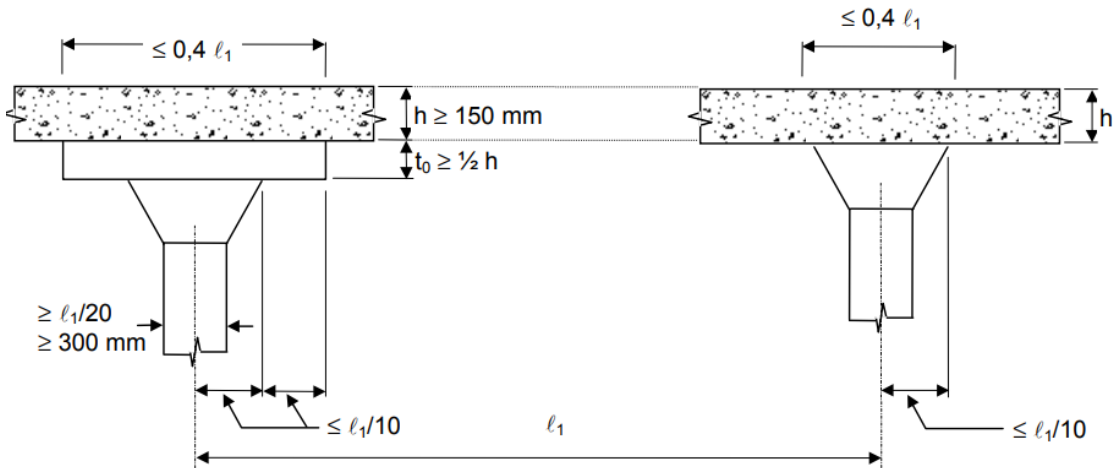
l_l : Döşemenin uzun doğrultuda, mesnet eksenleri arasında kalan açıklığı

l_n : Döşemenin incelenen doğrultudaki serbest açıklığıdır.

Kirişsiz döşemelerde etkili başlık boyutu için başlık olarak kolondan başlayan ve 45° eğimle tasarlanan kısım göz önüne alınmalıdır. Tablalı kirişsiz döşeme kullanıldığında tabla kalınlığı döşeme kalınlığının yarısından az olmamalıdır. Tablanın kolonun dört tarafındaki uzunluğu, o doğrultudaki döşeme açıklığının $1/6$ sından ve tabla kalınlığının dört katından az olmamalıdır.



Şekil 4.2. Kirişsiz döşeme şerit bilgisi (TS 500, 2000).



Şekil 4.3. Kirişsiz döşemede başlık ve tabla boyutları (TS 500, 2000).

4.1.1. Kirişsiz döşemelerde zımbalama

Zımbalama kirişsiz döşeme sistemlerinde döşemenin kolon kenarından yırtılması olayıdır. Zımbalamaya kayma gerilmeleri yol açmaktadır, gevrek bir kırılmadır. Döşeme kalınlığının az olması, kolon kesitinin düşük olması zımbalama riskini artırır. Zımbalama hesabında çatlağın kolon yüzeyinden $d/2$ mesafede başladığı varsayılır (Topçu, 2018).

Plastik boşluklu döşeme sistemlerinde kesme dayanımı aynı boyutlardaki kirişsiz döşeme sisteminin %10'u kadar olmalıdır. Fakat kolon uçlarındaki zımbalama ise kirişsiz döşemeye göre daha fazladır. Kolon çevresine plastik kör kalıplar yerleştirilmemektedir, tamamen betonarme yapılmalıdır. Döşemede kullanılan plastik kör kalıplar sayesinde yapımız hafifler bu sayede kolona gelecek kuvvet azalmakta, dolayısıyla zımbalama dayanımı kirişsiz döşemeye göre daha yüksek olmaktadır (Albrecht, Albert, Pfeffer ve Schnell 2012).

Zımbalama hesabında zımbalama dayanımı tasarım zımbalama kuvvetine eşit veya daha büyük olduğu kanıtlanmalıdır. Eğer bu durum sağlanmazsa Şekil 4.4'te olduğu gibi zımbalama olayı gerçekleşir.



Şekil 4.4. Kirişsiz döşemede zımbalama etkisi örneği (URL-6).

4.1.1.1. Zımbalama kuvvetinin hesabı (V_{pd})

Zımbalama kuvveti zımbalama çevresi ile sınırlanan plak bölümüne etkiyen ve plak düzlemine dik kuvvetlerin cebirsel toplamıdır. Öncelikle b_x ve b_y kolon boyutları olmak üzere $d/2$ mesafe uzaklıktaki zımbalama çevresi hesaplanarak bu bölge içinde kalan plak yüklerinin toplamı dairesel ve dikdörtgen kolon için 4.4 ve 4.5 bağıntısıyla hesaplanır.

$$F_a = P_d (b_x + d)(b_y + d) \quad (\text{dikdörtgen kolon}) \quad (4.4)$$

$$F_a = P_d \pi (d_o + d)^2 / 4 \quad (\text{dairesel kolon}) \quad (4.5)$$

Daha sonra tasarım eksenel yükü hesaplanır. Tasarım eksenel yükü zımbalama bölgesindeki kolona ait alt ve üst eksenel yük farkıdır.

$$F_d = N_2 - N_1 \quad (4.6)$$

Burada;

N_1 : Üstteki kolona ait eksenel yük

N_2 : Alttaki kolona ait eksenel yük

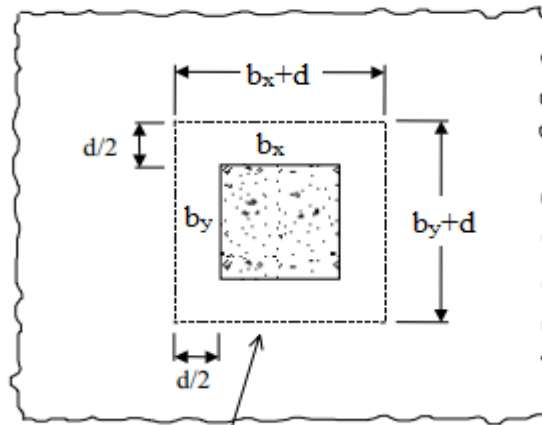
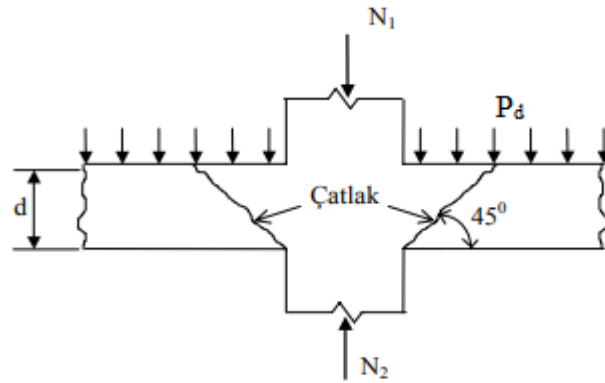
Eğer eksenel yükler bilinmiyorsa tasarım yükü döşeme yüküne ve döşemeden kolona yük aktarımında etkili olan alana bağlı olarak 4.7 bağıntısında hesaplanmıştır.

$$F_d = P_d A_k \quad (4.7)$$

Burada;

A_k : Kolon çevresindeki döşeme açıklıklarının yarısı dikkate alınarak hesaplanan alandır
Zımbalama tasarım kuvveti V_{pd} , tasarım eksenel yükü ile zımbalama çevresi yüklerinin farkıyla hesaplanır.

$$V_{pd} = F_d - F_a \quad (4.8)$$



Zımbalama çevresi

$$V_{pd} = N_2 - N_1 - F_a$$

$$F_a = P_d (b_x + d)(b_y + d)$$

Şekil 4.5. Kirişsiz döşeme zımbalama çevresi ve tasarım zımbalama kuvveti (TS 500,2000).

4.1.1.2. Zımbalama dayanımı hesabı (V_{pr})

Zımbalama dayanımı 4.9 bağıntısı ile hesaplanır.

$$V_{pr} = \gamma f_{ctd} u_p d \quad (4.9)$$

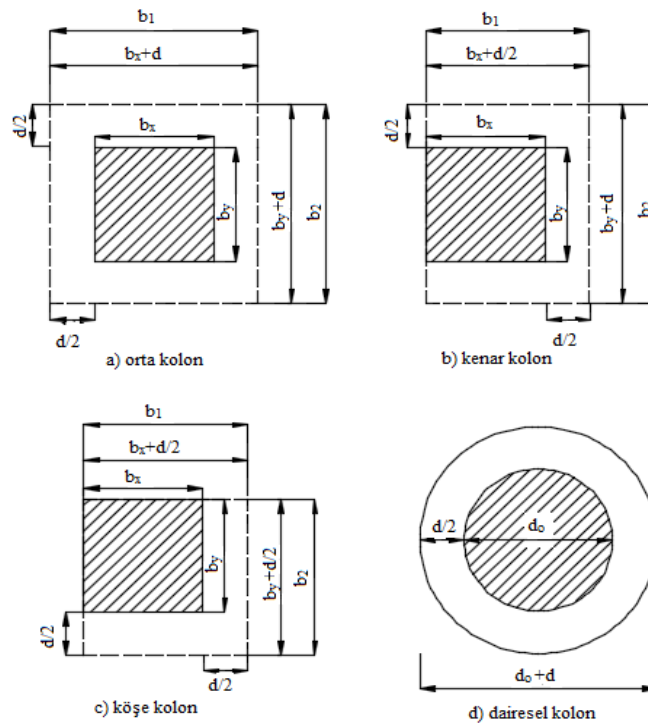
Burada;

γ = Eğilme etkisini yansıtan katsayı

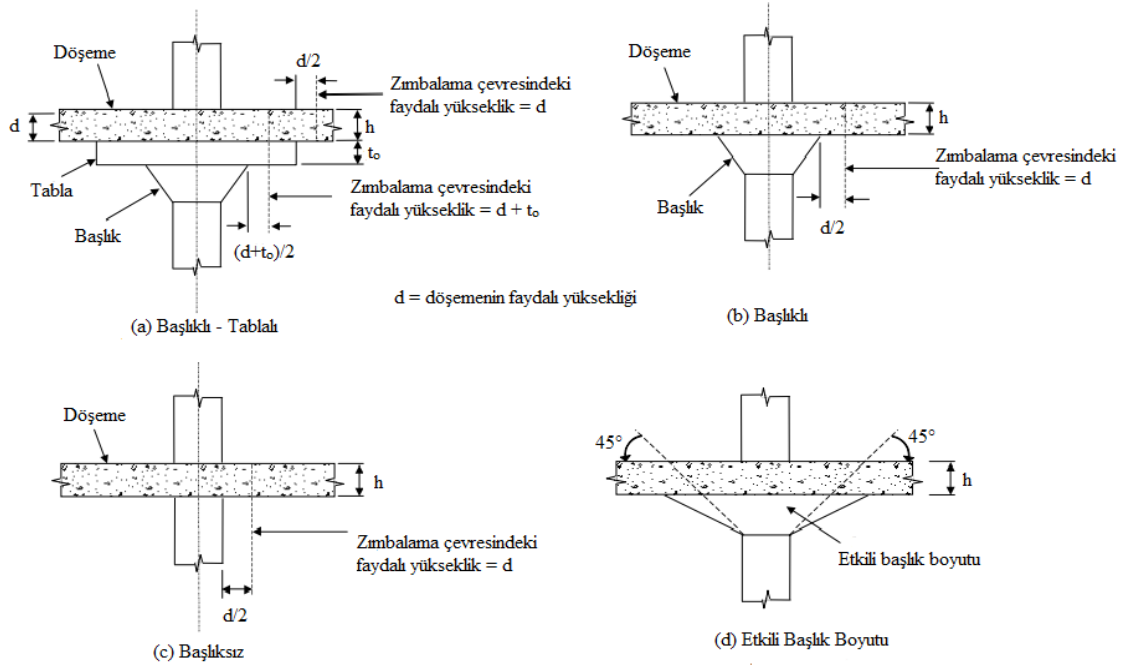
f_{ctd} = Beton tasarım eksenel çekme dayanımı

u_p = Zımbalama çevresi

d = Döşemedeki faydalı yükseklik

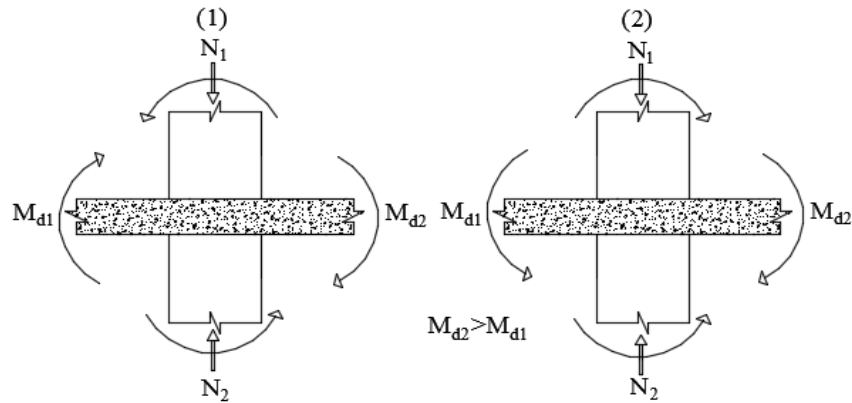


Şekil 4.6. Kolon yerine göre zımbalama çevresi (TS 500, 2000).



Şekil 4.7. Kirişsiz döşemelede kolon başlığı ve tabla (TS 500, 2000).

Eğilme etkisini yansıtan katsayı olan γ 1'den büyük olamaz. Eksenel yükleme durumunda ise 1'e eşit alınmalıdır. Dışmerkezli yükleme durumunda hesaba katılacak dışmerkezlik yönlerine bağlı olarak şekil 4.8 de gösterilmiş, 4.10 bağıntısıyla hesaplanmıştır. Dışmerkezlik 'e' harfiyle ifade edilmektedir.



Şekil 4.8. Moment yönlerine göre dışmerkezlik hesabı (TS 500, 2000).

$$e = \frac{0.4(M_{d1} + M_{d2})}{N_2 - N_1} \quad (1) \quad , \quad e = \frac{0.4(M_{d1} - M_{d2})}{N_2 - N_1} \quad (2) \quad (4.10)$$

Dışmerkezli yükleme durumunda γ katsayısı 4.10 bağıntısıyla hesaplanacaktır.

$$\Gamma = \frac{1}{1 + \eta \frac{e}{W_m} u_p d} \quad (4.11)$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{b_2}{b_1}}} \quad (b_2 \geq 0.7 b_1 \text{ olduğunda geçerlidir.}) \quad (4.12)$$

Eğer kolonlar ortada ise basit olarak dikdörtgen ve dairesel kolonlar için γ katsayısı 4.12 ve 4.13 bağıntısıyla hesaplanabilir.

$$\gamma = \frac{1}{1 + 1.5 \frac{e_x + e_y}{\sqrt{b_2 b_1}}} \quad (\text{dikdörtgen kolon için}) \quad (4.13)$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{e}{d + d_0}} \quad (\text{dairesel kolon için}) \quad (4.14)$$

Kirişsiz döşemelerde döşeme kalınlığı arttırılarak da zımbalama dayanımı sağlanabilir. Ancak bu durumda yapı ağırlığı artacağından boşluklu veya ardgermeli kirişsiz döşemeler kullanılması daha avantajlı olabilir.

4.1.2. Deprem yönetmeliğine göre zımbalama

Türkiye de 2019 yılının ocak ayında yürürlüğe giren yeni deprem yönetmeliğine göre kirişsiz döşemelerde zımbalama kontrolü sonlu eleman modeli çözümünden elde edilen ve dayanım fazlalığı katsayısı D ile büyütülmüş deprem etkileri altında oluşan düşey kayma gerilmeleriyle hesaplanabilir (TBDY, 2018).

Kirişsiz plak sistemlerde eğilme momentinin $1 - \gamma_f$ katsayısı ile çarpılmasından elde edilen kayma gerilmelerinden zımbalama çevresi boyunca elde edilen maksimum kayma gerilmesi tasarım zımbalama kuvveti olarak zımbalama kontrolünde kullanılmalıdır.

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + (2/3) \sqrt{b_1/b_2}} \quad (\text{dikdörtgen kolon için}) \quad (4.15)$$

$$\gamma_f = 0,60 \quad (\text{dairesel kolon için}) \quad (4.16)$$

$$\tau_{pd} = \frac{V_{pd}}{d} \leq f_{ctd} \quad (4.17)$$

Burada;

v_{pd} = hesaplanan kesme kuvveti

τ_{pd} = tasarım zımbalama kuvveti

d = etkili yükseklik

Zımbalama dayanımı çiroz, sehpa donatısı, kayma kaması, kapalı etriye ve kayma kaması rayları kullanılarak (4.18), (4.19), (4.20) ve (4.21) nolu denklemlerle gösterilmiştir.

$$\tau_{pr}=0,5f_{ctd}+\rho f_{yd} \leq 1,5f_{ctd} \quad (\text{çiroz ve sehpa donatısı kullanıldığında}) \quad (4.18)$$

$$\tau_{pr}=0,75f_{ctd}+\rho f_{yd} \leq 1,75f_{ctd} \quad (\text{kayma kaması kullanıldığında}) \quad (4.19)$$

$$\tau_{pr}=0,5f_{ctd}+ A_{wp}f_{yd}/(u_p s) \leq 1,5f_{ctd} \quad (\text{kapalı etriye kullanıldığında}) \quad (4.20)$$

$$\tau_{pr}=0,75f_{ctd}+ A_{wp}f_{yd}/(u_p s) \leq 1,75f_{ctd} \quad (\text{kayma kaması rayları kullanıldığında}) \quad (4.21)$$

Burada;

τ_{pr} = zımbalama dayanımı

A_{wp} = zımbalama donatılarının kesit alanı

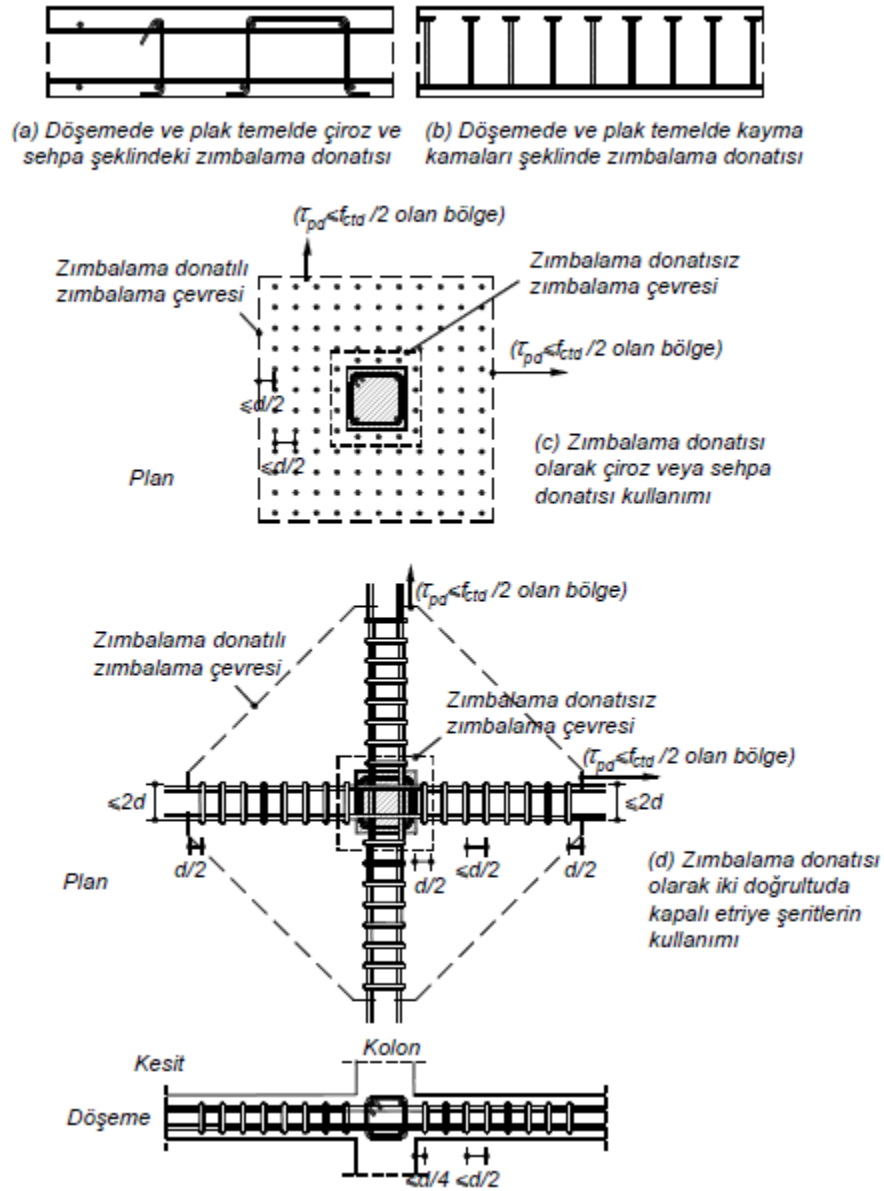
s = enine donatı aralığı

u_p = zımbalama çevresi

f_{yd} = boyuna donatının tasarım akma dayanımı

f_{ctd} = betonun tasarım çekme dayanımı

Zımbalama donatıları kolon yüzeyinden en fazla $d/4$ mesafede başlayacak ve donatılar arasındaki mesafe $d/2$ 'yi geçmeyecektir. Kayma kamaları ve etriye kolları arasında kolon yüzeyine paralel doğrultudaki mesafe $2d$ 'yi geçmeyecektir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Zımbalama donatılarının yerleşimi (TBYD, 2018).

4.2. Ardegermeli Sistemler

Ardegerme betonun çekmeye karşı zayıflığını önlemek için yapılan gerilme işlemidir. Beton dökümünden önce kalıp içinde uygun yerlere kılıflar yerleştirilir. Bu kılıfların içerisinde çelik çubuklar veya çelik halatlar mevcuttur. Kullanılan çubuklardaki 1230 Mpa, halatlardaki kopma gerilmesi 1860 Mpa dır. Genellikle 1/2, 0.6, 5/8 inç çapındaki halatlar kullanılmaktadır. Bir kılıfta 4, 7, 12, 19, 27, 37 ve 55 adet halat kullanılır.



Şekil 4.10. Ardgerme kılıfları (URL-3).

Döşemede donatıların arasına yerleştirilen halatların bir ucu beton dökümü sırasında kopmanın engellenmesi için şekil 4.11 olduğu gibi kör ankraj yardımıyla kilitletir, diğer ucu gerilme işlemi yapılabilmesi için kalıbın dışına uzatılır.

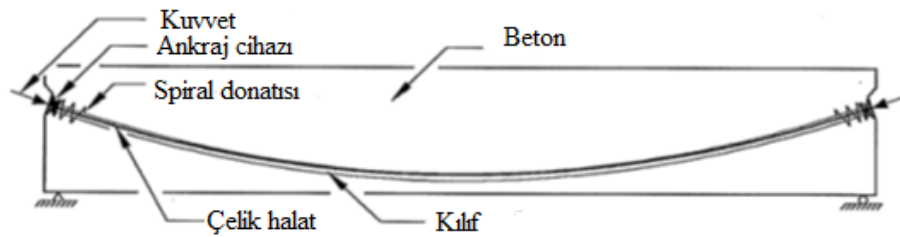


Şekil 4.11. Kör ankraj ile halatların kilitlemesi (URL-3).

Ardgerme işlemi uygulanmadan önce ucu dışarıda olan kısmına betonun patlamaması için spiral donatı konulur ardından beton dökümü yapılır. Beton %75 mukavemetini aldığı zaman hidrolik krikolarla gerilme işlemi yapılır. Gerilme işleminden sonra dışarıda kalan çelik halatlar kesilir ve betonla kapatılır. Gerilme işlemi sırasında ve sonrasında büzülme, sünme, betonun ani deformasyonu, ankraj oturması ve sürtünme kayıpları meydana gelir. Sistem bu kayıplardan sonra kalan kuvvet altında hesaplanır.



Şekil 4.12. Ardgerme yapılacak halatlar (URL-3).



Şekil 4.13. Ardgerme uygulaması.

Ardgerme uygulamasıyla daha büyük açıklıklar geçilebilir, betonun çatlaması engellenir, yapı kütlesi azalır, daha az betonarme malzeme kullanılır, uzun süreli sehimler önlenir, yapının tamamlanma süresi kısalmıştır. Ardgerme uygulaması yüksek katlı konutlarda, alışveriş merkezlerinde, otellerde, hastanelerde ve köprülerde kullanılmaktadır. Ardgerme sisteminde yüksek dayanımlı beton kullanılması daha

faydalı olur. Ardgerme sistemlerde kullanım yükleri altında izin verilen gerimeler Basınç durumunda;

$$0.40 \times f_{ck} \quad (\text{köprüler için}) \quad (4.22)$$

$$0.45 \times f_{ck} \quad (\text{diğer yapılar için}) \quad (4.23)$$

Çekme durumunda;

$$0.5 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{çekme bölgesinde ek donatı kullanılmazsa}) \quad (4.24)$$

$$1 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{çekme bölgesinde ek donatı kullanılırsa}) \quad (4.25)$$

olarak kullanılmalıdır.

