

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜNEL KALIPLA İNŞA EDİLEN BİNALARIN  
DEPREM YÜKLERİ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ender SARIÇAY**

**Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği**

**Programı : Yapı Mühendisliği**

**Tez Danışmanı:Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK**

**EYLÜL 2009**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜNEL KALIPLA İNŞA EDİLEN BİNALARIN  
DEPREM YÜKLERİ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ender SARİÇAY  
(501051140)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Ağustos 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Eylül 2009**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK (İTÜ)**

**Eş Danışman :**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL (İTÜ)  
Doç. Dr. Necdet TORUNBALCI (İTÜ)**

**EYLÜL 2009**



## ÖNSÖZ

Bu çalışmama olan desteklerinden ötürü danışman hocam Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK'e, jurideki sayın hocalarıma ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Haziran, 2009

Ender SARIÇAY

.



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                              | v    |
| İÇİNDEKİLER.....                                                        | viii |
| KISALTMALAR.....                                                        | xi   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                    | xi   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                      | xiii |
| ÖZET.....                                                               | xv   |
| SUMMARY.....                                                            | xvii |
| 1. GİRİŞ .....                                                          | 1    |
| 2. TÜNEL KALIP SİSTEMİ.....                                             | 3    |
| 2.1 Kullanım Avantajları .....                                          | 3    |
| 2.2 Üretim Süreci .....                                                 | 7    |
| 2.3 Tünel Kalıp Yapı Sisteminde Taşıyıcı Sistem Bileşenleri .....       | 12   |
| 2.3.1 Perdeler .....                                                    | 12   |
| 2.3.2 Bağ kirişleri.....                                                | 13   |
| 2.3.3 Döşemeler .....                                                   | 13   |
| 2.3.4 Temeller .....                                                    | 14   |
| 3. BETONARME PERDELİ YAPILAR İÇİN TDY'DE VERİLEN                        |      |
| KURALLAR .....                                                          | 15   |
| 3.1 Enkesit Koşulları .....                                             | 15   |
| 3.2 Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği .....                 | 15   |
| 3.3 Gövde Donatısı Koşulları .....                                      | 16   |
| 3.3.1 Gövde donatılarının düzenlenmesi .....                            | 17   |
| 3.4 Perde Uç Bölgelerinde Donatı Koşulları .....                        | 17   |
| 3.5 Tasarım Eğilme Momentleri ve Kesme Kuvvetleri .....                 | 19   |
| 3.6 Perdelerin Kesme Güvenliği .....                                    | 19   |
| 3.7 Bağ Kirişli (Boşluklu) Perdelerle İlişkin Kurallar ve Koşullar..... | 20   |
| 4. ÇALIŞMADA KULLANILAN MODELLERDEKİ KABULLER VE                        |      |
| ÖZELLİKLERİ .....                                                       | 23   |
| 4.1 Perde Kalınlıklarının Belirlenmesi .....                            | 24   |
| 4.2 Deprem Parametreleri ve Diğer Kabuller .....                        | 26   |
| 4.2.1 Elastik deprem yüklerinin tanımlanması. ....                      | 26   |
| 4.2.2 Elastik deprem yüklerinin azaltılması .....                       | 27   |
| 4.2.3 Yapılara ait $C = A(T_1)/R_a(T_1)$ katsayılarının gösterimi ..... | 27   |
| 4.2.4 Yapılara ait malzeme özelliklerinin gösterimi .....               | 27   |
| 4.3 Yük Analizi ve Yük Kombinasyonları .....                            | 29   |
| 4.3.1 Düşey yükler .....                                                | 29   |
| 4.3.1.1 Ölü yük analizi(DL).....                                        | 29   |
| 4.3.1.2 Hareketli yük analizi(LL).....                                  | 30   |
| 4.3.2 Hesaplarda kullanılan yatay yüklemeler .....                      | 30   |
| 4.3.2.1 Rüzgar yükü analizi (WL).....                                   | 30   |