4.2.1. Ardgermeli sistemlerde zımbalama

Noktasal yükler veya kolonların uyguladığı F_d yükü ile yüklenen döşemelerin zımbalama dayanımı F_{res} bulunmalı ve $F_{res} \geq F_d$ olduğu kanıtlanmalıdır. Yükleme alanı çevresinden $d/2$ uzaklıkta hesaplanan zımbalama dayanımı 4.26 bağıntısıyla gösterilmiştir.

$$F_{res} = \alpha \cdot u \cdot h \cdot f_{ctd} \quad (4.26)$$

Burada;

α = Zımbalamada katsayı

u = Çevre boyutu

h = Kesit toplam derinliği

f_{ctd} = Betonun hesap çekme dayanımı

α katsayısı çeşitli durumlara göre farklı şekilde hesaplanır. Bu durumlar 4.27, 4.28, 4.29 bağıntılarıyla gösterilmiştir.

$$\alpha = 1 \quad (\text{noktasal veya eksenel yüklü iç kolonlar için}) \quad (4.27)$$

$$\alpha = 0.5 \quad (\text{Kenar ve köşe kolonlar için}) \quad (4.28)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{2e}{h+a}} \quad (\text{iç kolonlar için}) \quad (4.29)$$

Uygun kayma donatısı kullanılarak zımbalama dayanımı 1.5 katına kadar artırılabilir.

Ancak döşeme kalınlığı 25 cm den fazla olması gerekir.

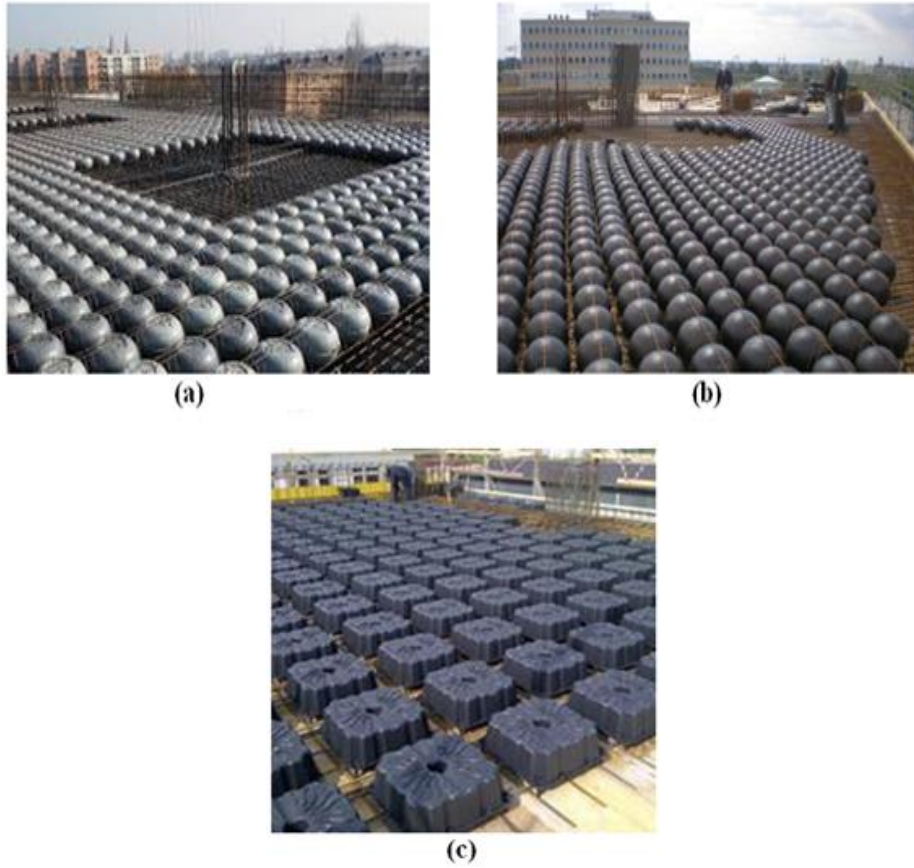
4.3. Plastik Boşluklu Kirişsiz Döşeme Sistemleri

Tasarlanan binalarda genellikle iki problem ön plana çıkmaktadır biri açıklık diğeri ağırlıktır. Bu iki problemi boşluklu kirişsiz döşeme sistemi ile yok edebiliriz. Uygulamada döşeme plaklarının içerisinde boşluklar oluşturularak hafifletilmesi yolu ile daha kalın plaklar oluşturulabilmekte hem ağırlık azaltılması sağlanırken hem de döşeme rijitliği arttırılabilmektedir. Bu tip döşeme sistemlerine boşluklu kirişsiz döşeme sistemleri denilmektedir. Boşluklu kirişsiz sistemlerin son yıllarda kullanımı da artmaktadır. Boşluklu kirişsiz sistemler ticari ve endüstriyel binalarda, çok katlı otoparklarda ve kamu binalarında(okullar, üniversiteler, hastaneler vb) kullanılmaktadır. Çeşitli firmalar tarafından daire, kare ve elips şeklinde boşluklu kör kalıplar üretilmektedir ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir (Taşkın, 2014).

Plastik boşluklu döşeme sistemleri yeni nesil döşeme sistemleri olarak da bilinmektedir. Bu döşeme sisteminde 20 m'ye varan açıklıklar kolon kullanılmadan geçebilmektedir. Döşeme içine yerleştirilen plastik malzemeler ile sağlanması amaçlanan boşluklar doğal olarak döşemenin ağırlığını azaltacaktır. Bu durumda her türlü gerilmenin azalması ve sonucunda da düşey taşıyıcı eleman en kesitlerinin azalmasını sağlayacaktır (URL-5).

Bu döşemelerin yangın dayanımı ise bahsedilmesi gereken bir diğer özelliktir. Mantar döşeme tipine benzer şekilde boşluklar oluşturan plastik malzemeler üst ve alttan beton örtüsü içinde kalarak hava ile teması önlenmektedir ve dolayısıyla yangında zarar görmemektedir. Isı ve ses yalıtımı açısından bu döşeme sisteminin en belirgin avantajı ısı iletkenlik katsayısının düşük olmasıdır (URL-5).

Eğilme etkisi altında olan plastik boşluklu kirişsiz döşeme sistemi mantar döşeme sistemine yakın bir davranış sergilemektedir. Basınç bölgesi plastik boşluğun üstünde kalmakta, plastik boşluğun olduğu yerdeki betonun çekme dayanımına herhangi bir etkisi olmadığından fazla ağırlığı ortadan kaldırılmakta ve döşeme hafiflemektedir. Dolayısıyla plastik boşluklu kirişsiz döşeme sisteminin maksimum momenti normal betonarme döşeme sistemleri gibi yönetmelikte belirtilen metotlarla hesaplanabilmektedir (Cobix Technologies AG., 2010).



Şekil 4.14. Elips şeklinde kör kalıp (a), daire şeklinde kör kalıp (b), kare şeklinde kör kalıp şekilleri (c).

4.3.1. Kör kalıpların kullanım avantajları

Kör kalıp sistemleri kullanılarak yapı ağırlığı azaltılır ve daha büyük açıklıklar geçilebilir. Daha az yapı malzemesi kullanılarak maliyetler azalır. Ayrıca aynı ağırlık karşılığında daha rijit plakalar oluşmakta ve daha az sehim ve titreşim problemleri oluşmaktadır. Faydalı yük/Zati yük oranının artması ve bu sebeple daha verimli taşıyıcı sistem elde edilmesi sağlanır. Büyük açıklıklı plak ve kirişlerde, narin ve uzun konsollarda, ön-gerilemeli veya ard-gerilemeli kiriş ve plaklarda, düşey yük gerilmeleri ile zorlanan narin kolonlarda, azalan zati yük sebebiyle betonun zamana bağlı şekil değiştirmelerinde (sünme) azalma sağlanır. Azalan toplam kat taşıyıcı sistem kalınlığı sebebiyle yapı yüksekliği azalması, aynı yüksekliğe daha fazla satılabilir-kiralanabilir alan oluşturulabilir. İskele ve kalıp sistemleri hızlı ve basit kurulup kaldırılabilir. Benzer açıklıklarda kullanılan döşeme sistemlerine göre (dişli, kaset döşeme vb.) demir işçiliği kolaylaşır ve azalır, süre bakımından tasarruf sağlanır. Daha az yapı malzemesi

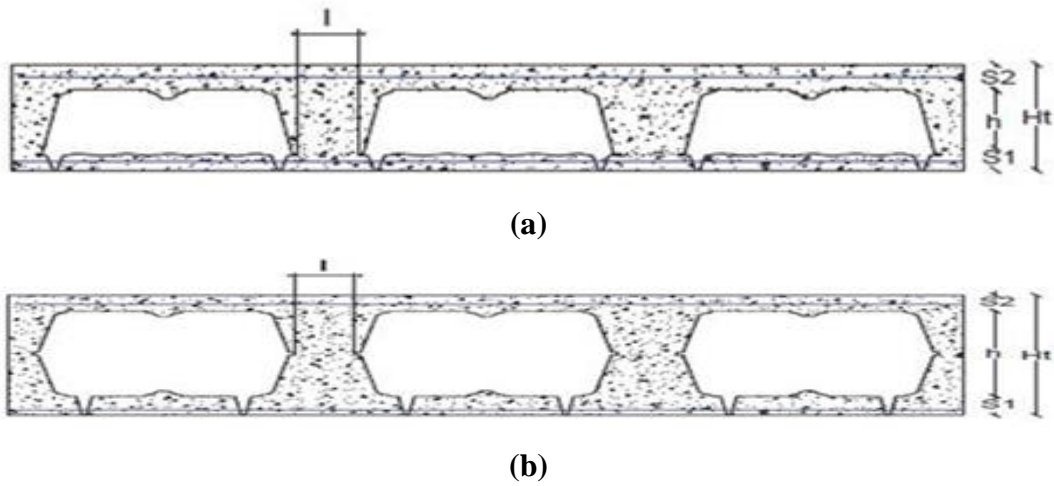
kullanılır. Düz tavan elde edilerek tesisat sistemlerinin işçiliği kolaylaşır. Bina ısıtma-soğutmasında daha verimli enerji kullanımı sağlanır (Taşkın, 2014).

4.3.2. Kör kalıpların kurulumu

Plastik kör kalıp sistemleri geri dönüşüm özelliğine sahip polipropilen malzemesi ile üretilmektedir. 52 cm x 52 cm taban ebatlarına sahip olan kör kalıplar proje ihtiyacına göre tek olarak 10-28cm arasında değişen yüksekliklerde üretilmektedir. Hem tek hem de çift konfigürasyonlu kullanımlarda alt plağın kalınlığını belirleyen entegre ayaklar 0-100 mm'ye kadar değişen yüksekliklerde üretilebilmektedir. Plastik kör kalıplar yüksekliklere göre adlandırılmaktadır. Tek kör kalıp sistemleri H13, H16, H20, H24, H28 ve çift kör kalıp sistemleri H32, H36, H40, H44, H48, H52 ve H56 dir. Kör kalıplar elips, küre, daire veya küp şeklinde üretilmektedir (Taşkın, 2014).



Şekil 4.15. Tek parça (a), çift parça plastik kör kalıbın aksonometrik görünümü (b) (Taşkın, 2014).

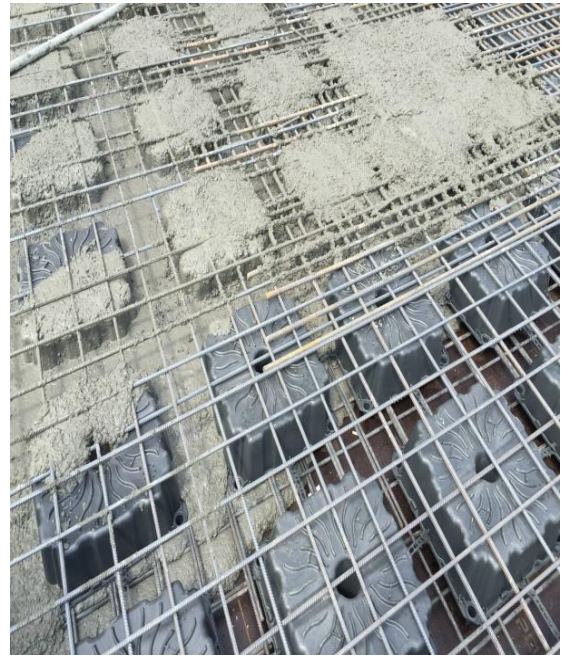


Şekil 4.16. Tek parça plastik kör kalıp (a), çift parça plastik kör kalıp ile oluşturulan döşeme en kesiti (b) (Kıvanç, 2014).

İnşaat aşamasında döşeme kalıbı hazır hale getirilir ve pas payı bırakılarak hasır çelikler serilir. Sonra plastik kör kalıplar, orantılı bir şekilde döşeme kalıbı yüzeyine yerleştirilir. Kirişsiz döşemelerde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi, kolonlarda zımbalama güvenliğinin sağlanmasıdır. Bu bölgelerde göçme olmaması için, kolonlardan güvenli mesafeye kadar döşemeler dolu kesit olmalıdır. Gerekli görülmesi halinde bu bölgelerde kesit artışı ya da özel donatı çeliği kullanılabilir. Kör kalıpların kenarlardan ve kolonlardan uzak bir şekilde yerleştirdikten sonra eğilme, kesme donatıları ve gerekli tüm donatılar yerleştirilir. Kör kalıpların altından beton dökümüne başlanır. Bu beton katmanı, kör kalıpların ayaklarını ve kalıpların dış kenarını örtmelidir. Birinci döküm aşaması tamamlandıktan sonra betonun dayanım kazanması beklenerek geri kalan boşluk kısım betonla kaplanarak plağın dökülmesi tamamlanır, projeye uygun şekilde hem üst plak hem de nervür betonu dökülerek işlem tamamlanır.



(a)



(b)

Şekil 4.17. Kör kalıp dizilimi (a), beton dökümü (b) (URL-2).

5. DÖŞEME SİSTEMLERİ İÇİN PARAMETRİK ÇALIŞMA

İki doğrultu çalışan boşluklu kör kalıp sistemleri kullanılarak uygulanmakta olan diğer döşeme sistemleri (kirişli, dişli, mantar, kaset) ile yürürlükte olan yönetmelikler kapsamında bir değerlendirme yapılmış ve sayısal analiz programı kullanılarak farklı döşeme sistemleri için donatı, kalıp, beton ve maliyet analizleri yapılmıştır (Taşkın, 2014). Bu tasarımda kullanılan parametreler hareketli yük, taşıyıcı sistem tipi geometri ve döşeme sürekliliğidir.

Çizelge 5.1. Seçilen boşluklu döşeme parametreleri.

Boşluksuz Sistem		Boşluklu Sistem		
		x=	52 cm	
		y=	16 cm	
		tg=	15 cm	
		ta=	7 cm	
		tu=	7 cm	
b=	67 cm	b=	67 cm	
d=	30 cm	d=	30 cm	d* = 28,77 cm
v=	134670 cm ³	v=	91406 cm ³	
I=	150750 cm ⁴	I=	133000,7 cm ⁴	
A=	2010 cm ²	A=	1178 cm ²	
I1/m=	225000 cm ⁴	I1/m=	198508 cm ⁴	k11/m= 0,8823
A1/m=	3000 cm ²	A1/m=	1758 cm ²	kA1/m= 0,5861
v1/m=	30 cm	v1/m=	20,36222 cm	kv1/m= 0,6787

x: kör kalıp modülü genişliği
 y: kör kalıp modülü yüksekliği
 tg: dış gövde kalınlığı
 ta: alt tabla derinliği
 tu: üst tabla derinliği
 d: modül yüksekliği
 b: modül genişliği
 d*: atalet momenti açısından eşdeğer boşluksuz döşeme yüksekliği
 v: modülün tam dolu beton hacmi
 I: modül atalet momenti
 I1/m: birim boyda atalet momenti
 k11/m: birim boyda atalet momenti için düzeltme katsayısı
 A: modül beton kesit alanı
 A1/m: birim boyda beton kesit alanı
 kA1/m: birim boyda efektif beton kesit alanı için düzeltme katsayısı
 v1/m: birim boyda beton hacmi
 kv1/m: birim boyda hacim için düzeltme katsayısı

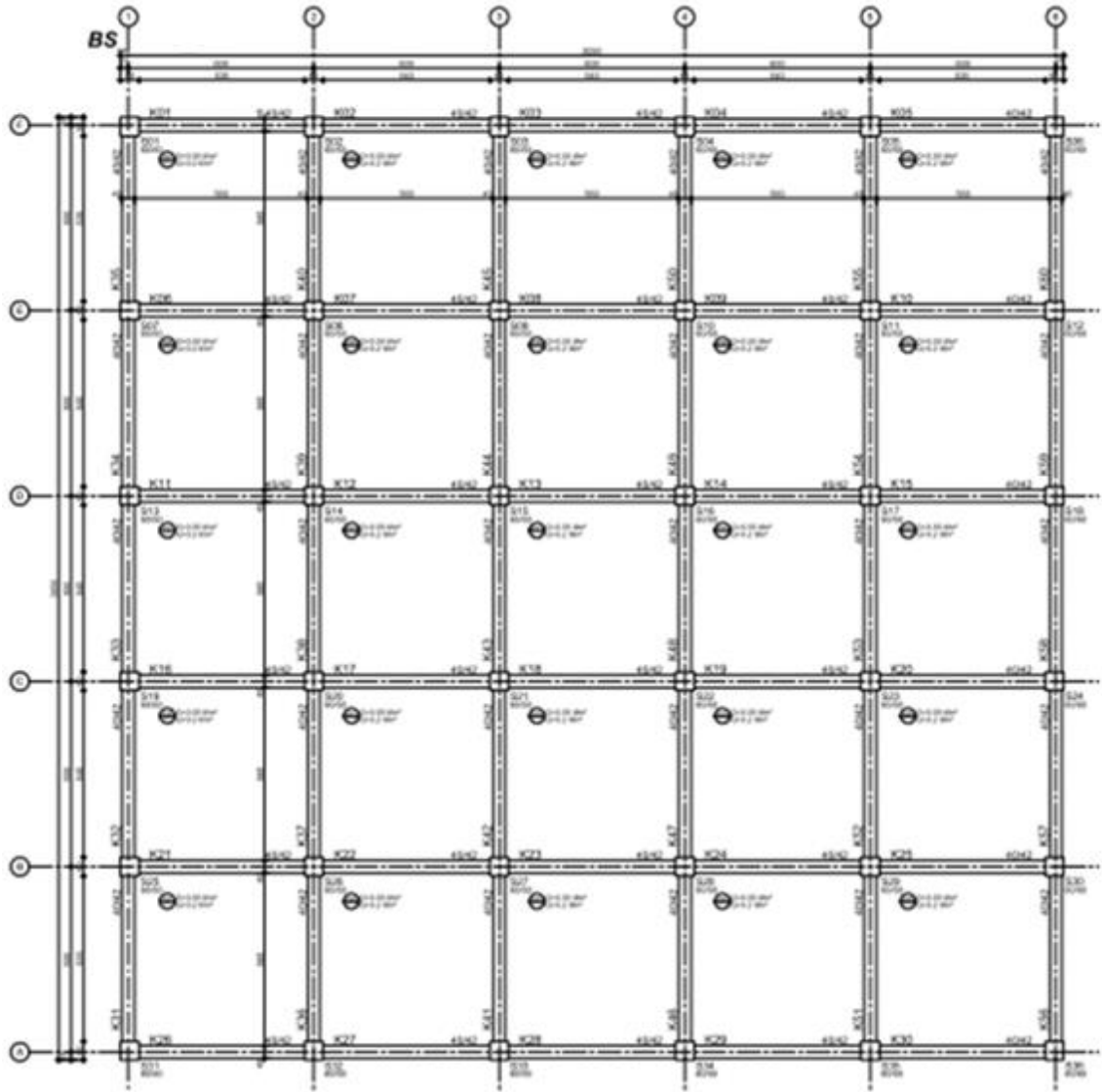
5.1. Taşıyıcı Sistem Tipleri

Bu çalışmada kirişsiz döşeme, kirişli döşeme, dişli döşeme, kaset döşeme, boşluklu kirişsiz döşeme ve boşluklu dişli döşeme kullanılmıştır. Farklı taşıyıcı sistem tiplerinde, TS500 ve diğer zorunlu yönetmeliklerin minimum şartları (gereklikleri) sağlanarak ve diğer parametreler de hesaba katılarak öncelikle boyut optimizasyonu yapıp sayısal analiz modelleri oluşturulmuştur. Analiz sonuçları incelenerek donatı uygulanabilirliğine ve kesit tesirlerine bakılmıştır. Eğer kesit tesirleri sonucu yönetmelikler açısından bir uyumsuzluk söz konusu ise; başa dönülerek eleman optimizasyonu yapılarak oluşturulan modellerin sonuçları kullanılmıştır(Taşkın, 2014).

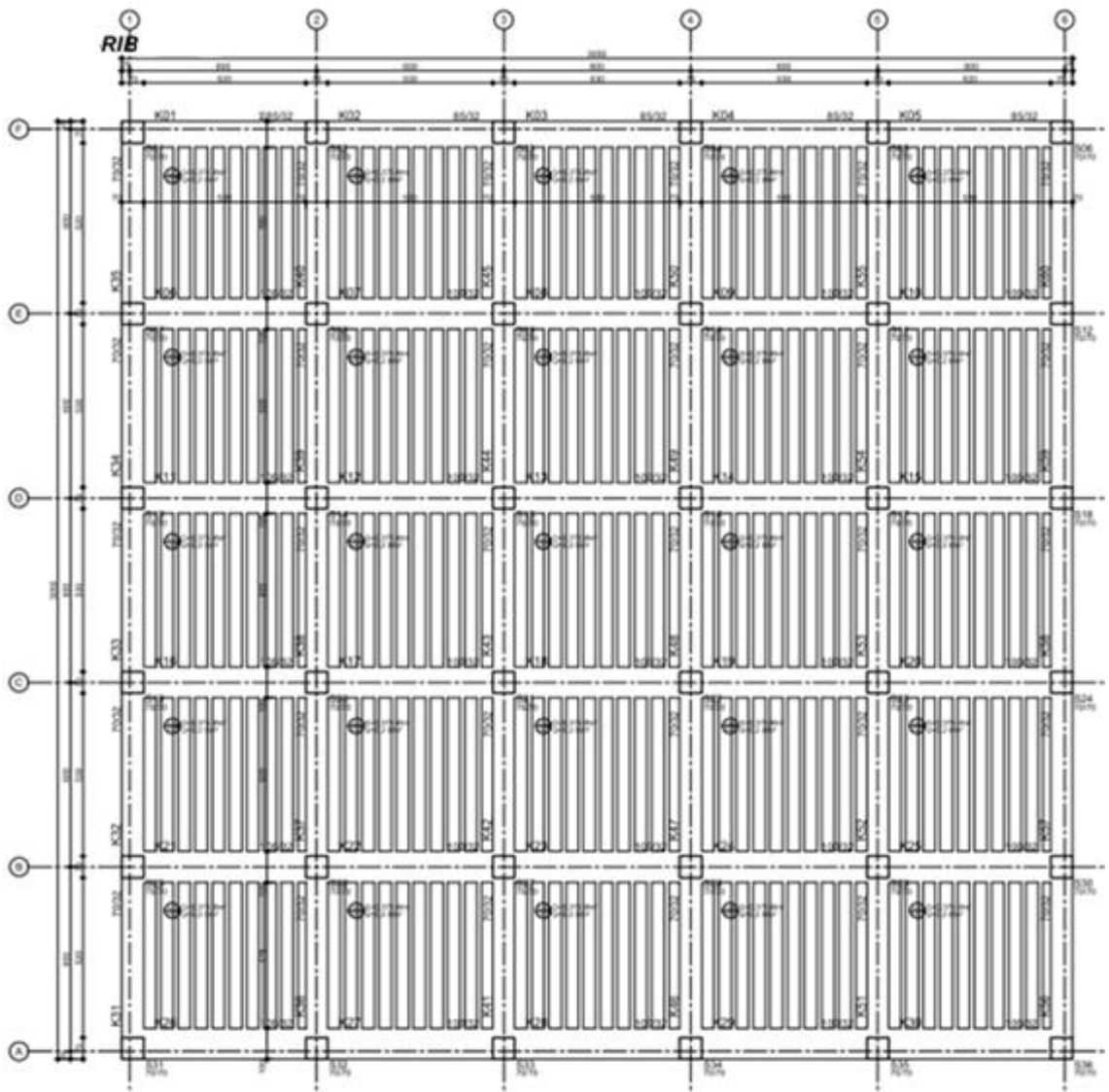
Çizelge 5.2. Taşıyıcı sistem tipi (Taşkın, 2014).

GÖSTERİM	TAŞIYICI SİSTEM TİPİ
BS	Kiriş Plak Sistem.(Beam Slab)
RIB	Bir Doğrultuda Dişli (Nervürlü) Döşeme (Ribbed Slab)
WFF	İki Doğrultuda Dişli (Kaset) Döşeme (Waffle Slab)
FLT	Başlıksız Kirişsiz Döşeme (Flat Slab)
MSH	Başlıklı Kirişsiz (Mantar) Döşeme (Mushroom Slab)
BŞLK1	Boşluklu Kirişsiz Döşeme
BŞLK2	Boşluklu Dişli Döşeme

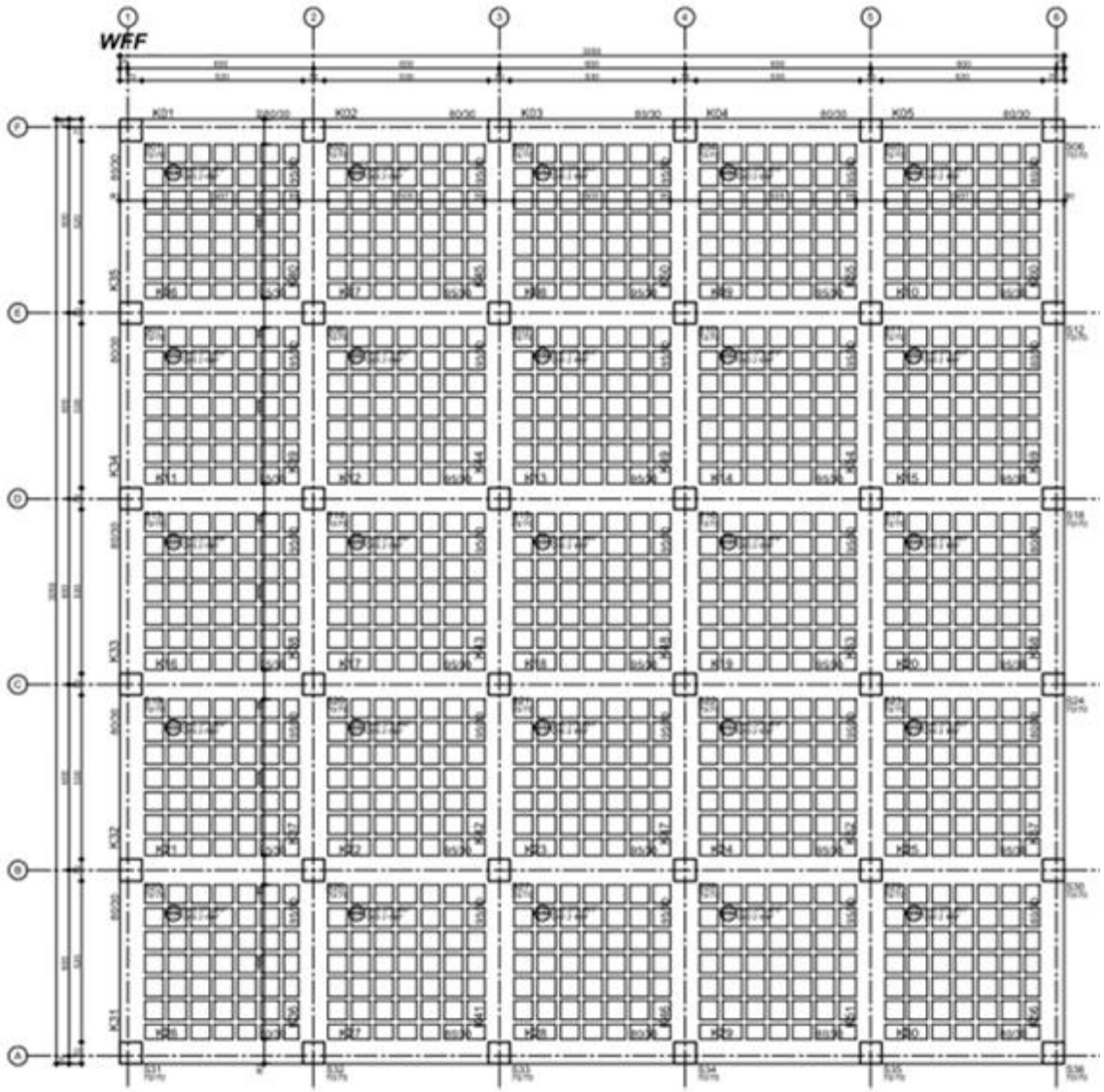
Taşıyıcı sistem tiplerinin geometrik tiplerinin kalıp planları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Kullanılan döşeme kalınlıkları, kiriş ve kolon ölçüleri her kalıp planı için kendi içinde değişken özelliklere sahiptir.



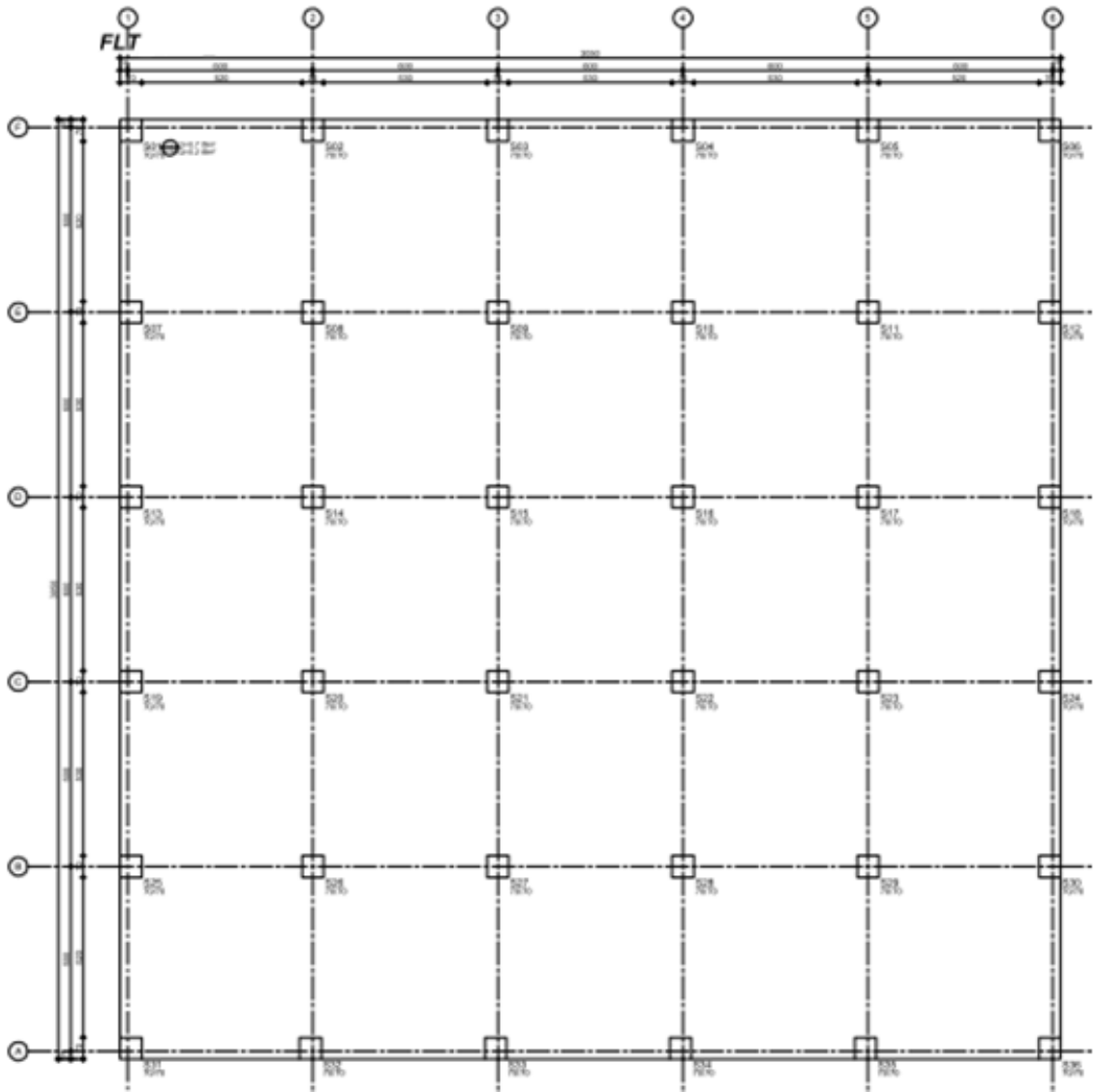
(a)



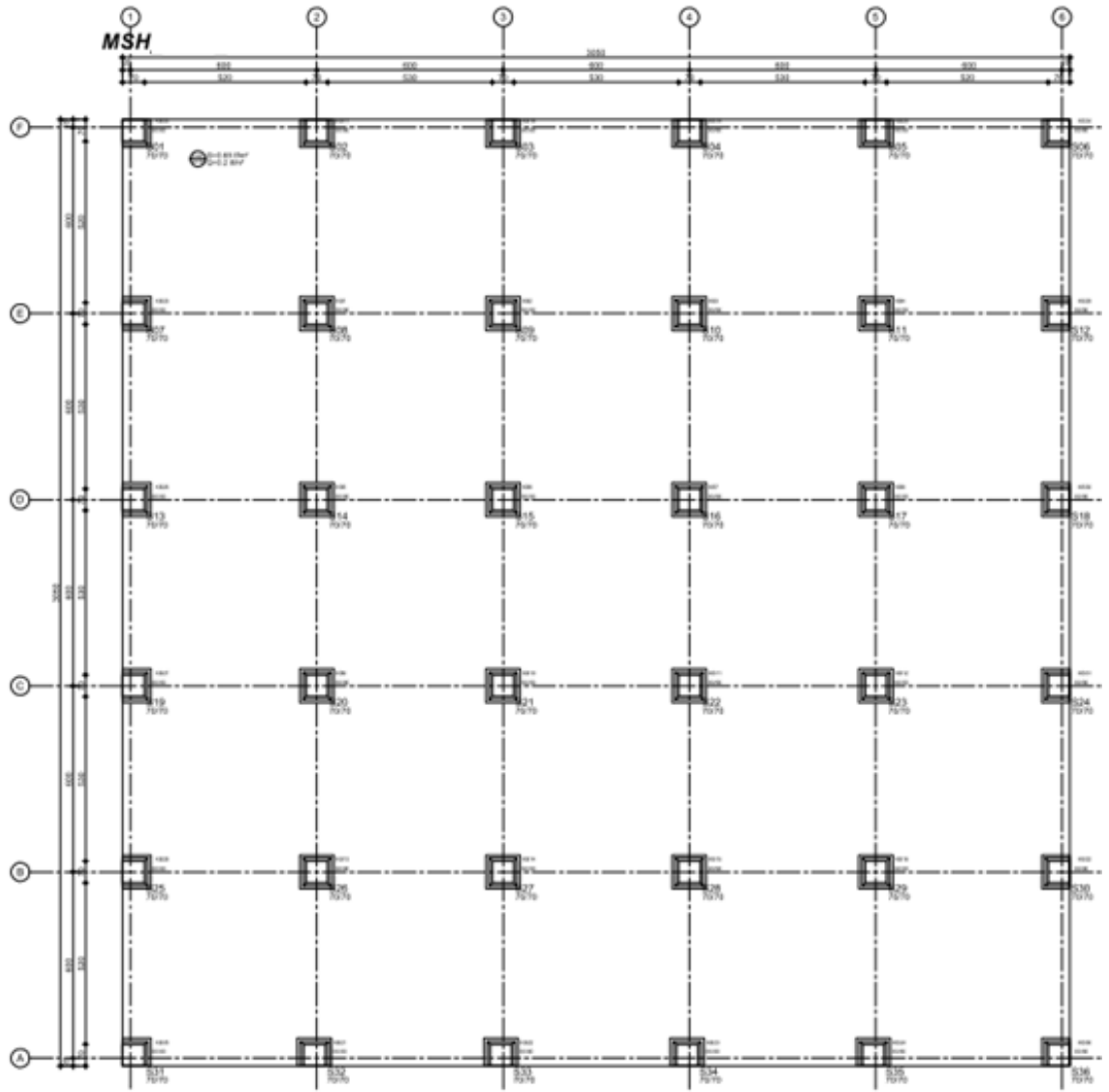
(b)



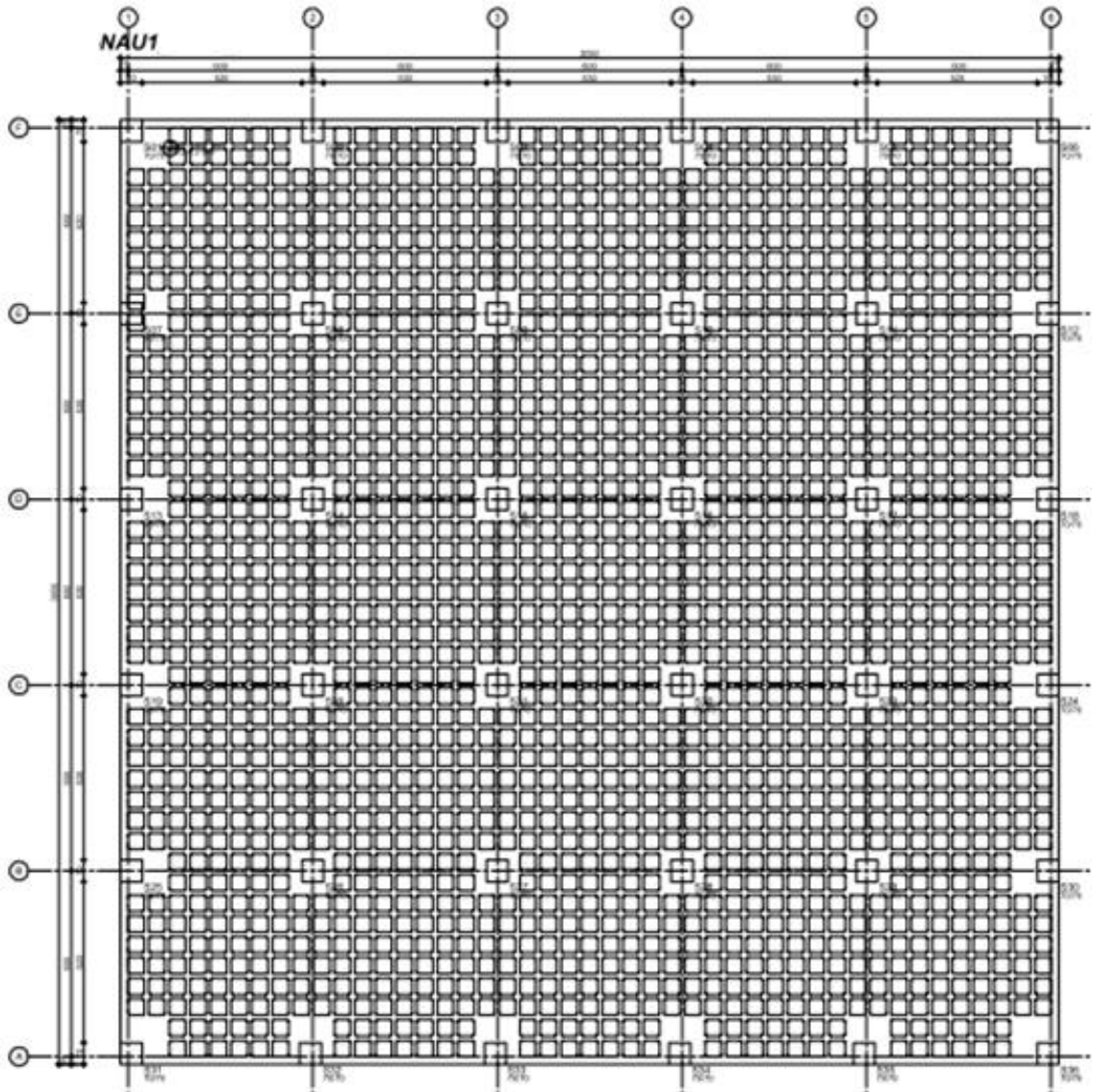
(c)



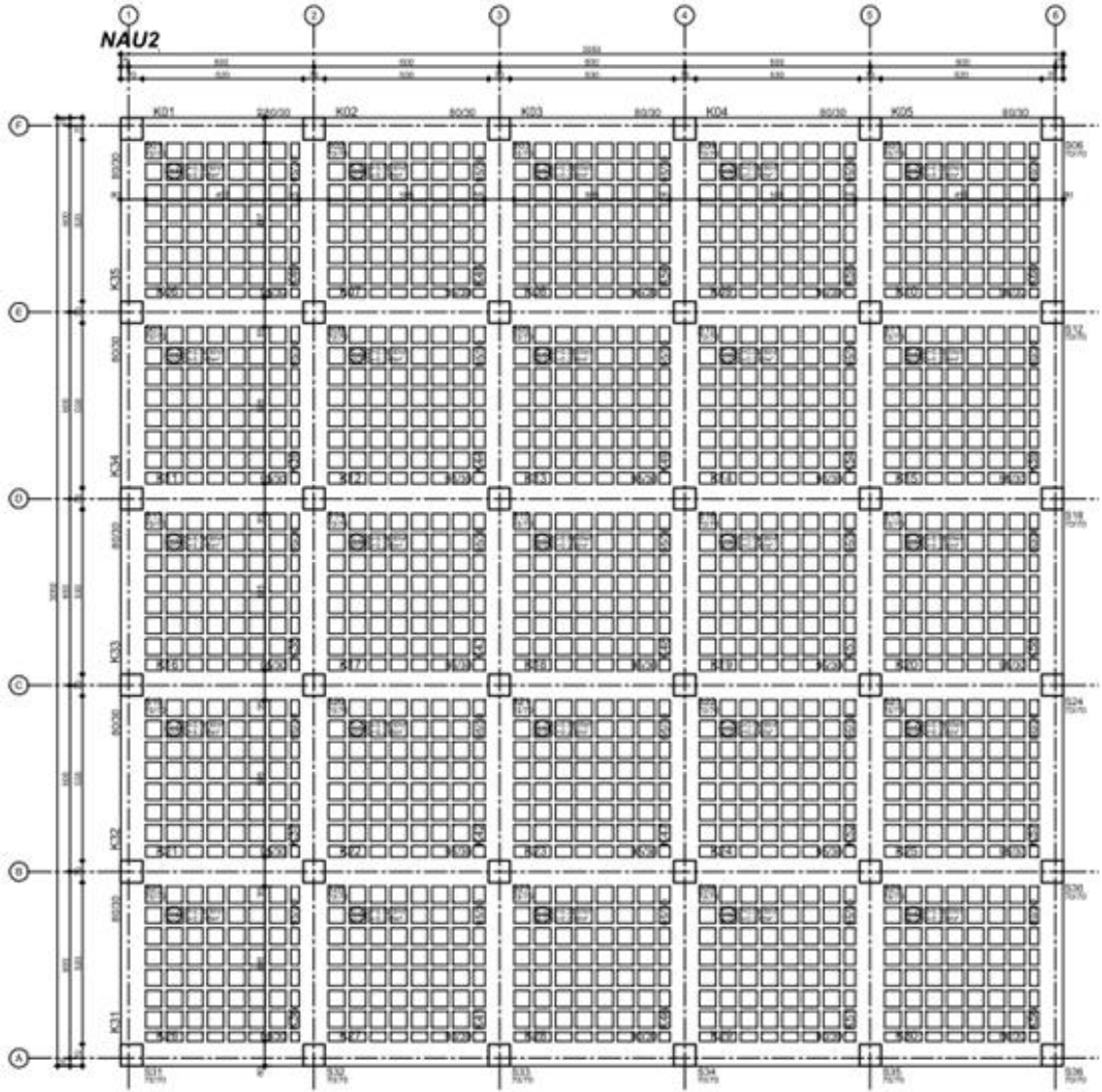
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 5.1. Kirişli plak sistem kalıp planı (a), bir doğrultuda dişli döşeme kalıp planı (b), iki doğrultuda dişli döşeme kalıp planı(kaset döşeme) (c), başlıksız kirişsiz döşeme kalıp planı (d), başlıklı kirişsiz döşeme kalıp planı(mantar döşeme) (e), boşluklu kirişsiz döşeme kalıp planı (f), boşluklu dişli döşeme kalıp planı (g) (Taşkın, 2014).

5.2. Hareketli Yük Tipleri

TS 498 yönetmeliklerindeki kullanım amacına göre sınıflandırılan düzgün yayılı hareketli yük değerleri çizelge 5.3’de gösterilmiştir. Tüm döşeme sistemlerinde zati yük olarak 0.200 t/m^2 yük kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3. Hareketli yük tipleri (Taşkın, 2014).

KISALTMA	Hareketli Yük Değeri	Hareketli Yük Tanımı
Q200	$q=0.200 \text{ t/m}^2$	Konutlar, Ofisler
Q350	$q=0.350 \text{ t/m}^2$	Okullar
Q500	$q=0.500 \text{ t/m}^2$	Otoparklar, Mağazalar vs.
Q750	$q=0.750 \text{ t/m}^2$	Tribünler
Q1000	$q=1.000 \text{ t/m}^2$	Depolama Bölgesi İçeren Mağazalar

5.3. Geometri ve Döşeme Sürekliliği

Geometri tipleri seçerken mimari projede alternatif çözümler oluşturmaya yarayacak açıklıklar kullanılmıştır. Büyük açıklıkların bir kısmının maliyetleri de göz önüne alınıp noktasal sorunlara çözüm oluşturmak üzere yapının belli bir kısmında tekil olarak bulunacağı düşünülerek döşeme süreksizliğini de göz önüne almak için tek açıklıklı çözümü yapılmıştır. Çoklu açıklık seçimi yapılan tiplerde tüm açıklıklar aynı boyutta kabul edilerek ve her iki doğrultuda döşeme sürekliliğinin etkisini görmek için beş açıklıkta hesap yapılmıştır(Taşkın, 2014).

Uygulamada kullanılan açıklık ve döşeme sürekliliği çizelge 5.4 te gösterilmiştir. S harfi tek açıklığı M her iki yönde beş açıklığı ifade etmektedir.

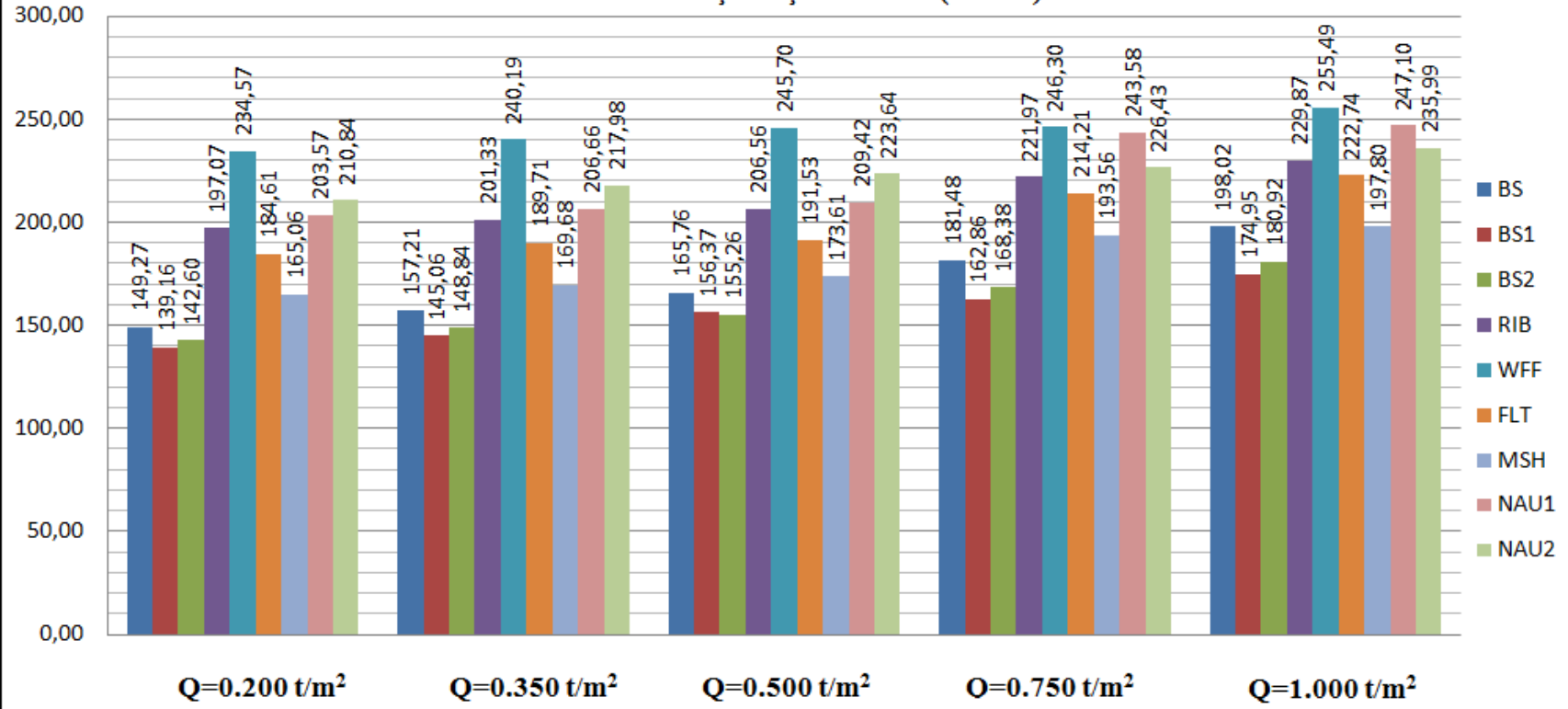
Çizelge 5.4. Geometri ve döşeme sürekliliği.

KISALTMA	X ve Y Doğrultusu Açıklık Boyutları	Döşeme Sürekliliği
6x6M	lx=6 m, ly=6 m	M (Çoklu Açıklık)
8x8M	lx=8 m, ly=8 m	M (Çoklu Açıklık)
10x10M	lx=10 m, ly=10 m	M (Çoklu Açıklık)
12x12M	lx=12 m, ly=12 m	M (Çoklu Açıklık)
14x14S	lx=14 m, ly=14 m	S (Tek Açıklık)
16x16S	lx=16 m, ly=16 m	S (Tek Açıklık)
6x9M	lx=6 m, ly=9 m	M (Çoklu Açıklık)
6x12M	lx=6 m, ly=12 m	M (Çoklu Açıklık)
8x12M	lx=8 m, ly=12 m	M (Çoklu Açıklık)
8x16M	lx=8 m, ly=16 m	M (Çoklu Açıklık)
10x15S	lx=10 m, ly=15 m	S (Tek Açıklık)
10x20S	lx=10 m, ly=20 m	S (Tek Açıklık)
12x18S	lx=12 m, ly=18 m	S (Tek Açıklık)
12x24S	lx=12 m, ly=24 m	S (Tek Açıklık)
14x21S	lx=14 m, ly=21 m	S (Tek Açıklık)
16x24S	lx=16 m, ly=24 m	S (Tek Açıklık)

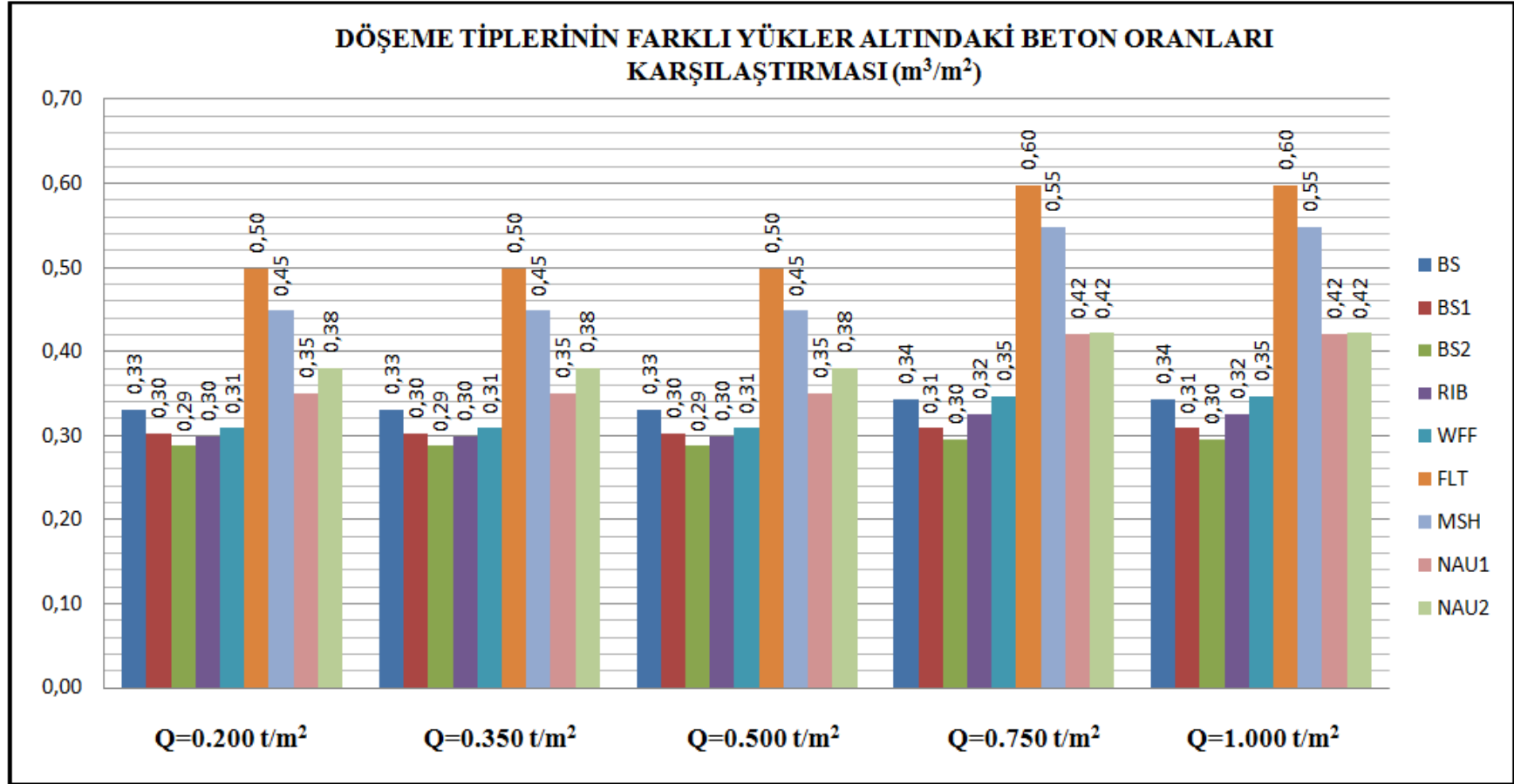
5.4. Maliyetlerin Grafiklerle Karşılaştırılması

Bu bölümde 12mx12m açıklıktaki döşeme tiplerinin kalıp(m²), donatı(kg), beton(m³) ve maliyet(tl) karşılaştırılması yapılmış ve değerler aşağıdaki grafiklerle gösterilmiştir. Bu grafikler sonucunda yük miktarı ve açıklık arttıkça kör kalıp kullanılarak oluşturulan boşluklu kirişsiz döşeme sistemlerinin diğer döşeme sistemlerine göre donatı, kalıp oranları, beton ve maliyet açısından daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada inşaat tamamlanma süresi bir parametre olarak alınmamış sadece kullanılan malzeme metrajları üzerinden bir karşılaştırma yapılmıştır. Tüm bu karşılaştırma grafik sonuçları, sahada iş programlarıyla birlikte uygulama kolaylığı ve inşaat hızı açısından proje bazında ayrıca değerlendirilmelidir. M² maliyeti biraz daha fazla olan bir taşıyıcı sistemin süre açısından değerlendirilmesi durumunda daha ekonomik sonuçlar yaratabileceği unutulmamalıdır(Taşkın, 2014).

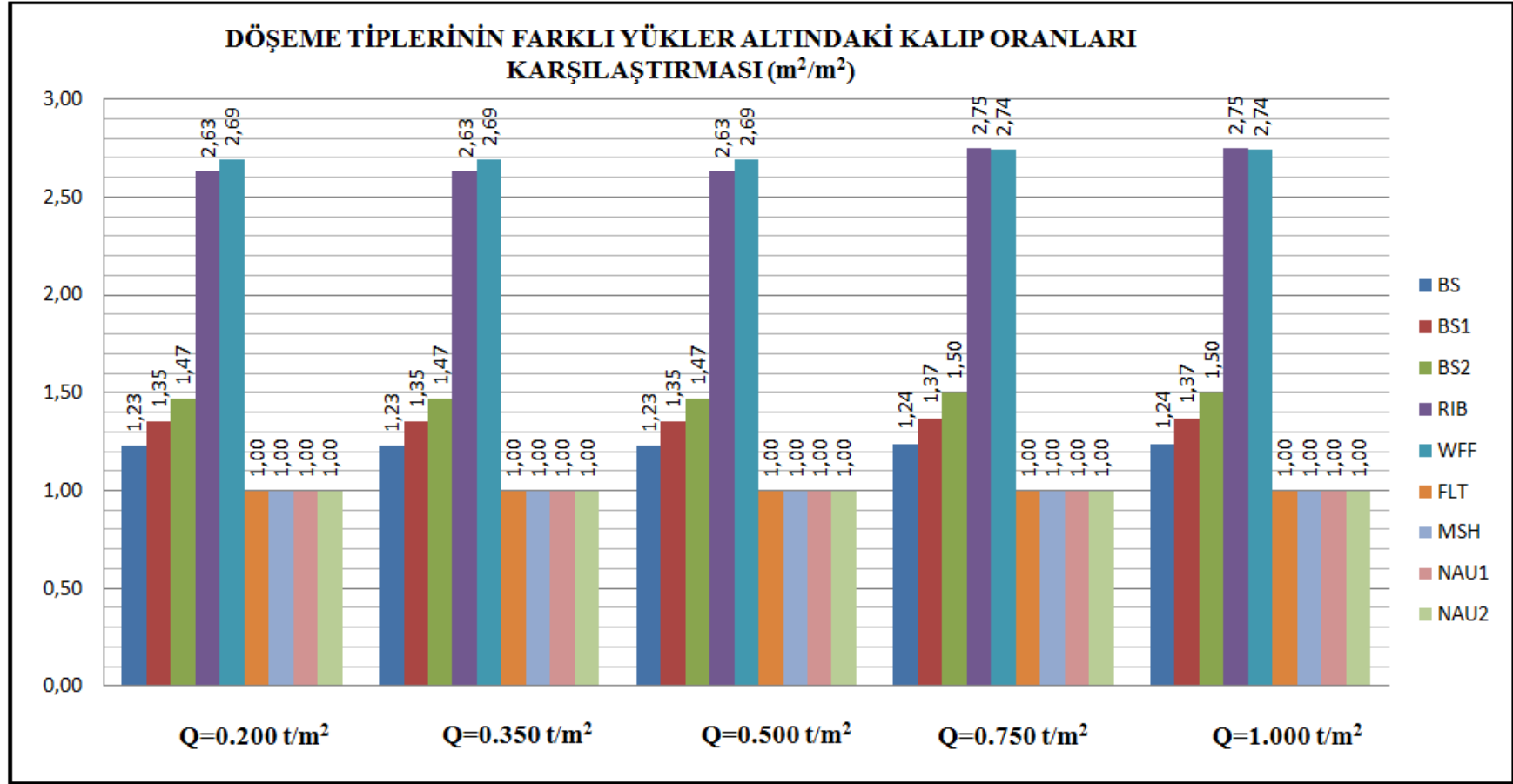
DÖŞEME TİPLERİNİN FARKLI YÜKLER ALTINDAKİ TOPLAM MALİYET KARŞILAŞTIRMASI (TL/m²)



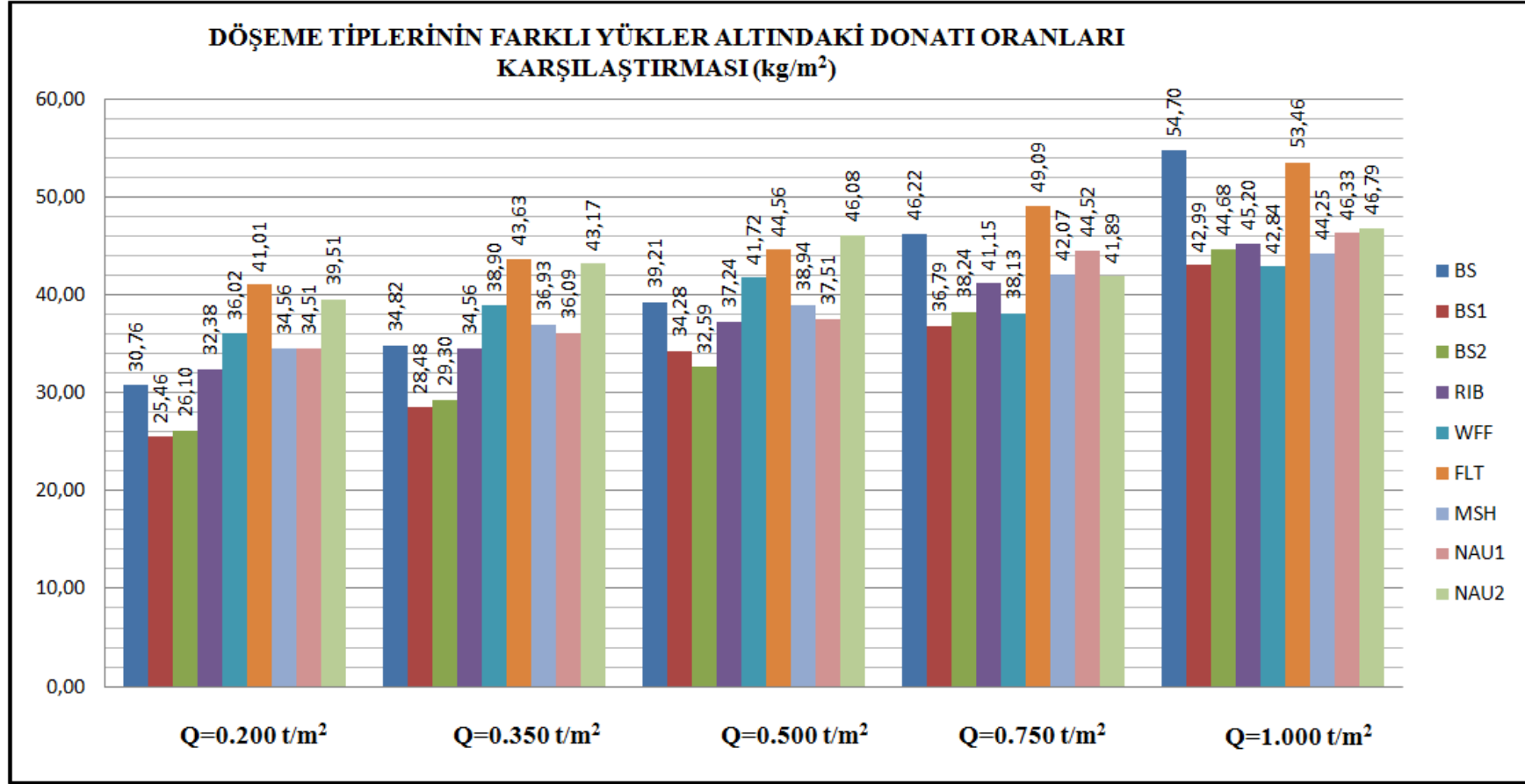
(a)



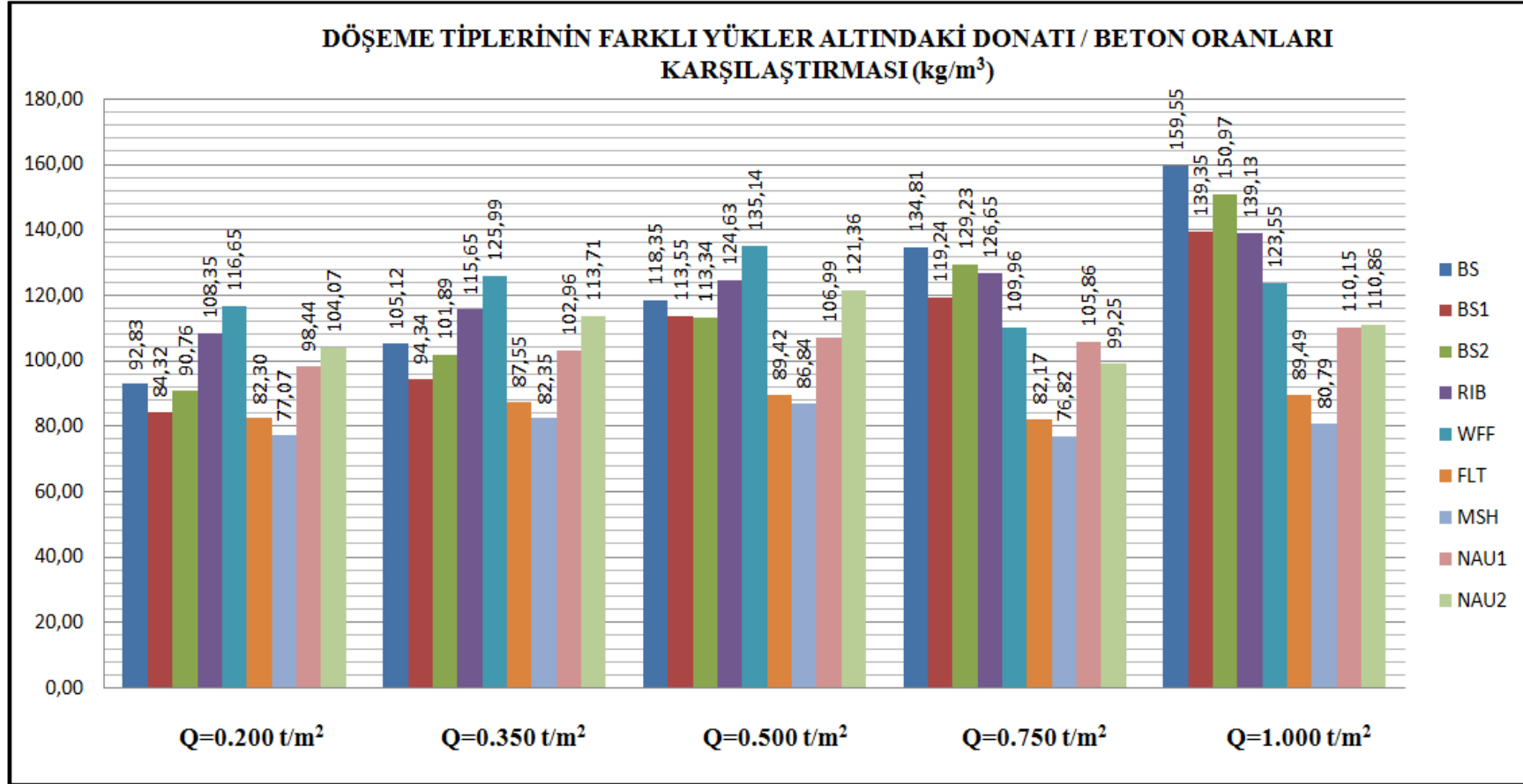
(b)



(c)



(d)

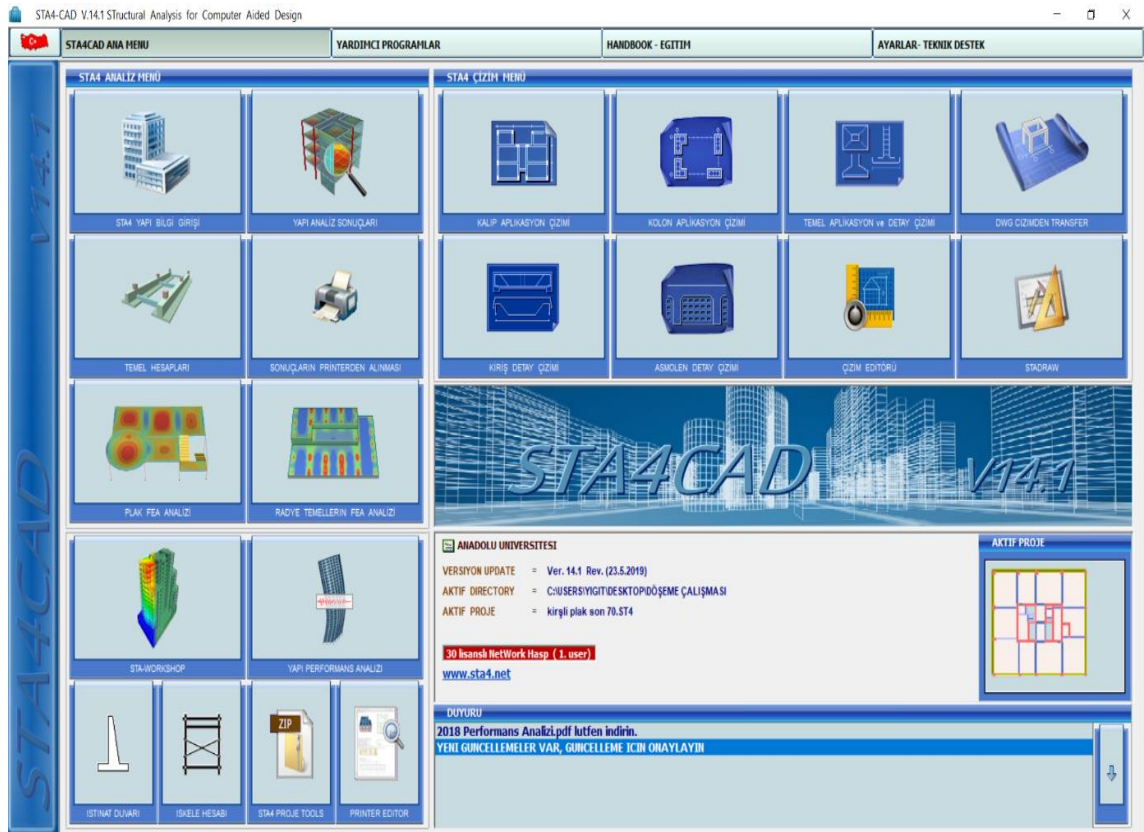


(e)

Şekil 5.2. 12mx12m çoklu açıklıklı döşeme sisteminin, toplam maliyet karşılaştırması (a), beton oranları karşılaştırması (b), kalıp oranları karşılaştırması (c), donatı oranları karşılaştırması (d), donatı/beton oranları karşılaştırması (e) (Taşkın, 2014).

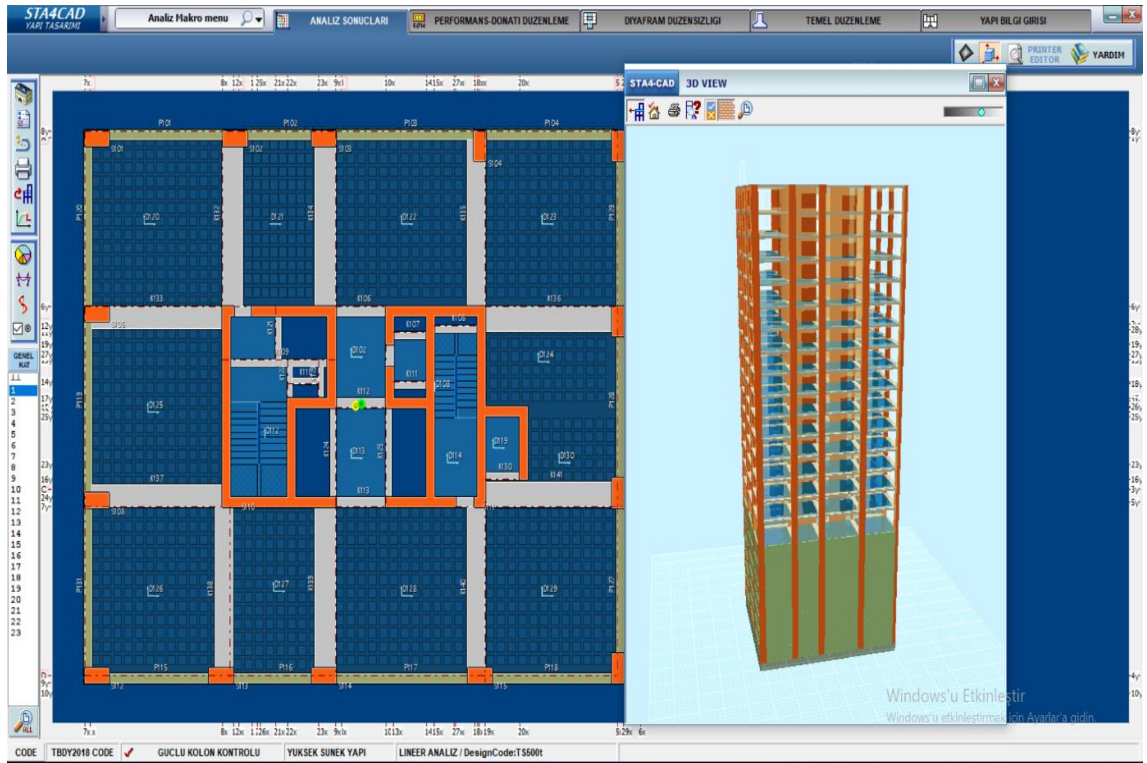
6.STA4-CAD PROGRAMI İLE ÖRNEK BİR BİNANIN ANALİZİ

Sta4-cad programı; çok katlı betonarme yapıların betonarme, rüzgar, deprem ve statik analizini yapan bir paket programdır. Program; betonarme ve statik analizleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine tamamen uygun şekilde yapabilmektedir. Şekil 6.1’de görüldüğü gibi program anlaşılır ve kolay bir giriş menüsüne sahiptir.



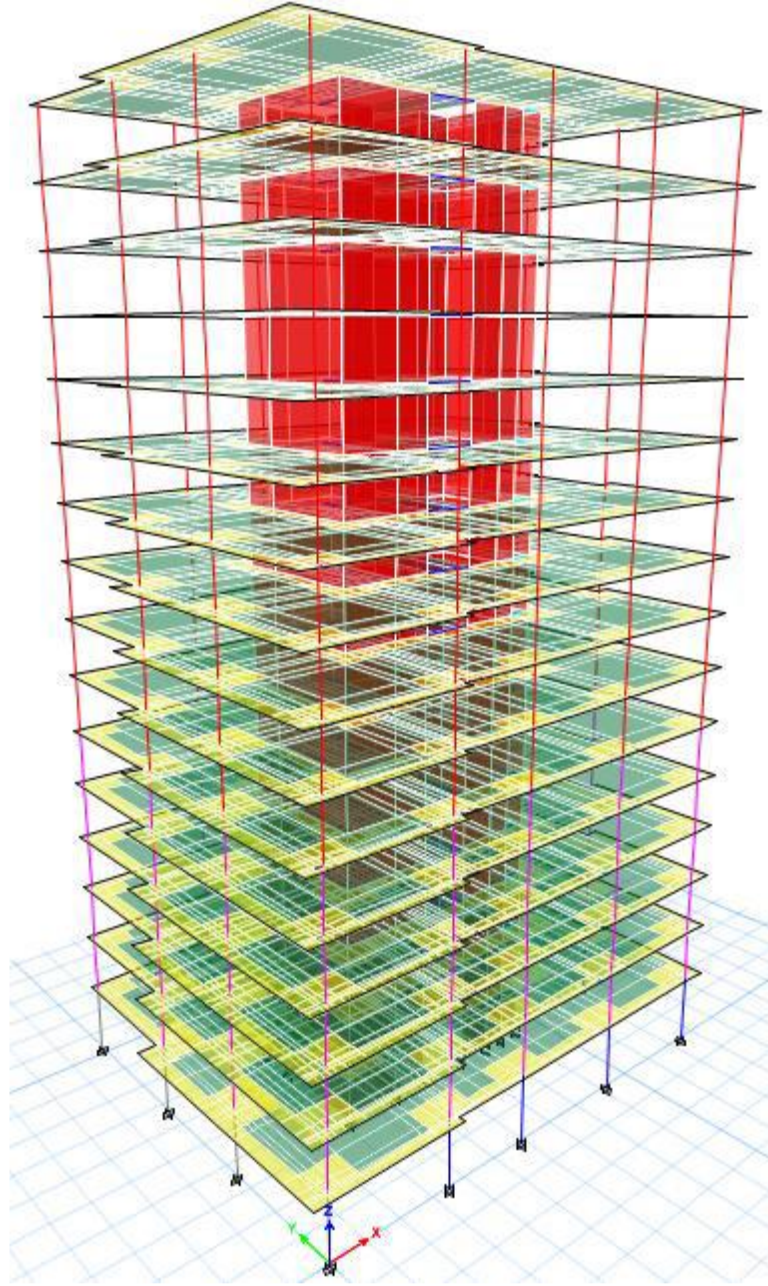
Şekil 6.1. Sta4-cad giriş ekranı.

Planda girilen yapı bilgileri kolonlar, kirişler, döşemeler ve temeller, eş zamanlı olarak planda ve üç boyutlu olarak görülebilmektedir. Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2. Sta4-cad yapı bilgi giriş ekranı.

Analizde kullanılacak olan bina İstanbul İli, Bahçelievler İlçesi'nde bulunan bina tek blok halinde 7 kat bodrum, zemin kat ve 15 normal kat olmak üzere 23 katlı ve boyutları 33.00 m x 26.40 m olan yaklaşık 1000 m² kat alınan sahip ofis binası boşluklu döşeme sistemiyle tasarlanmıştır. Bodrum katların yüksekliği 3.00 metre zemin kat yüksekliği 4.65 metre üst katların yüksekliği 3.70 metredir. Seçilen bina +77.25 kotuna kadar yükselmektedir ve birinci deprem bölgesinde yer almaktadır.



Şekil 6.3. Analiz yapılan binanın 3D modeli.

Beton malzemesi olarak C50 ve çelik malzemesi olarak B420C kullanılmıştır. Kullanılan donatı ve betonun özellikleri Şekil 6.5’de gösterilmiştir.

STA4-CAD YAPI MALZEMESİ			
PLAK - ASMOLEN		CELİK PROFİL	
BETON	CELİK	YAPISAL CELİK	
C50 (fck=500 kg/cm ²)	fyk=4200 kg/cm ² - B420C	St37 / S235 / Fe360	
ONGERMELİ PREFABRİK PLAK			
BETON	CELİK		
C50 (fck=500 kg/cm ²)	Grade 250		
HAZIR NERVURLU PLAK			
BETON	CELİK		
C50 (fck=500 kg/cm ²)	fyk=4200 kg/cm ² - B420C		
KIRIS - KOLON			
BETON	CELİK	ETRIYE	
C50 (fck=500 kg/cm ²)	fyk=4200 kg/cm ² - B420C	fyk=4200 kg/cm ² - B420C	
TEMELLER			
BETON	CELİK	ETRIYE	
C50 (fck=500 kg/cm ²)	fyk=4200 kg/cm ² - B420C	fyk=4200 kg/cm ² - B420C	
TUGLA DUVAR			
B1	ELASTISİTE MODULU	BASINC DAYANIMI	KESME DAYANIMI
kg/cm ²	10000	10	1
KAZIKLAR			
P1	ELASTISİTE MODULU	Qp / Qu	Qu: Toplam Kazık yuku Qp: Kazık uc noktasındaki yuk
kg/cm ²	250000	0	

Şekil 6.5. Kullanılan beton ve donatının özellikleri.

DD-1 Deprem yer hareketi düzeyi-1

DD-1 Deprem yer hareketi, elli yılda aşılma olasılığı yüzde iki (tekrarlanma periyodunun 2475 yıl) olan çok seyrek deprem yer hareketidir. Bu en büyük deprem yer hareketidir.

DD-2 Deprem yer hareketi düzeyi-2

DD-2 Deprem yer hareketi, elli yılda aşılma olasılığı yüzde on (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan seyrek deprem yer hareketidir. Bu standart deprem yer hareketidir.

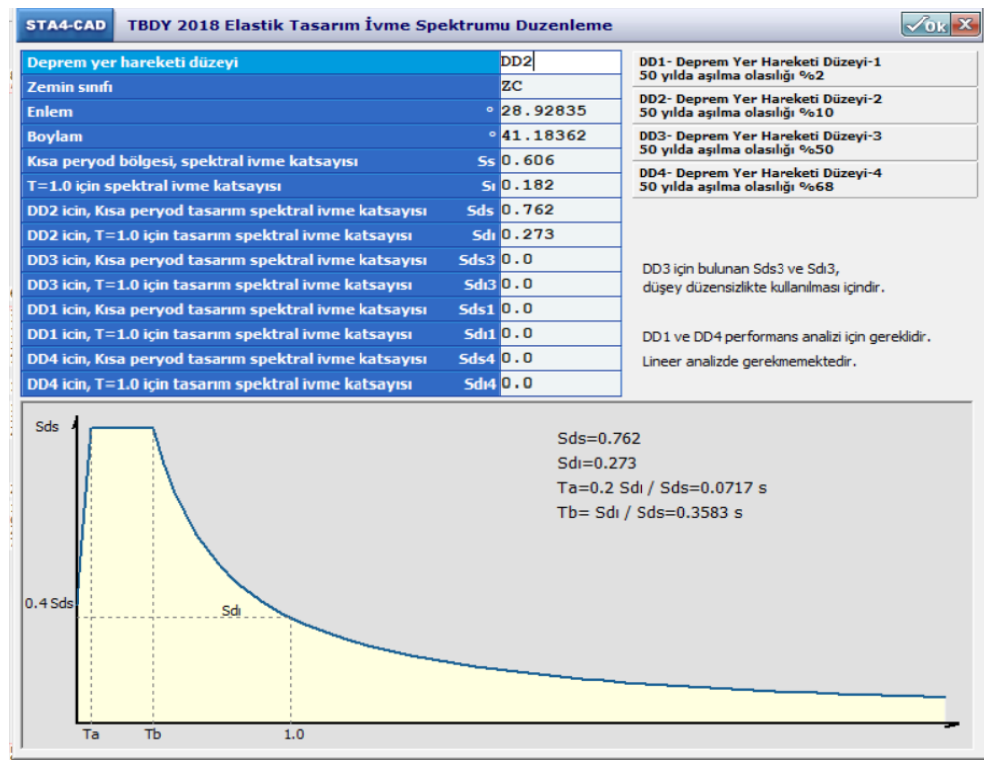
DD-3 Deprem yer hareketi düzeyi-3

DD-3 Deprem yer hareketi, elli yılda aşılma olasılığının yüzde elli (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan sık deprem yer hareketidir.

DD-4 Deprem yer hareketi düzeyi-4

DD-4 Deprem yer hareketi, elli yılda aşılma olasılığının yüzde atmış sekiz, otuz yılda aşılma olasılığı yüzde elli (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan çok sık deprem yer hareketidir.

Şekil 6.6'da görüldüğü gibi en uygun deprem yer hareket düzeyi olan DD-2 seçilmiştir.



Şekil 6.6. Deprem yer hareket düzeyi DD-2.

Yerel zemin sınıfının belirlenmesi Şekil 6.7' e göre ZC olarak belirlenmiştir.

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Şekil 6.7. Yerel zemin sınıfları (TBDY, 2018).

Dört adet deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri, Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarında tanımlanmıştır. Bu haritalara Şekil 6.8’de görüldüğü gibi e-devlet üzerinden erişerek enlem ve boylamını girerek binanın yapılacağı arsaya erişilebilir.

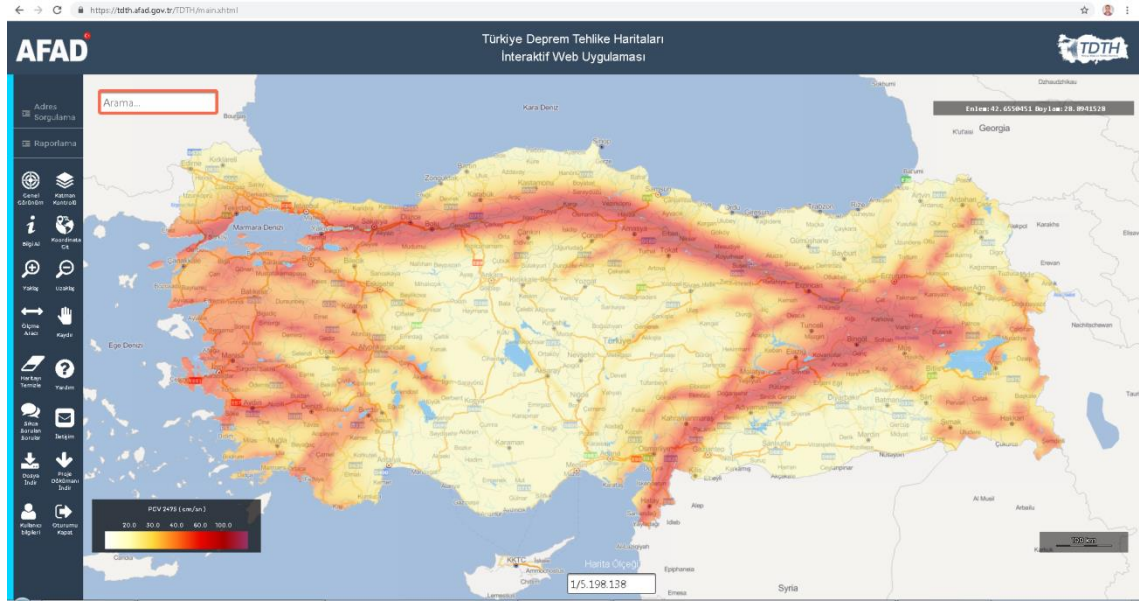
Dört adet deprem yer hareketi düzeyi için Deprem Tehlike Haritaları kapsamında, iki spektral ivme değerini tanımlayan Spektral İvme Haritaları düzenlenmiştir. Boyutsuz olarak tanımlanan harita spektral ivme katsayıları aşağıda belirtilmiştir:

* Kısa periyod harita spektral ivme katsayısı S_S

* 1.0 saniye periyod için harita spektral ivme katsayısı S_1

Harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_1 , tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} ’e dönüştürülür: $S_{DS} = S_S F_S$ ve $S_{D1} = S_1 F_1$

F_S ve F_1 yerel zemin etki katsayıları



Şekil 6.8. Türkiye deprem tehlike haritaları.

Bina önem katsayısı (I) ve Bina kullanım sınıfı (BKS) katsayısının belirlenmesi için Şekil 6.9’de görülen Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’deki bina önem katsayısı çizelgesinden $I=1$ seçilmiştir.

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminaleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Şekil 6.9. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayısı (TBDY, 2018).

Modellemesi yapılan yapının kullanım amacı konut ve iş yeri olarak seçilmiştir. Bu nedenle Şekil 6.10’ da görülen binanın kullanım amacına göre hareketli yük katılım katsayısı çizelgesinden $n=0.3$ seçilmiştir. Seçilen bu katsayı modellenen yapının deprem hesabında kullanılacak olan bina ağırlığı hesabında kullanılmaktadır.

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

Şekil 6.10. Hareketli yük katılım katsayısının seçildiği çizelge.

Sta4-cad programı, zemin ve deprem parametrelerinin girilmesi durumunda otomatik olarak deprem yüklerini hesaplamakta ve analizi yapılacak binaya etki ettirmektedir. Analizi yapılan binanın yapı genel bilgileri Şekil 6.11’ de görülmektedir. Sta4-cad programı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğindeki şartlara tamamen uyumlu bir şekilde deprem hesabını yapmaktadır.

YAPI GENEL BİLGİLERİ ×

Yapı Proje İsmi		kıyaş
Kat Sayısı		23
Spektral ivme Katsayısı	Sds/Sd1	0.762/0.273
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	Rx/Ry	7
Dayanım Fazlalığı Katsayısı	D	2.5
Deprem Yapı Önem Katsayısı	I	1
Hareketli Yük Katsayısı	n	0.3
Deprem Yükü Alt Yüksekliği	Hx/Hy (m)	16.6
Zemin Yatak Katsayısı	Ko (t/m³)	2000
Zemin Taşıma Gücü Gerilmesi	qt (t/m²)	20
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	Cz	1
Deprem Yükü Eksantirisitesi		0.05
Modal Analiz Min. Yük Oranı	β	0.8
Üst Kat no (TDY için)		23
Aplikasyon Kot Farkı	(m)	-6.3

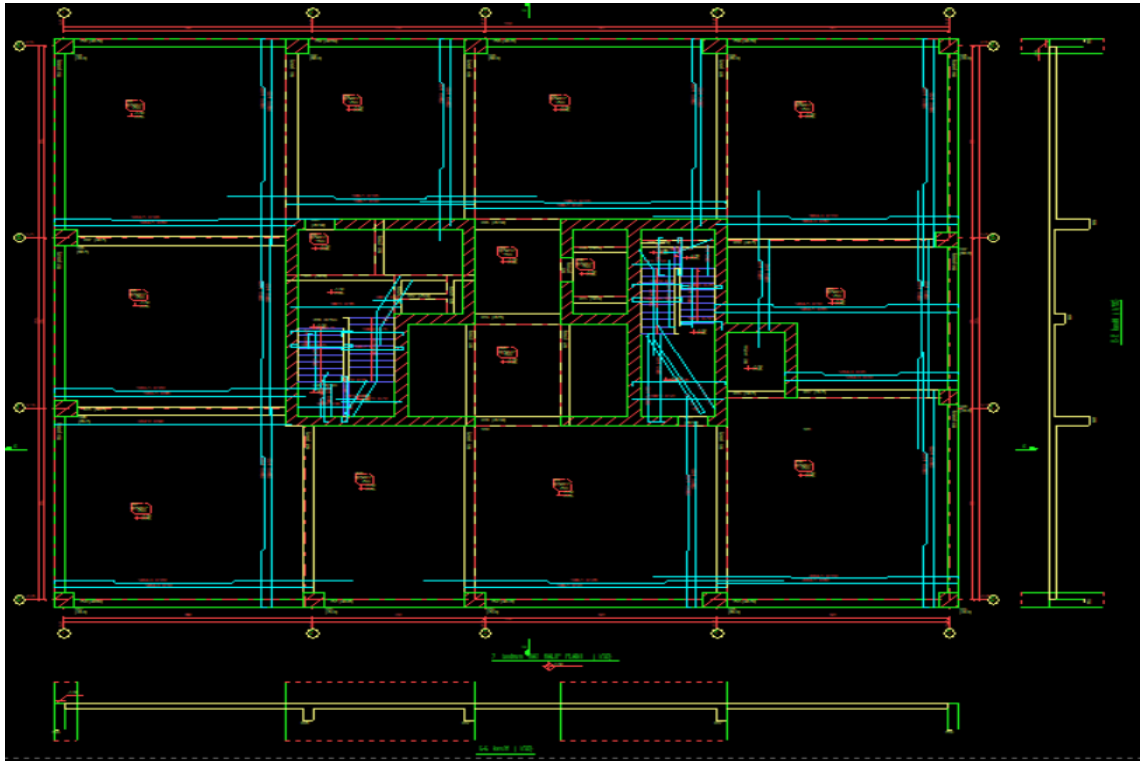
YS. CERCEVE + YS. PERDE

PERFORMANS ANALİZ OPSİYONU

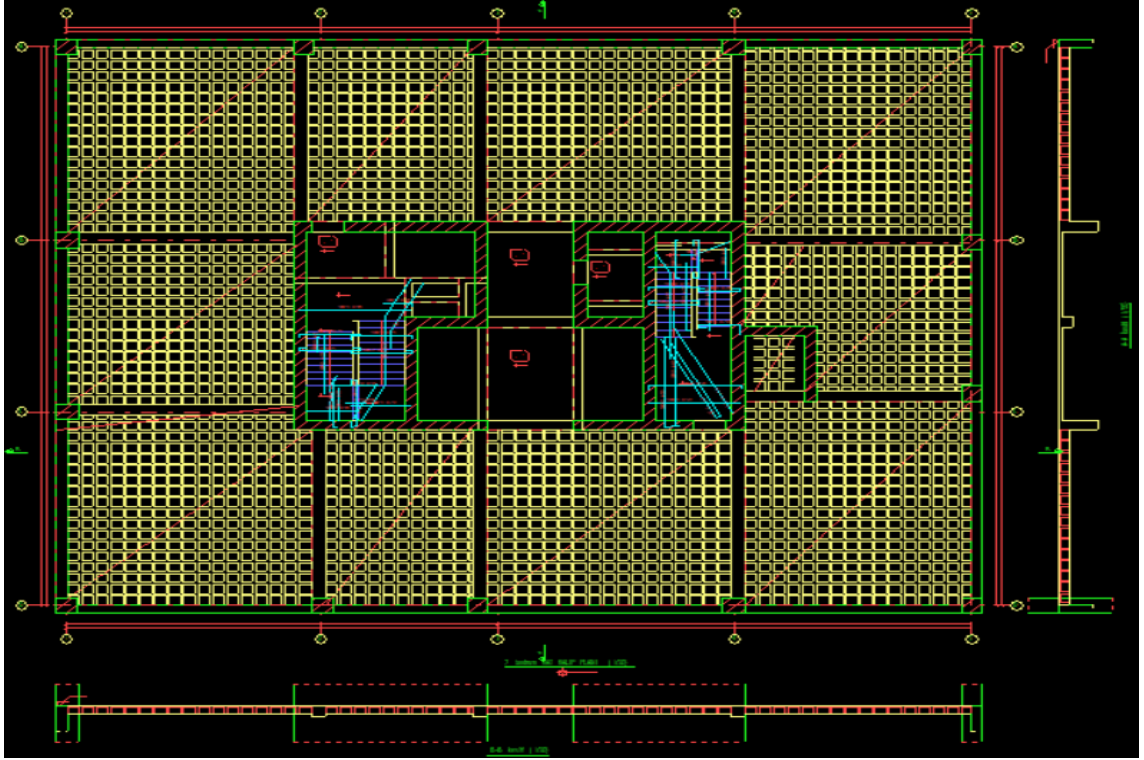
YENİ YAPI PROJESİ DEPREM STANDARDI: TBDY2018 TASARIM STANDARDI: TS500t

Şekil 6.11. Analiz yapılan binanın yapı genel bilgileri.

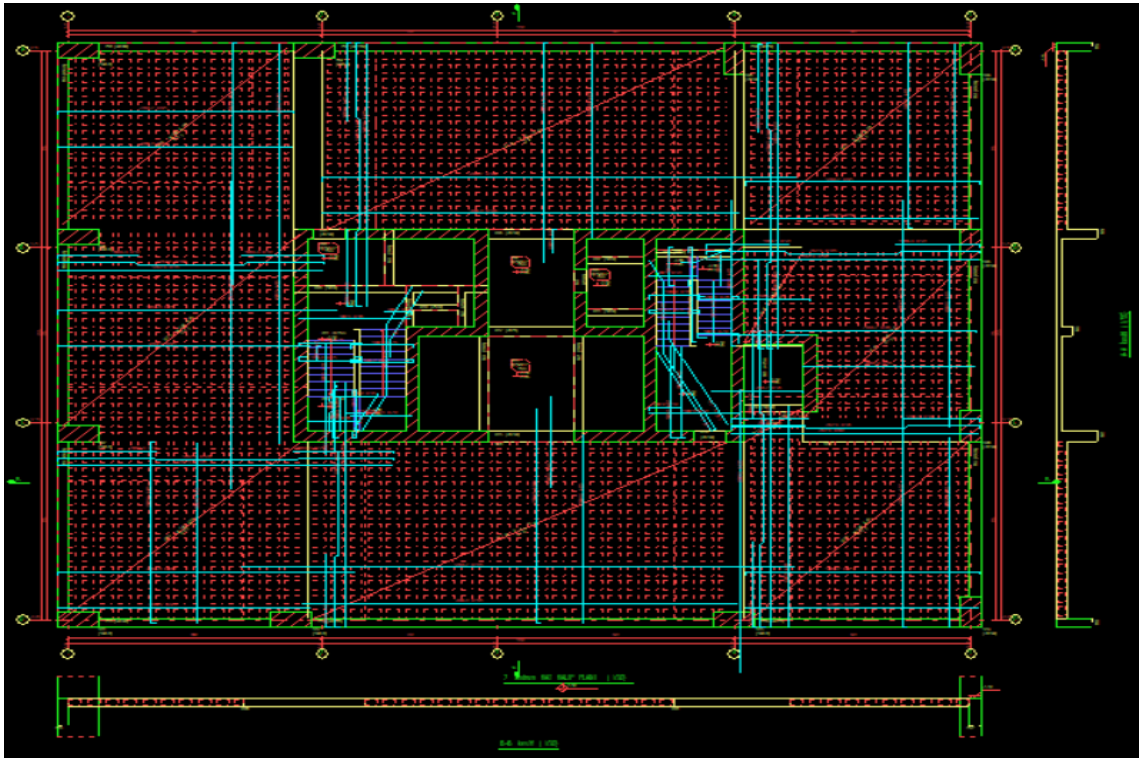
İnşaat tasarım pazarında yaygın olarak kullanılan Sta4-cad yapı analizi ve tasarım paket programı kullanılarak 2019 yılının başında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği doğrultusunda kirişli döşeme, kaset döşeme ve boşluklu döşeme sistemleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu dönüşümler sırasında taşıyıcı sistemde bulunan elemanlarda oluşan güncel standart ve yönetmeliğe uyularak yetersizlikler, ilave eleman konulmadan yapının statikğine sadık kalınarak optimum ölçülerde küçültülerek veya büyütülerek güncel standartların ve deprem yönetmeliğinin sağlanması temin edilmiştir. Analizi yapılan döşemelerin kalıp planları Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



(a)



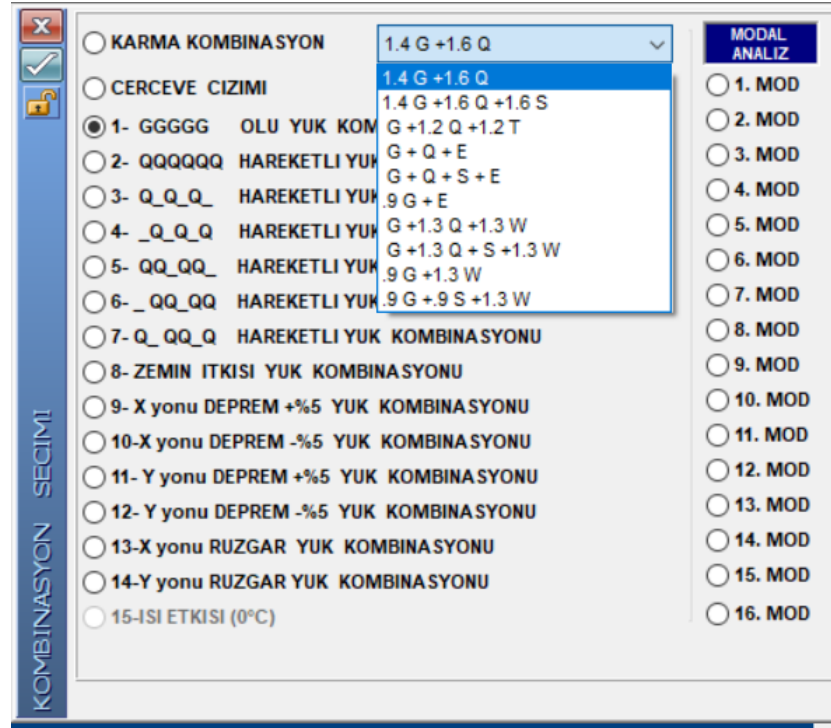
(b)



(c)

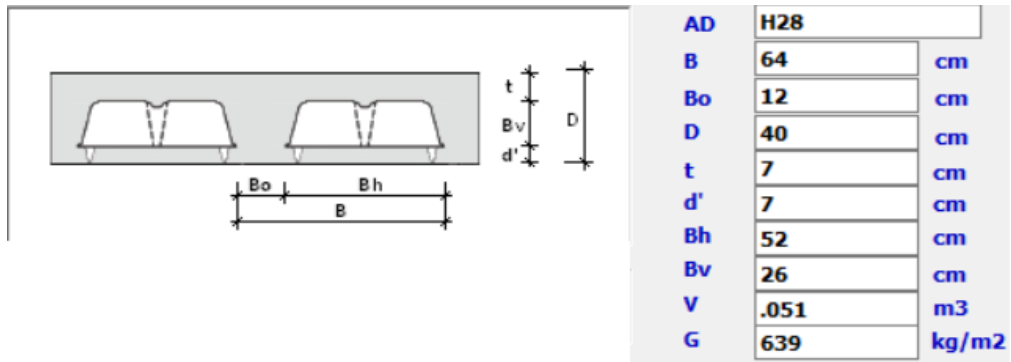
Şekil 6.12. Analiz yapılan binadaki kirişli döşeme kalıp planı(a), analiz yapılan binadaki kaset döşeme kalıp planı(b), analiz yapılan binadaki boşluklu döşeme kalıp planı(c).

Sta4-cad programında zati ve hareketli yüklerin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine tamamen uyumlu şekilde farklı katsayılarla oluşan yük kombinasyonları kullanılmış (Şekil 6.13), doğrusal ve doğrusal olmayan analizler yapılmıştır.



Şekil 6.13. Sta4-cad programında analizi yapılmış yük kombinasyonları.

Döşeme yüksekliği 40 cm dir. Kolon zımbalama çevresinde ve kenar bölgelerde kalan döşemeler boşluksuz diğer döşemeler boşluklu olarak tasarlanmıştır. Boşluklu döşemede üstten ve alttan 7 cm plak arasında 26 cm boşluk elemanı seçilmiştir. Boşluk elemanı olarak genişliği 52 cm olan kare kör kalıp kullanılmıştır (Şekil 6.14).



Şekil 6.14. Seçilen boşluklu döşeme geometrisi.

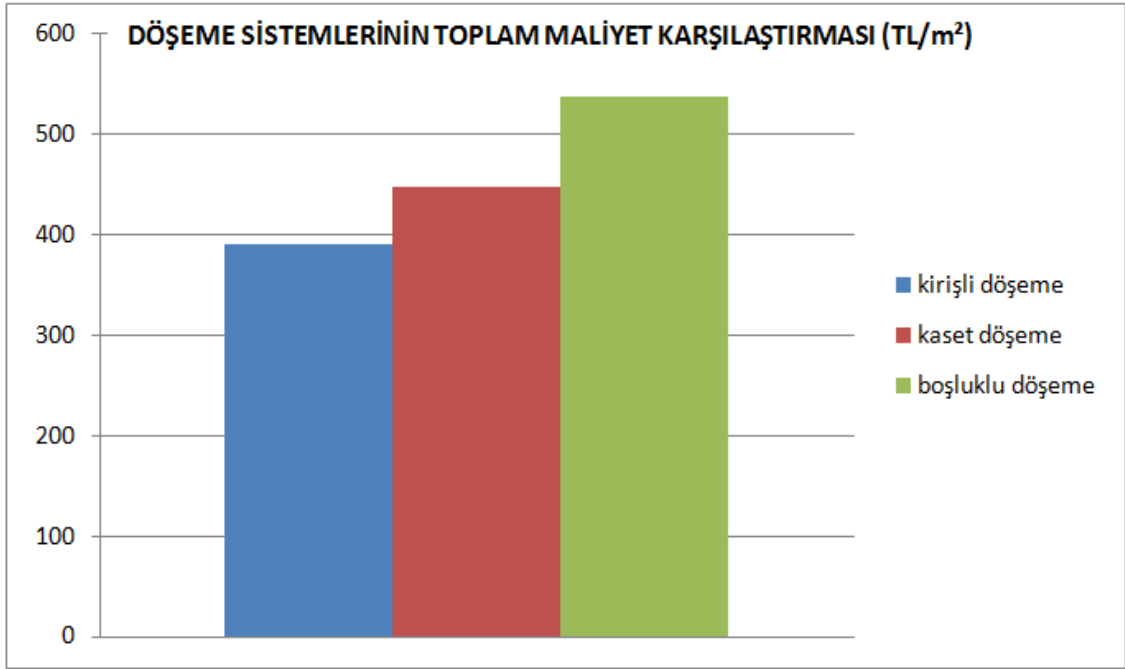
6.1. Analiz Sonuçları

Analizde kullanılan yapının 2018 yılı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği tamamen uyumlu bir şekilde yapıların kirişli, kaset ve boşluklu döşeme sistemlerinin dönüştürülmesiyle oluşan minimum maliyet farklarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Dönüşümlerde kat yükseklikleri, malzeme özellikleri, plandaki boyutlar gibi diğer tüm değişkenler sabit tutulmuştur. Sadece döşeme tiplerinin dönüştürülmesi nedeniyle ortaya çıkan, standarda/yönetmeliğe göre taşıyıcı eleman kesit boyutlarındaki artırılması/azaltılması gereken değişimlerin optimum ölçüde tutulmasına özen gösterilmiştir. Maliyet mukayesesinde dikkate alınan malzemelere ait birim fiyatlar Çevre Şehircilik pozlarından alınmış olup Çizelge 6.1’de sunulmuştur.

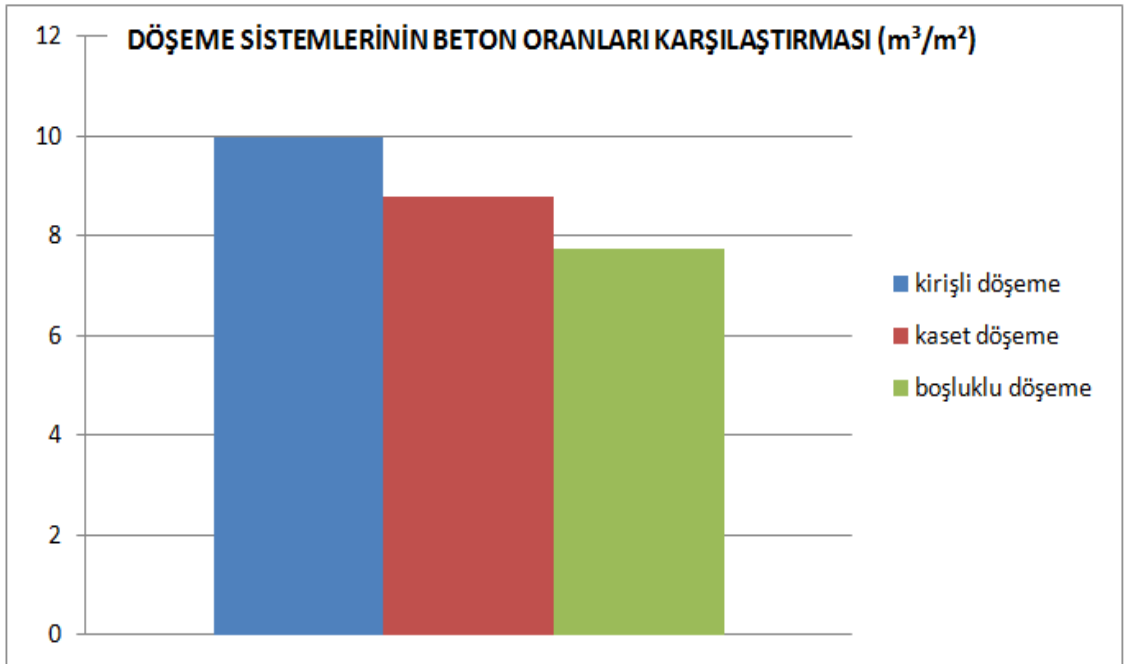
Çizelge 6.1. Yapı malzemelerinin hesaplarda kabul edilen fiyatları.

Y.23.014 Ø8-Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	4.029,78 TL
Y.23.015 Ø14-Ø28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	3.965,28 TL
21.011/İB-1 kaset döşeme kalıbı yapılması.	97,24 TL
Y.21.001/03 plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıp yapılması.	57,48 TL
Y.16.050/20 beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C50/60 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil).	266,36 TL

Yapının modellenmesi ve analizlerinin yapılmasında piyasada yaygın olarak kullanılan Sta4-cad yapı analizi programı kullanılmıştır. Farklı döşeme sistemleri ile modellenen yapılar için analizler tekrarlanmış ve analiz sonucunda program tarafından hesaplanan metraj bilgileri, Çizelge 6.1’de verilen güncel birim fiyatlarla çarpılarak yapı maliyetleri elde edilmiştir. Doğrusal analizler sonucunda döşemelerde oluşan metraj bilgileri ve yapı maliyetleri elde edilmiştir. Döşeme tiplerinin kalıp(m²), donatı(ton), beton(m³) ve maliyet(tl) karşılaştırılması yapılmış ve değerler aşağıdaki grafiklerle gösterilmiştir.



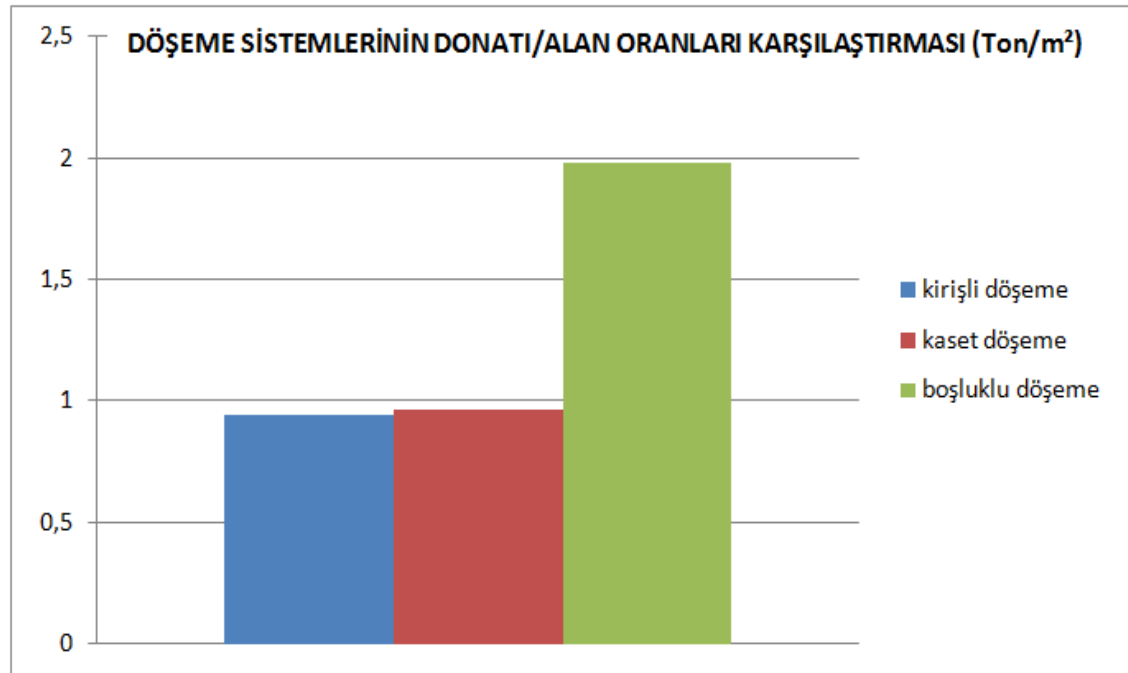
(a)



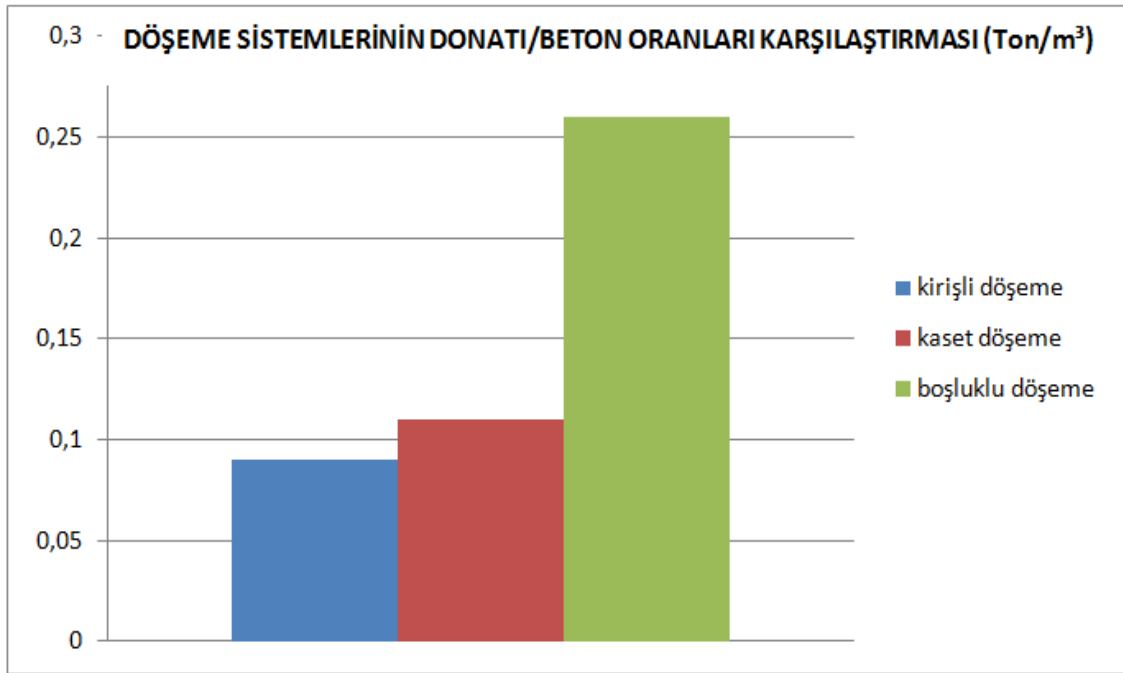
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 6.15. Analizi yapılan yapının, toplam maliyet karşılaştırması (a), d beton oranları karşılaştırması (b), kalıp oranları karşılaştırması (c), donatı oranları karşılaştırması (d), donatı/beton oranları karşılaştırması (e).

Dinamik analiz bilgileri

Eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanan binaların tümünde yer alan ve gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu (T_p) denklem 6.1 ile hesaplanır.

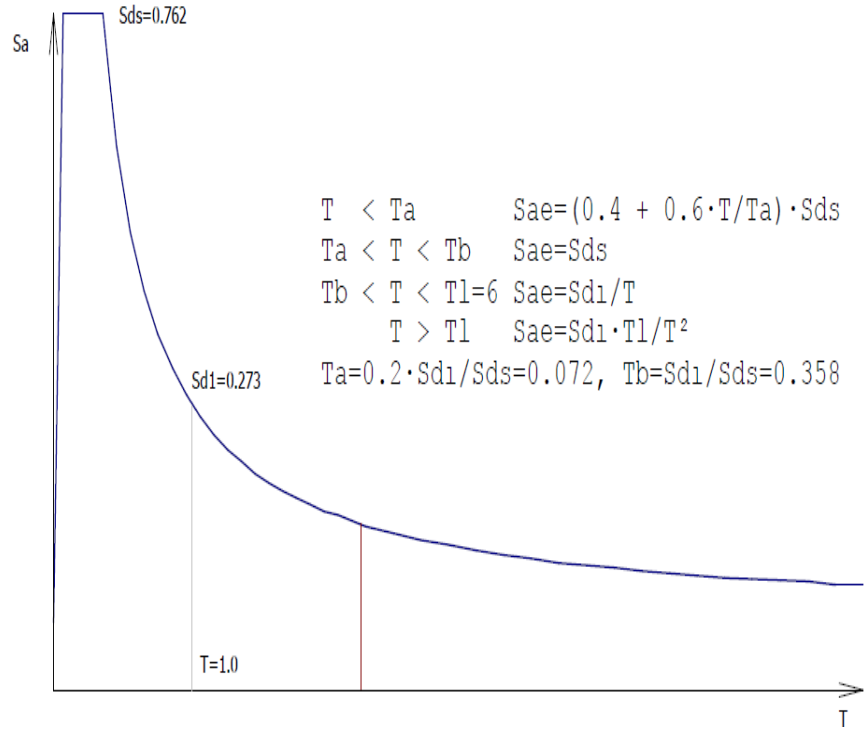
$$T_p = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (6.1)$$

Binanın denklem 6.1 ile hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu T_p 'in deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değeri T_{pA} periyodunun 1.4 katından fazla olmayacaktır.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad \text{Ampirik hakim doğal titreşim periyodu} \quad (6.2)$$

Taşıyıcı sistemleri sadece betonarme çerçevelerden oluşan binalarda $C_t = 0.1$, çaprazlı çelik çerçevelerden veya çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t = 0.08$, diğer tüm binalarda $C_t = 0.07$ alınacaktır (TBDY, 2018).

T(s)	S _a
0.00	0.305
0.07	0.762
0.36	0.762
0.41	0.669
0.46	0.596
0.56	0.489
0.66	0.415
0.76	0.360
0.86	0.318
0.96	0.285
1.06	0.258
1.16	0.236
1.26	0.217
1.36	0.201
1.46	0.187
1.56	0.175
1.66	0.165
1.76	0.155
1.86	0.147
1.96	0.139
2.06	0.133
2.26	0.121
2.46	0.111
2.66	0.103
2.86	0.096
3.06	0.089
3.26	0.084
3.46	0.079
3.66	0.075
3.86	0.071
4.06	0.067



Şekil 6.16. Analizi yapılan yapıların yatay elastik spektrumları (Boşluklu döşeme $T=2.22$ sn, Kaset döşeme $T=2.12$ sn, Kirişli döşeme $T=2.03$ sn).

Kat ötelemelerin hesaplanması

Deprem doğrultusunda herhangi bir perde veya kolon için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görel kat ötelemesi (Δ_i) denklem 6.3 ile elde edilir.

$$\Delta_i = u_i - u_{i-1} \quad (6.3)$$

Deprem doğrultusu için, binanın i 'inci katındaki perdeler veya kolonlar için etkin görel kat ötelemeleri (δ_i) denklem 6.4 ile elde edilir.

$$\delta_i = \frac{R}{I} \Delta_i \quad (6.4)$$

Boşluklu döşeme ile modellenen yapımızın yapılan analizler sonucunda +X, -X, +Y ve -Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Boşluklu döşeme ile modellenen yapımızın yapılan analizler sonucunda +X, -X, +Y ve -Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri.

	‘+X’ Yönü	‘-X’ Yönü	‘+Y’ Yönü	‘-Y’ Yönü
Kat	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_x$	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_x$	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_y$	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_y$
23	0,037128	0,036792	0,036414	0,035868
22	0,032930	0,032560	0,032116	0,031783
21	0,032856	0,032486	0,032005	0,031709
20	0,032597	0,032190	0,031672	0,031376
19	0,032116	0,031746	0,031154	0,030895
18	0,031524	0,031154	0,030488	0,030229
17	0,030784	0,030451	0,029674	0,029415
16	0,029933	0,029563	0,028712	0,028490
15	0,028934	0,028564	0,027639	0,027454
14	0,027713	0,027343	0,026418	0,026307
13	0,026270	0,025900	0,025049	0,024975
12	0,024605	0,024235	0,023495	0,023495
11	0,022681	0,022348	0,021719	0,021830
10	0,020461	0,020128	0,019758	0,019906
9	0,018056	0,017723	0,017279	0,017871
8	0,015438	0,017624	0,017856	0,018972
7	0,007920	0,007840	0,009080	0,009000
6	0,006747	0,006708	0,007878	0,007878
5	0,004710	0,004680	0,005460	0,005520
4	0,004350	0,004320	0,004980	0,005040
3	0,003810	0,003780	0,004350	0,004410
2	0,003090	0,003060	0,003480	0,003510
1	0,001920	0,001890	0,002130	0,002160

Kaset döşeme ile modellenen yapımızın yapılan analizler sonucunda +X, -X, +Y ve -Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Kaset döşeme ile modellenen yapımızın yapılan analizler sonucunda +X, -X, +Y ve -Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri.

	‘+X’ Yönü	‘-X’ Yönü	‘+Y’ Yönü	‘-Y’ Yönü
Kat	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_x$	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_x$	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_y$	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_y$
23	0,030156	0,030156	0,035574	0,035448
22	0,026936	0,026899	0,031524	0,031524
21	0,027010	0,027010	0,031413	0,031487
20	0,026936	0,026899	0,031154	0,031228
19	0,026714	0,026677	0,030710	0,030784
18	0,026344	0,026344	0,030118	0,030155
17	0,025900	0,025863	0,029341	0,029415
16	0,025345	0,025308	0,028490	0,028564
15	0,024679	0,024605	0,027491	0,027602
14	0,023791	0,023754	0,026344	0,026455
13	0,022718	0,022681	0,025049	0,025197
12	0,021423	0,021349	0,023532	0,023717
11	0,019869	0,019832	0,021830	0,022052
10	0,018056	0,017982	0,019906	0,020202
9	0,015947	0,015873	0,017723	0,018130
8	0,016182	0,016089	0,018647	0,019158
7	0,006760	0,006640	0,009480	0,009160
6	0,005850	0,005772	0,008151	0,007917
5	0,004260	0,004200	0,005670	0,005580
4	0,004110	0,004050	0,005160	0,005130
3	0,003810	0,003750	0,004470	0,004500
2	0,003210	0,003150	0,003570	0,003630
1	0,002100	0,002070	0,002190	0,002280

Kirişli döşeme ile modellenen yapıımızın yapılan analizler sonucunda +X, -X, +Y ve -Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri Çizelge 6.4’de verilmiştir.

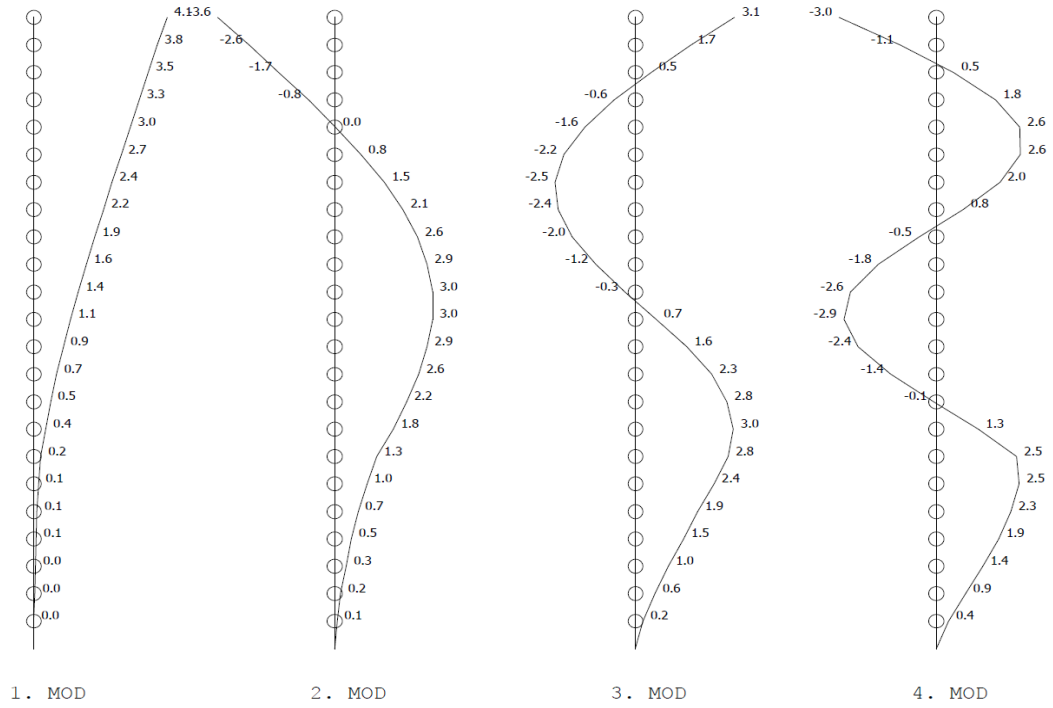
Çizelge 6.4. Kirişli döşeme ile modellenen yapıımızın yapılan analizler sonucunda +X, -X, +Y ve -Y yönündeki etkin görelî kat ötelemeleri.

	‘+X’ Yönü	‘-X’ Yönü	‘+Y’ Yönü	‘-Y’ Yönü
Kat	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_x$	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_x$	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_y$	$\delta = \frac{R}{I} \Delta_y$
23	0,026418	0,026376	0,030870	0,030660
22	0,023717	0,023680	0,027417	0,027380
21	0,023865	0,023828	0,027417	0,027417
20	0,023902	0,023828	0,027269	0,027306
19	0,023791	0,023717	0,026936	0,026973
18	0,023569	0,023495	0,026492	0,026529
17	0,023273	0,023236	0,025937	0,025974
16	0,022903	0,022829	0,025271	0,025345
15	0,022385	0,022348	0,024531	0,024605
14	0,021719	0,021645	0,023606	0,023717
13	0,020868	0,020794	0,022570	0,022681
12	0,019795	0,019721	0,021312	0,021497
11	0,018500	0,018426	0,019906	0,020128
10	0,016946	0,016872	0,018278	0,018574
9	0,015096	0,015022	0,016428	0,016835
8	0,015485	0,015392	0,017484	0,017996
7	0,006640	0,006520	0,009000	0,008680
6	0,005850	0,005733	0,007839	0,007644
5	0,004290	0,004230	0,005550	0,005460
4	0,004200	0,004110	0,005100	0,005100
3	0,003900	0,003840	0,004500	0,004560
2	0,003330	0,003270	0,003630	0,003720
1	0,002220	0,002190	0,002280	0,002370

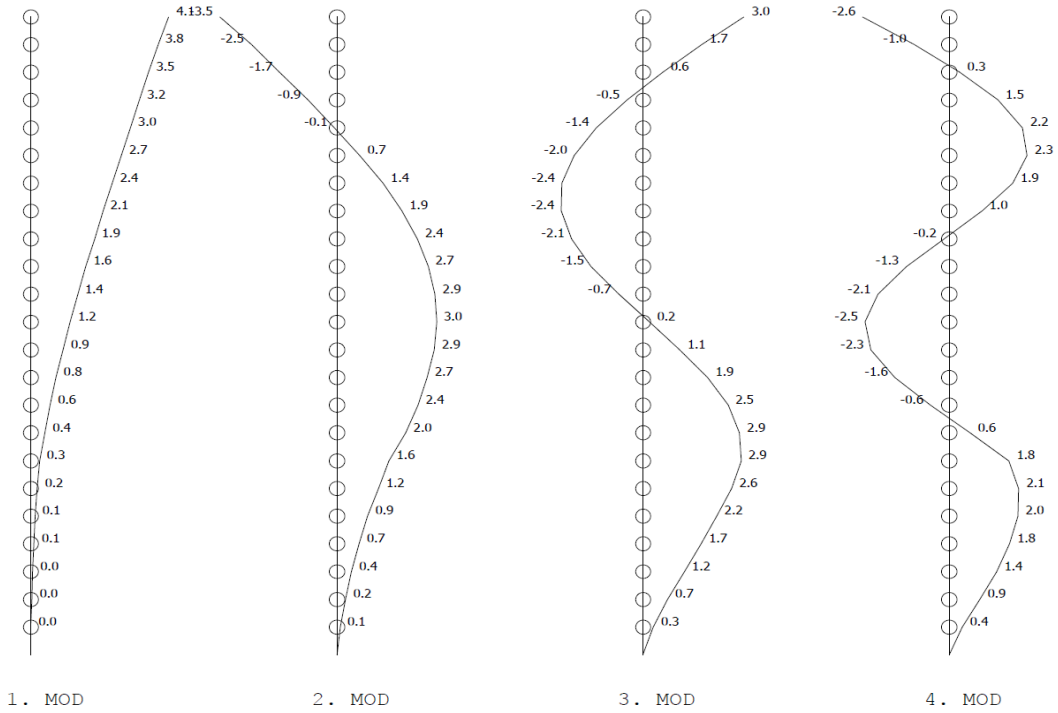
Boşluklu döşeme olarak modellenen yapımızın analizleri sonucu X ve Y yönündeki farklı 4 adet moda göre kat deplasman tablosu Çizelge 6.5'te, katlara göre kat deplasman grafikleri Şekil 6.17' da gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Boşluklu döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu X ve Y yönündeki farklı modlara göre kat deplasmanları.

Mod	1.mod	4.mod	7.mod	10.mod	Mod	2.mod	5.mod	8.mod	11.mod
ω	2,83	13,40	29,79	49,44	ω	3	15,43	34,62	57,33
T	2,2181	0,4689	0,2366	0,1271	T	2,0971	0,4073	0,1815	0,1096
yön	x	x	x	x	yön	y	y	y	y
1/1x	0,007	0,069	0,236	0,381	1/1y	0,008	0,095	0,302	0,399
2/2x	0,020	0,187	0,595	0,897	2/2y	0,024	0,249	0,738	0,909
3/3x	0,040	0,340	1,021	1,439	3/3y	0,049	0,444	1,231	1,407
4/4x	0,065	0,521	1,474	1,929	4/4y	0,080	0,667	1,726	1,807
5/5x	0,097	0,720	1,919	2,301	5/5y	0,119	0,907	2,178	2,045
6/6x	0,147	0,998	2,435	2,543	6/6y	0,180	1,229	2,641	2,069
7/7x	0,210	1,295	2,845	2,473	7/7y	0,256	1,551	2,928	1,779
8/8x	0,363	1,813	3,020	1,294	8/8y	0,414	2,043	2,883	0,614
9/9x	0,522	2,235	2,833	-0,070	9/9y	0,572	2,408	2,527	-0,558
10/10x	0,705	2,596	2,337	-1,412	10/10y	0,751	2,700	1,907	-1,617
11/11x	0,910	2,863	1,583	-2,422	11/11y	0,949	2,894	1,092	-2,319
12/12x	1,134	3,008	0,658	-2,863	12/12y	1,164	2,970	0,175	-2,505
13/13x	1,373	3,011	-0,322	-2,634	13/13y	1,394	2,915	-0,739	-2,132
14/14x	1,624	2,862	-1,233	-1,791	14/14y	1,636	2,723	-1,539	-1,284
15/15x	1,884	2,559	-1,955	-0,537	15/15y	1,889	2,395	-2,129	-0,157
16/16x	2,152	2,108	-2,391	0,827	16/16y	2,149	1,937	-2,433	0,989
17/17x	2,424	1,522	-2,478	1,969	17/17y	2,416	1,363	-2,409	1,887
18/18x	2,699	0,822	-2,194	2,606	18/18y	2,687	0,690	-2,050	2,321
19/19x	2,975	0,032	-1,561	2,569	19/19y	2,961	-0,061	-1,384	2,179
20/20x	3,251	-0,822	-0,640	1,834	20/20y	3,237	-0,866	-0,472	1,470
21/21x	3,525	-1,712	0,480	0,531	21/21y	3,513	-1,702	0,602	0,323
22/22x	3,798	-2,615	1,696	-1,101	22/22y	3,789	-2,548	1,746	-1,049
23/23x	4,106	-3,628	3,068	-2,994	23/23y	4,101	-3,498	3,019	-2,573



(a)



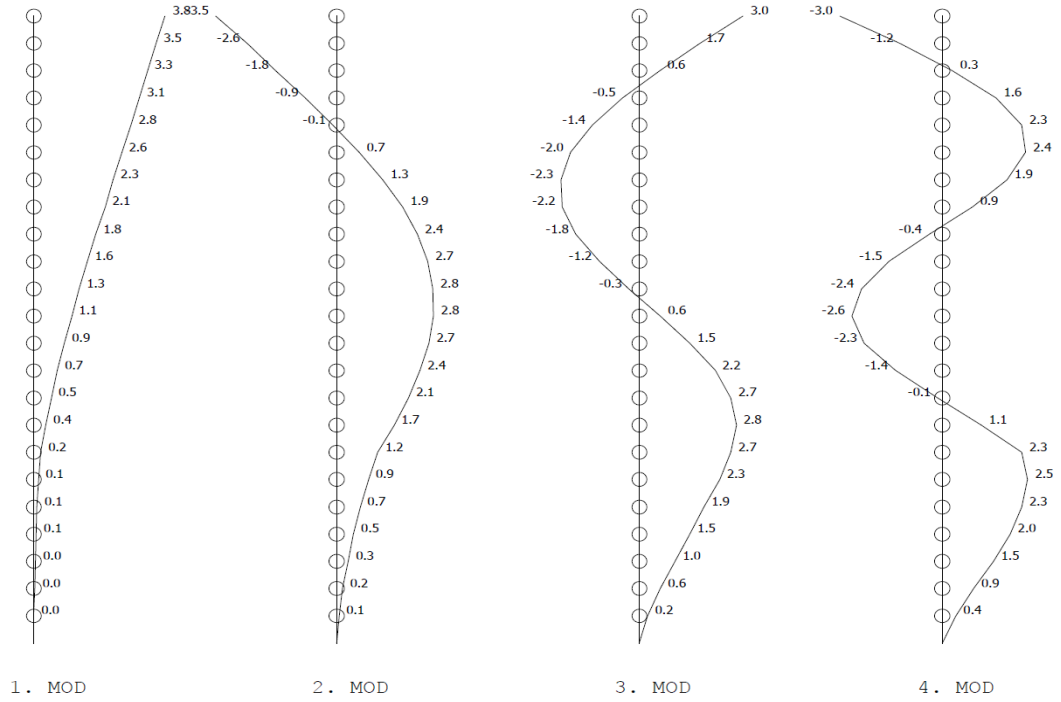
(b)

Şekil 6.17. Boşluklu döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu X yönündeki farklı 4 adet moda göre kat deplasman grafikleri (a), Boşluklu döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu Y yönündeki farklı 4 adet moda göre kat deplasman grafikleri (b).

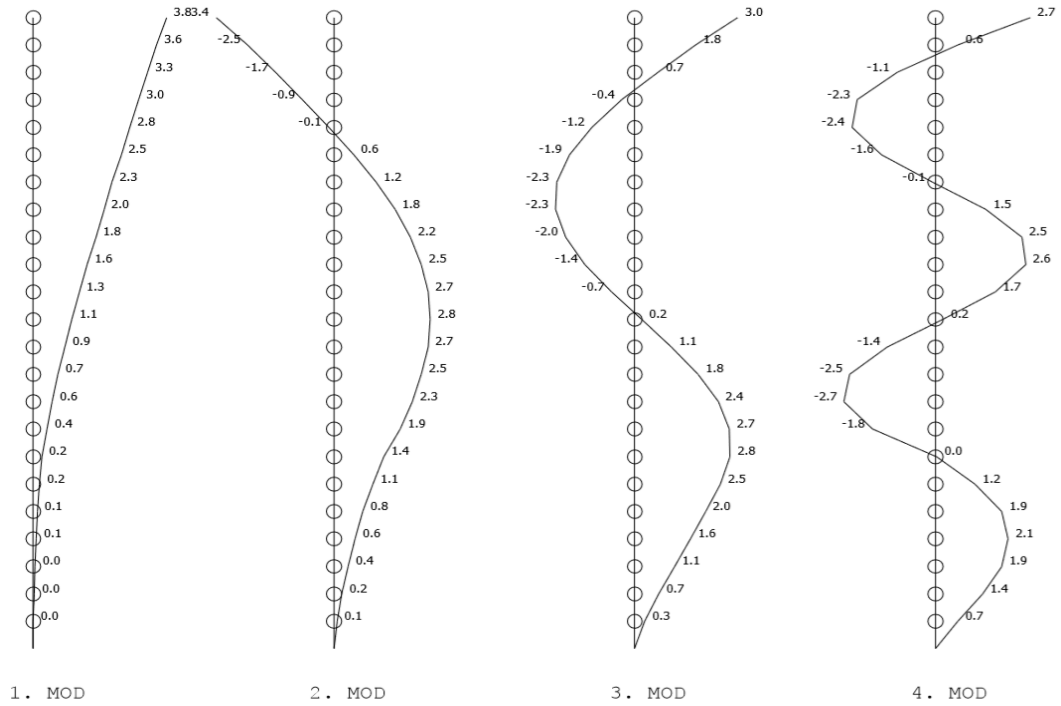
Kaset döşeme olarak modellenen yapımızın analizleri sonucu X ve Y yönündeki farklı 4 adet moda göre kat deplasman tablosu Çizelge 6.6’te, katlara göre kat deplasman grafikleri Şekil 6.18’ da gösterilmiştir.

Çizelge 6.6. Kaset döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu X ve Y yönündeki farklı modlara göre kat deplasmanları.

Mod	2.mod	4.mod	7.mod	10.mod	Mod	1.mod	5.mod	8.mod	15.mod
ω	3,09	13,58	29,40	47,78	ω	2,96	14,83	33,54	84,47
T	2,0351	0,4628	0,2137	0,1315	T	2,1216	0,4236	0,1874	0,0744
yön	x	x	x	x	yön	y	y	y	y
1/1x	0,007	0,070	0,244	0,397	1/1y	0,008	0,086	0,282	0,658
2/2x	0,021	0,185	0,608	0,934	2/2y	0,024	0,227	0,686	1,373
3/3x	0,040	0,330	1,030	1,489	3/3y	0,047	0,407	1,147	1,909
4/4x	0,064	0,496	1,466	1,972	4/4y	0,077	0,613	1,612	2,114
5/5x	0,094	0,676	1,878	2,314	5/5y	0,115	0,837	2,039	1,921
6/6x	0,141	0,924	2,332	2,484	6/6y	0,174	1,139	2,480	1,159
7/7x	0,200	1,183	2,662	2,321	7/7y	0,247	1,444	2,758	0,040
8/8x	0,353	1,685	2,830	1,141	8/8y	0,401	1,915	2,736	-1,832
9/9x	0,509	2,086	2,658	-0,131	9/9y	0,551	2,258	2,414	-2,654
10/10x	0,689	2,430	2,194	-1,362	10/10y	0,721	2,531	1,836	-2,481
11/11x	0,888	2,682	1,484	-2,265	11/11y	0,910	2,711	1,067	-1,382
12/12x	1,104	2,814	0,611	-2,628	12/12y	1,113	2,777	0,195	0,228
13/13x	1,332	2,809	-0,314	-2,367	13/13y	1,330	2,718	-0,676	1,745
14/14x	1,570	2,654	-1,170	-1,548	14/14y	1,558	2,528	-1,439	2,605
15/15x	1,814	2,351	-1,842	-0,371	15/15y	1,795	2,208	-2,000	2,494
16/16x	2,063	1,906	-2,236	0,879	16/16y	2,038	1,766	-2,285	1,463
17/17x	2,313	1,334	-2,294	1,895	17/17y	2,287	1,213	-2,252	-0,091
18/18x	2,563	0,656	-1,998	2,422	18/18y	2,539	0,569	-1,896	-1,573
19/19x	2,812	-0,102	-1,374	2,314	19/19y	2,793	-0,148	-1,246	-2,408
20/20x	3,058	-0,913	-0,482	1,568	20/20y	3,048	-0,914	-0,364	-2,253
21/21x	3,301	-1,752	0,586	0,314	21/21y	3,303	-1,707	0,671	-1,118
22/22x	3,540	-2,595	1,734	-1,219	22/22y	3,557	-2,508	1,768	0,649
23/23x	3,809	-3,534	3,016	-2,972	23/23y	3,845	-3,405	2,982	2,748



(a)



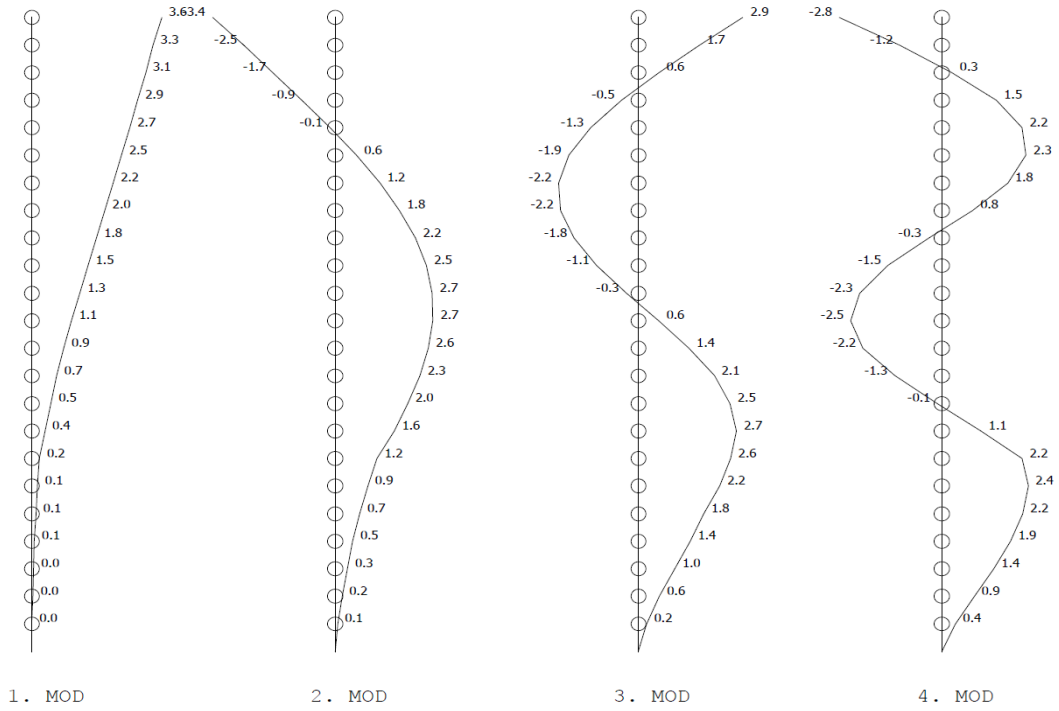
(b)

Şekil 6.18. Kaset döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu X yönündeki farklı 4 adet moda göre kat deplasman grafikleri (a), Kaset döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu Y yönündeki farklı 4 adet moda göre kat deplasman grafikleri (b).

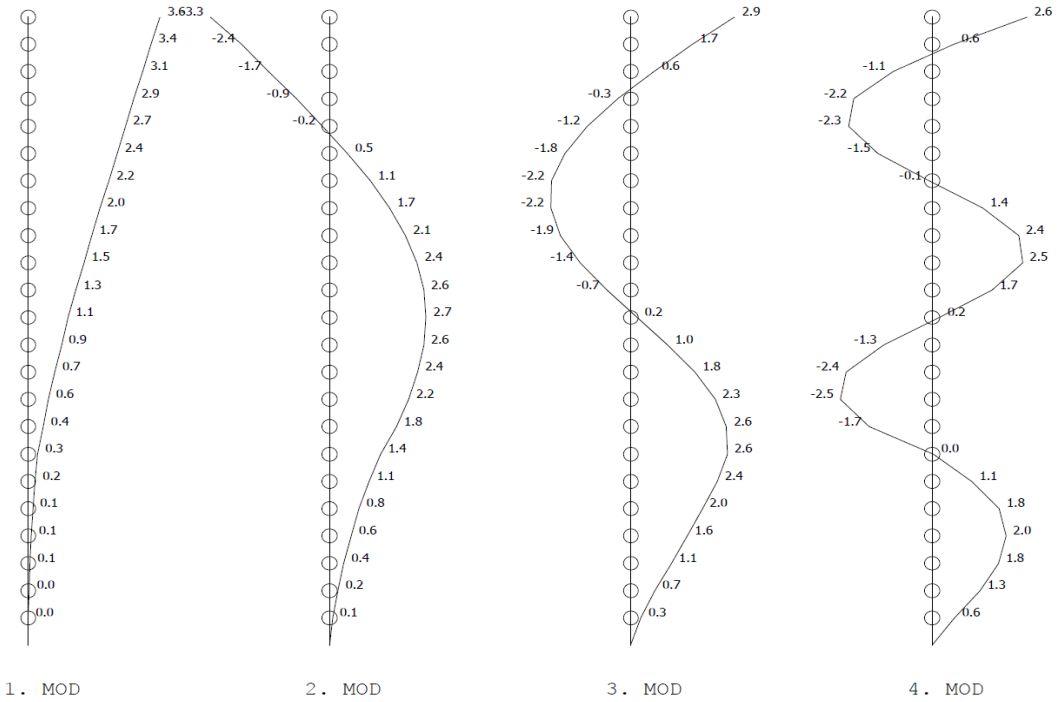
Kirişli döşeme olarak modellenen yapımızın analizleri sonucu X ve Y yönündeki farklı 4 adet moda göre kat deplasman tablosu Çizelge 6.7’te, katlara göre kat deplasman grafikleri Şekil 6.19’ da gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. Kirişli döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu X ve Y yönündeki farklı modlara göre kat deplasmanları.

Mod	2.mod	4.mod	7.mod	10.mod	Mod	1.mod	5.mod	8.mod	15.mod
ω	3,21	13,43	28,57	46,21	ω	3,10	14,56	32,41	84,47
T	1,9575	0,4679	0,2200	0,1360	T	2,0260	0,4315	0,1939	0,0744
yön	x	x	x	x	yön	y	y	y	y
1/1x	0,008	0,070	0,237	0,386	1/1y	0,008	0,085	0,273	0,630
2/2x	0,023	0,183	0,589	0,906	2/2y	0,025	0,223	0,664	1,314
3/3x	0,043	0,325	0,996	1,441	3/3y	0,050	0,398	1,107	1,826
4/4x	0,069	0,486	1,415	1,906	4/4y	0,082	0,598	1,554	2,020
5/5x	0,100	0,662	1,810	2,232	5/5y	0,120	0,814	1,962	1,833
6/6x	0,149	0,901	2,243	2,390	6/6y	0,181	1,105	2,381	1,103
7/7x	0,210	1,151	2,554	2,226	7/7y	0,255	1,397	2,645	0,037
8/8x	0,363	1,632	2,708	1,093	8/8y	0,408	1,847	2,620	-1,746
9/9x	0,518	2,014	2,537	-0,126	9/9y	0,556	2,173	2,307	-2,530
10/10x	0,693	2,338	2,087	-1,305	10/10y	0,722	2,430	1,751	-2,365
11/11x	0,887	2,572	1,401	-2,168	11/11y	0,904	2,596	1,011	-1,318
12/12x	1,095	2,690	0,561	-2,513	12/12y	1,100	2,653	0,173	0,215
13/13x	1,313	2,675	-0,326	-2,261	13/13y	1,307	2,589	-0,663	1,661
14/14x	1,539	2,517	-1,145	-1,476	14/14y	1,523	2,399	-1,394	2,481
15/15x	1,769	2,216	-1,785	-0,348	15/15y	1,746	2,085	-1,929	2,377
16/16x	2,002	1,782	-2,157	0,849	16/16y	1,974	1,655	-2,199	1,395
17/17x	2,234	1,228	-2,206	1,820	17/17y	2,206	1,122	-2,163	-0,085
18/18x	2,464	0,577	-1,916	2,322	18/18y	2,439	0,502	-1,818	-1,497
19/19x	2,691	-0,148	-1,312	2,218	19/19y	2,673	-0,183	-1,192	-2,296
20/20x	2,915	-0,920	-0,455	1,502	20/20y	2,906	-0,913	-0,344	-2,153
21/21x	3,133	-1,714	0,569	0,303	21/21y	3,138	-1,666	0,647	-1,076
22/22x	3,348	-2,507	1,665	-1,161	22/22y	3,369	-2,423	1,695	0,604
23/23x	3,587	-3,387	2,885	-2,830	23/23y	3,629	-3,267	2,850	2,597



(a)



(b)

Şekil 6.19. Kirişli döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu X yönündeki farklı 4 adet moda göre kat deplasman grafikleri (a), Kirişli döşeme olarak modellenen yapımızın analizler sonucu Y yönündeki farklı 4 adet moda göre kat deplasman grafikleri (b).

Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi

Analizi yapılan binanın tamamına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), V_{IE} , denklem 6.5 ile belirlenir.

$$V_{IE} = m_t S_{aR}(T_p) \geq 0,04 m_t I S_{DS} g \quad (6.5)$$

Burada

T_p : Hesaplanan binanın hakim doğal titreşim periyodu

S_{DS} : Azaltılmış tasarım spektral ivmesi

Boşluklu döşeme ile modellenen yapımızın analizler sonucunda X ve Y yönündeki katlara göre taban kesme kuvvetleri Şekil 6.20'de verilmiştir.

Kat no	X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi
23	162.817	144.016	162.817	UST KAT	166.217	144.016	166.217	UST KAT
22	73.916	53.160	73.916	NORMAL	85.884	53.160	85.884	NORMAL
21	26.479	49.695	26.479	NORMAL	38.183	49.695	38.183	NORMAL
20	3.255	46.581	3.255	NORMAL	9.298	46.581	9.298	NORMAL
19	-5.858	43.468	-5.858	NORMAL	-4.916	43.468	-4.916	NORMAL
18	-4.729	40.354	-4.729	NORMAL	-9.336	40.354	-9.336	NORMAL
17	5.151	37.240	5.151	NORMAL	-5.272	37.240	-5.272	NORMAL
16	13.924	34.126	13.924	NORMAL	4.551	34.126	4.551	NORMAL
15	16.505	31.012	16.505	NORMAL	14.102	31.012	14.102	NORMAL
14	15.978	27.898	15.978	NORMAL	20.231	27.898	20.231	NORMAL
13	15.686	24.785	15.686	NORMAL	23.417	24.785	23.417	NORMAL
12	16.757	21.671	16.757	NORMAL	25.439	21.671	25.439	NORMAL
11	19.975	18.557	19.975	NORMAL	27.840	18.557	27.840	NORMAL
10	25.294	15.443	25.294	NORMAL	31.743	15.443	31.743	NORMAL
9	31.381	12.329	31.381	NORMAL	36.735	12.329	36.735	NORMAL
8	41.370	10.108	41.370	NORMAL	46.264	10.108	46.264	NORMAL
7	67.516	7.986	67.516	NORMAL	70.522	7.986	70.522	NORMAL
6	71.971	2.610	71.971	NORMAL	73.084	2.610	73.084	NORMAL
5	266.711	58.757	266.711	BODRUM	277.159	63.338	277.159	BODRUM
4	252.512	58.520	252.512	BODRUM	262.788	63.083	262.788	BODRUM
3	224.913	58.520	224.913	BODRUM	231.491	63.083	231.491	BODRUM
2	182.422	59.767	182.422	BODRUM	183.944	64.427	183.944	BODRUM
1	105.282	58.520	105.282	BODRUM	103.062	63.083	103.062	BODRUM
Σ	1629.230	915.123	1629.230	GENEL	1712.428	938.053	1712.428	GENEL
	1031.840	294.084	1031.840	BODRUM	1058.444	317.014	1058.444	BODRUM
	597.389	621.039	597.389	NORMAL	653.984	621.039	653.984	NORMAL

Şekil 6.20. Boşluklu döşeme ile modellenen yapımızın analizler sonucunda X ve Y yönündeki katlara göre taban kesme kuvvetleri.

Kaset döşeme ile modellenen yapımızın analizler sonucunda X ve Y yönündeki katlara göre taban kesme kuvvetleri Şekil 6.21’de verilmiştir.

Kat no	X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi
23	167.191	152.996	167.191	UST KAT	166.300	152.996	166.300	UST KAT
22	97.430	62.630	97.430	NORMAL	105.173	62.630	105.173	NORMAL
21	37.893	57.286	37.893	NORMAL	46.158	57.286	46.158	NORMAL
20	7.644	53.697	7.644	NORMAL	12.478	53.697	12.478	NORMAL
19	-4.372	50.107	-4.372	NORMAL	-3.578	50.107	-3.578	NORMAL
18	-3.000	46.518	-3.000	NORMAL	-8.039	46.518	-8.039	NORMAL
17	7.899	42.928	7.899	NORMAL	-3.145	42.928	-3.145	NORMAL
16	16.857	39.339	16.857	NORMAL	6.825	39.339	6.825	NORMAL
15	18.839	35.754	18.839	NORMAL	15.740	35.754	15.740	NORMAL
14	17.202	32.168	17.202	NORMAL	21.062	32.168	21.062	NORMAL
13	15.990	28.570	15.990	NORMAL	23.627	28.570	23.627	NORMAL
12	17.115	24.981	17.115	NORMAL	25.279	24.981	25.279	NORMAL
11	21.281	21.394	21.281	NORMAL	27.811	21.394	27.811	NORMAL
10	27.858	17.806	27.858	NORMAL	32.766	17.806	32.766	NORMAL
9	35.384	14.210	35.384	NORMAL	39.468	14.210	39.468	NORMAL
8	46.585	11.425	46.585	NORMAL	50.141	11.425	50.141	NORMAL
7	66.423	8.243	66.423	NORMAL	68.010	8.243	68.010	NORMAL
6	77.687	2.821	77.687	NORMAL	75.050	2.821	75.050	NORMAL
5	329.174	77.889	329.174	BODRUM	317.817	73.679	317.817	BODRUM
4	303.908	74.913	303.908	BODRUM	297.058	70.864	297.058	BODRUM
3	266.854	74.913	266.854	BODRUM	263.972	70.864	263.972	BODRUM
2	206.693	74.926	206.693	BODRUM	206.407	70.876	206.407	BODRUM
1	118.220	74.271	118.220	BODRUM	118.721	70.257	118.721	BODRUM
Σ	1896.756	1079.785	1896.756	GENEL	1905.101	1059.413	1905.101	GENEL
	1224.850	376.911	1224.850	BODRUM	1203.975	356.540	1203.975	BODRUM
	671.906	702.873	671.906	NORMAL	701.125	702.873	701.125	NORMAL

Şekil 6.21. Kaset döşeme ile modellenen yapımızın analizler sonucunda X ve Y yönündeki katlara göre taban kesme kuvvetleri.

Kirişli döşeme ile modellenen yapımızın analizler sonucunda X ve Y yönündeki katlara göre taban kesme kuvvetleri Şekil 6.22’de verilmiştir.

Kat no	X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi
23	181.855	167.693	181.855	UST KAT	180.112	167.693	180.112	UST KAT
22	103.537	67.859	103.537	NORMAL	111.436	67.859	111.436	NORMAL
21	41.456	62.189	41.456	NORMAL	50.033	62.189	50.033	NORMAL
20	10.447	58.292	10.447	NORMAL	15.394	58.292	15.394	NORMAL
19	-1.967	54.396	-1.967	NORMAL	-1.102	54.396	-1.102	NORMAL
18	-0.897	50.499	-0.897	NORMAL	-5.824	50.499	-5.824	NORMAL
17	9.915	46.602	9.915	NORMAL	-1.013	46.602	-1.013	NORMAL
16	18.611	42.706	18.611	NORMAL	8.720	42.706	8.720	NORMAL
15	20.036	38.809	20.036	NORMAL	16.969	38.809	16.969	NORMAL
14	17.769	34.912	17.769	NORMAL	21.409	34.912	21.409	NORMAL
13	16.162	31.016	16.162	NORMAL	23.351	31.016	23.351	NORMAL
12	17.151	27.119	17.151	NORMAL	24.762	27.119	24.762	NORMAL
11	21.224	23.222	21.224	NORMAL	27.244	23.222	27.244	NORMAL
10	27.699	19.326	27.699	NORMAL	32.245	19.326	32.245	NORMAL
9	35.472	15.429	35.472	NORMAL	39.318	15.429	39.318	NORMAL
8	47.190	12.335	47.190	NORMAL	50.559	12.335	50.559	NORMAL
7	67.017	8.771	67.017	NORMAL	68.542	8.771	68.542	NORMAL
6	80.223	3.030	80.223	NORMAL	77.402	3.030	77.402	NORMAL
5	343.045	88.589	343.045	BODRUM	330.670	84.622	330.670	BODRUM
4	320.290	85.418	320.290	BODRUM	312.278	81.593	312.278	BODRUM
3	284.132	85.418	284.132	BODRUM	280.185	81.593	280.185	BODRUM
2	222.673	85.418	222.673	BODRUM	221.746	81.593	221.746	BODRUM
1	129.014	84.727	129.014	BODRUM	129.459	80.933	129.459	BODRUM
Σ	2012.053	1193.773	2012.053	GENEL	2013.895	1174.539	2013.895	GENEL
	1299.154	429.569	1299.154	BODRUM	1274.338	410.335	1274.338	BODRUM
	712.899	764.204	712.899	NORMAL	739.557	764.204	739.557	NORMAL

Şekil 6.22. Kirişli döşeme ile modellenen yapımızın analizler sonucunda X ve Y yönündeki katlara göre taban kesme kuvvetleri.

Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Deprem tasarım sınıfı 1, 1a, 2, 2a olan çelik çaprazlı ve betonarme perdeli çerçeveli binalarda, herhangi bir doğrultuda aşağıda tanımlanan iki koşuldan birinin sağlanamaması durumunda, o doğrultuda Dayanım Fazlalığı Katsayısı D’de herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R yerine $4/5.R$ göz önüne alınacaktır.

*Taşıyıcı sistemde çelik çaprazlı veya tek bir perdeli çerçevenin aldığı taban devrilme momenti M_{DEV} , o doğrultuda binanın tamamı için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momenti M_o ’ın $1/3$ ’ünden fazla olmayacaktır.

*Binanın her bir kenar aksında yer alan çelik çaprazlı veya perdelerin çerçevelerin aldığı taban devrilme momenti M_{DEV} ’lerin toplamı, o doğrultuda binanın tamamı için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momenti M_o ’ın $1/6$ ’sından az olmayacaktır.

Süneklik düzeyi boşluksuz/boşluklu, ön üretimli/yerinde dökme betonarme perdeler ile merkezi, dışmerkez veya burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçevelerin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çerçevelerle birlikte kullanıldığı binalarda, perdelerin veya çaprazlı çerçevelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momentlerinin toplamı, binanın tamamı için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momentinin %40’ından az, %75’inden fazla olmayacaktır (TBDY, 2018).

$$0,4 M_o < \sum M_{DEV} < 0,75 M_o \quad (6.6)$$

Bu bağıntıdaki üst sınır koşulunun sağlanamaması durumunda, deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi çaprazlı veya yüksek perdeli çerçevelerle karşılandığı durumlar için tanımlanan Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) ve Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) katsayıları ile izin verilen en üst Bina kullanım sınıfı (BKS) dikkate alınacaktır. Alt sınır koşulunun sağlanamaması durumunda ise verilen Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) ve Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayılarında (R) değişiklik yapılmayacak, ancak izin verilen en üst Bina kullanım sınıfının (BYS) bir fazlası dikkate alınacaktır.

Boşluklu döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda katlara göre kat deprem momentleri ve perde taban momentleri Şekil 6.23'de verilmiştir.

Kat	H (m)	F _x	F _x . H	H (m)	F _y	F _y . H	
23	66.95	162.82	10900.58	66.95	166.22	11128.23	
22	62.75	73.92	4638.23	62.75	85.88	5389.24	
21	59.05	26.48	1563.61	59.05	38.18	2254.70	
20	55.35	3.26	180.18	55.35	9.30	514.65	
19	51.65	-5.86	-302.58	51.65	-4.92	-253.90	
18	47.95	-4.73	-226.75	47.95	-9.34	-447.68	
17	44.25	5.15	227.95	44.25	-5.27	-233.31	
16	40.55	13.92	564.62	40.55	4.55	184.52	
15	36.85	16.50	608.20	36.85	14.10	519.68	
14	33.15	15.98	529.67	33.15	20.23	670.66	
13	29.45	15.69	461.96	29.45	23.42	689.62	
12	25.75	16.76	431.50	25.75	25.44	655.05	
11	22.05	19.98	440.46	22.05	27.84	613.88	
10	18.35	25.29	464.15	18.35	31.74	582.48	
9	14.65	31.38	459.73	14.65	36.73	538.16	
8	10.95	41.37	453.00	10.95	46.26	506.59	
7	6.30	67.52	425.35	6.30	70.52	444.29	
6	2.30	71.97	165.53	2.30	73.08	168.09	
5	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-	
4	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-	
3	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-	
2	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-	
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-	
		597.39	21985.39			653.98	23924.95

(a)

Perde	M _x	∑ M _{xk} =	∑ M _{xr}	M/M _o <1/3	M _y	∑ M _{yk} =	∑ M _{yr}	M/M _o <1/3
S609	2230.23	0.00	4230.23	0.101 ✓	5106.58	778.67	5885.25	0.246 ✓
S610	2783.24	2591.39	5374.63	0.244 ✓	4992.30	20.39	5012.69	0.210 ✓
TOPLAM			9604.86				10897.93	

(b)

Şekil 6.23. Boşluklu döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda katlara göre kat deprem momentleri (a), Boşluklu döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda perde taban momentleri (b).

Kaset döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda katlara göre kat deprem momentleri ve perde taban momentleri Şekil 6.24'de verilmiştir.

Kat	H (m)	F _x	F _x . H	H (m)	F _y	F _y . H
23	66.95	167.19	11193.46	66.95	166.30	11133.81
22	62.75	97.43	6113.72	62.75	105.17	6599.58
21	59.05	37.89	2237.58	59.05	46.16	2725.60
20	55.35	7.64	423.09	55.35	12.48	690.68
19	51.65	-4.37	-225.79	51.65	-3.58	-184.81
18	47.95	-3.00	-143.85	47.95	-8.04	-385.47
17	44.25	7.90	349.52	44.25	-3.15	-139.17
16	40.55	16.86	683.54	40.55	6.82	276.75
15	36.85	18.84	694.23	36.85	15.74	580.00
14	33.15	17.20	570.25	33.15	21.06	698.20
13	29.45	15.99	470.90	29.45	23.63	695.82
12	25.75	17.11	440.70	25.75	25.28	650.94
11	22.05	21.28	469.26	22.05	27.81	613.24
10	18.35	27.86	511.20	18.35	32.77	601.26
9	14.65	35.38	518.37	14.65	39.47	578.21
8	10.95	46.58	510.10	10.95	50.14	549.05
7	6.30	66.42	418.46	6.30	68.01	428.46
6	2.30	77.69	178.68	2.30	75.05	172.61
5	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
4	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
3	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
2	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
		671.91	25413.42		701.13	26284.75

(a)

Perde	M _x	∑ M _{xk} =	∑ M _{xr}	M/M ₀ <1/3	M _y	∑ M _{yk} =	∑ M _{yr}	M/M ₀ <1/3
S610	1632.35	4269.74	5902.09	0.232 ✓	5100.67	1434.66	6535.32	0.249 ✓
S611	2237.65	4067.97	6305.62	0.248 ✓	4932.61	550.06	5482.68	0.209 ✓
TOPLAM			12207.71				12018.00	

(b)

Şekil 6.24. Kaset döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda katlara göre kat deprem momentleri (a), Kaset döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda perde taban momentleri (b).

Kirişli döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda katlara göre kat deprem momentleri ve perde taban momentleri Şekil 6.25’de verilmiştir.

Kat	H (m)	F _x	F _x . H	H (m)	F _y	F _y . H
23	66.95	181.85	12175.19	66.95	180.11	12058.49
22	62.75	103.54	6496.94	62.75	111.44	6992.62
21	59.05	41.46	2447.98	59.05	50.03	2954.43
20	55.35	10.45	578.22	55.35	15.39	852.07
19	51.65	-1.97	-101.60	51.65	-1.10	-56.90
18	47.95	-0.90	-43.03	47.95	-5.82	-279.27
17	44.25	9.92	438.74	44.25	-1.01	-44.82
16	40.55	18.61	754.68	40.55	8.72	353.60
15	36.85	20.04	738.33	36.85	16.97	625.30
14	33.15	17.77	589.03	33.15	21.41	709.71
13	29.45	16.16	475.97	29.45	23.35	687.68
12	25.75	17.15	441.64	25.75	24.76	637.61
11	22.05	21.22	467.99	22.05	27.24	600.73
10	18.35	27.70	508.28	18.35	32.24	591.69
9	14.65	35.47	519.66	14.65	39.32	576.00
8	10.95	47.19	516.73	10.95	50.56	553.63
7	6.30	67.02	422.21	6.30	68.54	431.82
6	2.30	80.22	184.51	2.30	77.40	178.03
5	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
4	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
3	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
2	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
		712.90	27611.49		739.56	28422.41

(a)

Perde	M _x	∑ M _{xk} =	∑ M _{xr}	M/M ₀ <1/3	M _y	∑ M _{yk} =	∑ M _{yr}	M/M ₀ <1/3
S610	1497.15	4468.94	5966.09	0.216 ✓	4632.37	2245.93	6878.30	0.242 ✓
S611	2067.98	4217.75	6285.73	0.228 ✓	4460.44	1242.49	5702.93	0.201 ✓
TOPLAM			12251.82				12581.23	

(b)

Şekil 6.25. Kirişli döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda katlara göre kat deprem momentleri (a), Kirişli döşeme ile modellenmiş yapının analizler sonucunda perde taban momentleri (b).

7.SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde özellikle endüstri ve ticari yapılarda çok büyük açıklıkların geçilmesi gerekmektedir. Geleneksel betonarme sistemleri ile büyük açıklıkların kaset ve kirişli döşeme sistemleri ile geçilebilmekte, fakat bu sistemlerde açıklık arttıkça yapı ağırlaşmakta, net kullanım yüksekliği azalmakta ve kiriş derinliği artmaktadır. Derin kirişler yapıların mimarisini bozmakta ve kirişsiz döşemelerde ise zımbalama problemleri ortaya çıkmaktadır. Plastik boşluklu döşeme sistemlerinin geliştirilmesiyle bazı avantajlar elde edilebilmektedir.

Emniyet gerilmesi düşük olan bölgelerde daha fazla kullanım alanı elde edilebilecek yapılar yapılabilir ve zemin iyileştirilmesi maliyeti azalır. Kör kalıp sistemleri kullanılarak yapı ağırlığı azaltılır ve daha büyük açıklıklar geçilebilir. Kolon sayısı ve en kesitlerinde azalma sağlanarak mimari anlamda daha fazla kullanılabilir alan ortaya çıkar. Geniş açıklıklar geçerken kirişlerin ortadan kalkmasını sağlar ve bu sayede düz bir tavan oluşturur. Oluşturulan düz tavan sayesinde her türlü tesisatın döşenmesi kolaylaşır. Kattaki bölme duvarları, kaset ve kirişli döşemedeki gibi kiriş altına getirme zorunluluğu ortadan kalkar. Taşıyıcı yapı için yük taşımayan beton kütlesi ortadan kalkmış olur. Döşemenin zati ağırlığı sınırlanarak, temele gelen yük ve yapıdaki deformasyon azalır. Faydalı yük/Zati yük oranının artması ve bu sebeple daha verimli taşıyıcı sistem elde edilir. Daha az yapı malzemesi kullanılarak maliyetler azalır. Ayrıca aynı ağırlık karşılığında daha rijit plakalar oluşmakta ve daha az titreşim ve sehim problemleri oluşmaktadır. Düz bir döşeme kalıbı kurulup söküldüğü için inşaat süresi ciddi oranda azalır. Kaset ve dişli döşemelere göre demir işçiliğinin ciddi biçimde kolaylaşır ve süre tasarrufu edilir. Kaset ve kirişsiz plağa göre karşılaştığımızda açıklık ve yük arttıkça boşluklu döşemenin maliyet açısından daha avantajlı olduğunu söyleyebiliriz. Boşluklu döşeme kullanıldığında yapı ağırlığı kirişli döşemeye göre yaklaşık olarak %20 oranında azalmakta olup binaya gelebilecek olan deprem kuvvetini azaltır. Geri dönüşümlü malzeme kullanımı ve yapı malzemesi tasarrufu (beton-demir) sağlaması ve daha az karbon izi bıraktığı için çevre bilincine katkı sağlar. Isı ve ses yalıtımı açısından diğer döşemelere göre daha üstün bir performans göstermektedir.

Plastik boşluklu kirişsiz döşeme sistemlerinin avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurarak projelendirme sırasında modellenmesi ve analizleri yapıldıktan sonra, bu döşemenin uygunluğuna projeyi çizen mühendis tarafından karar verilmesi gerekmektedir.

7.1. Tasarımcıya Öneriler

Kirişsiz döşemelerin tamamen öğrenilmesi gereklidir. X ve Y doğrultusundaki donatıların hesaplarının sağlam yapılmalıdır. Eğilme ve kesme davranışları ile birlikte zımba davranışlarına dikkat edilmesi gerekir. Düzlem içi gerilmelerde çekme ve basınç yerlerine yeteri kadar donatılar koyulmalıdır. Dayanım artırma katsayısı(d) ve kapasite tasarım prensiplerine uyulması lazımdır.

7.2. Üreticiye Öneriler

Boşluklu döşemeler oluşturulurken deprem yönetmeliklerinde ve betonarme yapım kurallarında belirlenen minimum koşullar göz önüne alınmalı, boşluğun üst ve alt kısmındaki plak kalınlığı optimum ölçülerden az olmamalıdır. Geri dönüşümlü ve poliporilen malzeme kullanılmalıdır. Alınan malzeme yanmaz ve uv dayanımına uygun olmalıdır. Kör kalıpların düzgün dizilmesine ve donatıların düzgün yerleştirilmesine dikkat edilmelidir. Kör kalıpların arası betonun rahat girmesi için 10 cm den az olamamalıdır. Uygulamada donatıların ve kalıpların uygun şekilde bağlanmalıdır. Betonun işlenebilirliğini sağlamak için betonun doğru sipariş verilmeli ve kürleme metodlarına dikkat edilmelidir. Açıklık arttıkça plak kalınlığının arttırılması gerekir. Ağırlık ve açıklık miktarı arttıkça boşluklu döşeme kullanılması önerilir.

Zımbalama etkisinden dolayı kolon etrafı dolu kesit olmalı, boşluklu kör kalıplar zımbalama çevresinden sonra konulmalıdır. Ayrıca güvenli tarafta kalmak isteyenler gerekli miktardaki kayma kamasını veya zımbalama donatısını kullanabilirler.

Bu çalışmamızda 2019 yılının başında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği doğrultusunda kirişli döşeme, kaset döşeme ve boşluklu döşeme sistemleri kullanılarak analizler yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Dönüşümlerde plandaki boyutlar, kat yükseklikleri, malzeme özellikleri gibi diğer tüm değişkenler sabit tutulmuştur. Sadece döşeme tiplerinin dönüştürülmesi nedeniyle ortaya çıkan, yönetmeliğe/standarda göre taşıyıcı eleman kesit boyutlarındaki azaltılması/arttırılması gereken değişimlerin optimum ölçüde tutulmasına özen gösterilmiştir. Bundan sonraki

çalışmalarda 2019 yılının başında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği doğrultusunda kirişli döşeme, kaset döşeme ve boşluklu döşeme sistemleri oluşturulurken kolon arası açıklıklarda, boyutlarda ve taşıyıcı sistemde köklü bir değişim yapılarak maliyetler karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- ACI 318-11. (2011). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. ACI, Farmington Hills
- AFAD, (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altındaki Binaların Tasarımı İçin Esaslar*, Ankara.
- Arslan, M.H., Öztürk, M., Kaltakçı, M.Y., Arslan, H.D., ve Korkmaz, H.H. (2011). *Dairesel Kesitli Plastik Malzeme Kullanarak Üretilen Betonarme Elemanlar Üzerine Bir İrdeleme*, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ.
- Albrecht, C., Albert, A., Pfeffer, K., Schnell, J. (2012). *Design and Construction of Two-Way Spanning Reinforced Concreteslabs with Flattened Rotationally Symmetrical Void Formers*, Concrete and Reinforced Concrete Construction.
- Bikçe, M. ve Akyol, B. (2017). “*Tasarlanmış Gerçek Yapılarda Asmolen/Plak Döşeme Dönüşümünün Yapı Maliyetine Etkisi*”, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay, 29(1), 133-144.
- Calin S., Asavoai C. and Florea N. (2009). *Issues for Achieving an Experimental Model*. The Buletinul Institutului Politehnic din Iași
- Celep, Z. (2011). *Betonarme Yapılar*, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Doğangün, A. (2010). *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Ergül, M. (2017). *Çeşitli tiplerdeki betonarme yapıların etabs, sta4cad ve idecad programları ile analiz edilerek sonuçların kıyaslanması*, Uzmanlık Tezi.
- Ersoy U. ve Özcebe G. (2016). *Betonarme*, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Gençoğlu, M. (2012). *Betonarme II*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Göksu, E. (2018). *Yüksek Yapılarda Ön gerilimli Beton Uygulaması*, İMO Ankara
- Gezer, M. (2018). *Betonarme boşluklu döşemelerin analitik ve deneysel olarak irdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kolgu, S. ve Peker, K. (2018). *Kirişsiz Döşemelerin Uygulamada Tasarım ve Detaylandırılması*, İMO İzmir Şubesi Tasarım Mühendislerine Yönelik Meslek içi Seminerleri, İzmir.
- Lai T. (2009). *Structural Behaviour of Bubble Deck Slab and Their Applications to Lightweight Bridge Decks*. Yüksek Lisans Tezi. Amerika Birleşik Devletleri, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Mıdkıff, C. (2013). *Plastic Voided Slab Systems, Applications and Design*, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Mülazimoğlu, İ. (2019). *Plastik kör kalıptan imal edilmiş boşluklu döşemelerin yapısal analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.
- Naik S.R. and Joshi D. (2017). *A Voided Slab and Conventional Flat Slab, A Comparative Study*. *International Journal of Science Technology & Engineering*, 4(1), 44-50.
- Purushottam Y.T. and Hemantkumar T.Y. (2016). *Analytical Study of Solid Flat Slab and Voided Slab Using ANSYS Workbench*. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(10), 1000-1003.
- Shetkar A. and Hanche N. (2015). *An Experimental Study on Bubble Deck Slab System With Elliptical Balls*.
- Sırlıbaş, C. (2013). *Farklı tipteki betonarme yapıların sta4cad ve etabs programları ile çözülmesi ve sonuçların karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- STA4-CAD. *Çok Katlı Betonarme Yapıların Statik, Deprem, ve Rüzgar Analiz Programı*, STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti. İstanbul.
- Surendar M. and Ranjitham M. (2016). *Numerical and experimental Study on Bubble Deck Slab Research Article*. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(5).
- Taşkın K. ve Tuncan M. (2014). *Yeni Nautilus® Kör Kalıp Sistemlerinin Maliyet Analizi, (Teknik Rapor)*. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Topçu, A. (2018). *Betonarme II Ders Notları*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Betonarme2.htm. (18.04.2018)
- Türk Standartları Enstitüsü. (2000). *TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1987). *TS498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1979). *TS3233 Ön Gerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Kanunu, (2018). Resmi Gazete.
- URL-1 <http://www.bubbledeck.com/>, (Erişim Tarihi: 12.10.2018).
- URL-2 http://www.geoplast.com.tr/tr/casseforme/teknik/nautilus/Bosluklu_Doseme_Tasarim_ve_Referans_Projeler.pdf, (Erişim Tarihi: 12.10.2018).

URL-3 [http://www.kinaci.com.tr/upresimler/IMO_Ankarasubesi_ArdGerme_Sunumu _
Zafer_Kinaci.pdf](http://www.kinaci.com.tr/upresimler/IMO_Ankarasubesi_ArdGerme_Sunumu_Zafer_Kinaci.pdf), (Erişim Tarihi: 22.10.2018).

URL-4 <https://yapisor.com/1360/kaset-dosemeler>, (Erişim Tarihi: 15.06.2018).

URL-5 <http://www.cobias.com/projects/>, (Erişim Tarihi: 12.10.2018).

URL-6 <http://imoistanbul.org/imoarsiv/seminer-notlari-ekim-2017>, (Erişim Tarihi:
17.09.2018).

ÖZ GEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Yiğit YAVAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : Bilecik - 1988

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Celal Bayar Üniversitesi
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi

Stajlar : Bornova Belediyesi
Projeler :
Çalıştığı Kurumlar : Tam Yapı Denetim, Gölpazarı Belediyesi, Odunpazarı Belediyesi

İletişim

Adres :Güllük Mahallesi Balkan Caddesi No:41/3
Tepebaşı/ESKİŞEHİR
E-Posta Adresi : ygtyvs@hotmail.com

Akademik Çalışmaları

- 2016-2019 Yüksek Lisans, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi - Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
- 2007-2011 Lisans, Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- 2011-2012 İnşaat Mühendisi, Tam Yapı Denetim
- 2012-2017 İnşaat Mühendisi, Gölpazarı Belediyesi, Fen İşleri Müdürlüğü
- 2017-Halen Odunpazarı Belediyesi, Fen İşleri Müdürlüğü

Tarih:22/08/2019