|                                                      |           |
|------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4.2.2 Deprem yükü analizi .....                    | 31        |
| <b>5. KONTROLLER .....</b>                           | <b>39</b> |
| 5.1 Düzensizliklerin Kontrolü .....                  | 39        |
| 5.1.1 Planda düzensizlik durumları .....             | 39        |
| 5.1.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları .....   | 39        |
| 5.2 Deplasman Kontrolleri .....                      | 44        |
| 5.2.1 Rüzgardan oluşan deplasmanlar .....            | 50        |
| 5.2.2 Depremden oluşan deplasmanlar .....            | 51        |
| 5.3 İç Kuvvetlerin İncelenmesi .....                 | 52        |
| <b>6. TAŞIYICI SİSTEMDE DONATI DÜZENLEMESİ .....</b> | <b>59</b> |
| <b>7. SONUÇLAR .....</b>                             | <b>67</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                               | <b>69</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                   | <b>71</b> |



## **KISALTMALAR**

|                         |                                                                            |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>TDY 2007</b>         | :Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007            |
| <b>ETABS</b>            | :Extended 3D Analysis of Building Systems                                  |
| <b>TS 500</b>           | :Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları                            |
| <b>TS 498</b>           | :Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri |
| <b>Z1-Z4</b>            | :TDY 2007’de sınıflandırılan zemin cinsleri                                |
| <b>1.-4.Der.Dep.Böl</b> | :1.-4. Dereceden Deprem Bölgesi                                            |



## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                                                   | <u>Sayfa</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 4.1 : Seçilen perde kesit kalınlıkları .....                                                                              | 25           |
| Çizelge 4.2 : 5 Katlı yapının C katsayıları.....                                                                                  | 28           |
| Çizelge 4.3 : 10 Katlı yapının C katsayıları .....                                                                                | 29           |
| Çizelge 4.4 : 15 Katlı yapının C katsayıları .....                                                                                | 29           |
| Çizelge 4.5 : Düşey kaplama yükleri.....                                                                                          | 30           |
| Çizelge 4.6 : Hareketli yükler(LL) .....                                                                                          | 30           |
| Çizelge 4.7 : Ölü yükler(DL) .....                                                                                                | 30           |
| Çizelge 4.8 : Rüzgar yükü (0-15 m) .....                                                                                          | 31           |
| Çizelge 4.9 : Rüzgar yükü (0-30 m) .....                                                                                          | 31           |
| Çizelge 4.10 : Rüzgar yükü (0-45 m) .....                                                                                         | 31           |
| Çizelge 4.11: Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar .....                                                       | 32           |
| Çizelge 4.12: 5 Katlı yapıda 1.der.dep böl. ve Z1 zemin sınıfında period değerleri .....                                          | 33           |
| Çizelge 4.13 : 10 Katlı yapıda 1.der.dep böl. ve Z1 zemin sınıfında period değerleri .....                                        | 33           |
| Çizelge 4.14: 15 Katlı yapıda 1.der.dep böl. ve Z1 zemin sınıfında period değerleri .....                                         | 34           |
| Çizelge 4.15 : Eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi 5 katlı modeller için x yönü (Seçilen 5 katlı model ve Z4 zemin sınıfı). ..... | 35           |
| Çizelge 4.16 : Eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi 10 katlı modeller için x yönü (Seçilen 5 katlı model ve Z4 zemin sınıfı) ..... | 35           |
| Çizelge 4.17 : Eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi 15 katlı modeller için x yönü (Seçilen 5 katlı model ve Z4 zemin sınıfı).....  | 36           |
| Çizelge 4.18: 5 Katlı binalar için S(T) ve A(T) değerleri .....                                                                   | 36           |
| Çizelge 4.19 : 10 Katlı binalar için S(T) ve A(T) değerleri .....                                                                 | 37           |
| Çizelge 4.20 : 15 Katlı binalar için S(T) ve A(T) değerleri.....                                                                  | 37           |
| Çizelge 5.1 : Bir kattaki boşluk alanları ve toplamı .....                                                                        | 43           |
| Çizelge 5.2: Binaların düzensizlik durumları .....                                                                                | 46           |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : Kapı ve pencere rezervasyon elemanları. ....                                                               | 5  |
| Şekil 2.2 : Kalıp sistemindeki çalışma platformları ve korkuluklar.....                                                | 5  |
| Şekil 2.3 : Örnek bir tünel kalıp elemanı. ....                                                                        | 6  |
| Şekil 2.4 : Temel betonu .....                                                                                         | 7  |
| Şekil 2.5 : Temel ve Aks betonu . ....                                                                                 | 7  |
| Şekil 2.6 : Perde donatılarının yerleştirilmesi.....                                                                   | 8  |
| Şekil 2.7 : Rezervasyonlar ve elektrik tesisatı. ....                                                                  | 8  |
| Şekil 2.8 : Perde ve döşeme kalıpları .....                                                                            | 9  |
| Şekil 2.9 : Döşeme rezervasyon ve tesisatları .....                                                                    | 9  |
| Şekil 2.10 : Döşeme tesisat ve rezervasyonları.....                                                                    | 9  |
| Şekil 2.11 : Beton dökümü .....                                                                                        | 9  |
| Şekil 2.12 : Aks betonu kalıpları.....                                                                                 | 9  |
| Şekil 2.13 : İlk tünelin alınması.. ....                                                                               | 9  |
| Şekil 2.14 : Tünelin bir üste kata alınıp döşeme betonun desteklenmesi .....                                           | 10 |
| Şekil 2.15 : Çelik sınıfları. ....                                                                                     | 11 |
| Şekil 2.16 : Q ve R Hasırları.....                                                                                     | 12 |
| Şekil 2.17 : Bağ kirişlerin kesme dayanımı mekanizmaları .....                                                         | 13 |
| Şekil 3.1 : Perde uç bölgeleri .....                                                                                   | 16 |
| Şekil 3.2 : Yatay gövde donatıları kenetlenme şekilleri.....                                                           | 17 |
| Şekil 3.3 : Perdede donatı yerleşimi .....                                                                             | 18 |
| Şekil 3.4 : Grafiği Bağ kirişli perde sistemi.....                                                                     | 20 |
| Şekil 3.5 : Bağ kirişlerinde çapraz donatılar .....                                                                    | 21 |
| Şekil 4.1 : Yapı kesitleri .....                                                                                       | 23 |
| Şekil 4.2 : Yapı Planı. ....                                                                                           | 24 |
| Şekil 4.3 : Yapı döşeme planı .....                                                                                    | 26 |
| Şekil 4.4 : Spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$ , $T_B$ )....                                                   | 27 |
| Şekil 4.5 : Rüzgar yükü x yönü (WL+X) .....                                                                            | 30 |
| Şekil 4.6 : Rüzgar yükü y yönü (WL+Y) .....                                                                            | 30 |
| Şekil 5.1 : A1 Burulma düzensizliğinin gösterimi .....                                                                 | 39 |
| Şekil 5.2 : 5 Katlı modeller için $\pm 0,05$ ek dışmerkezlikle x ve y yönü A1 burulma<br>düzensizliği kontrolü .....   | 40 |
| Şekil 5.3: 10 Katlı modeller için $\pm 0,05$ ek dışmerkezlikle x ve y yönü A1 burulma<br>düzensizliği kontrolü .....   | 41 |
| Şekil 5.4 : 15 Katlı modeller için $\pm 0,05$ ek dışmerkezlikle x ve y yönü A1 burulma<br>düzensizliği kontrolü ... .. | 42 |
| Şekil 5.5: 5 Katlı model x ve y yönü için B2 yumuşak kat düzensizliği kontrolü ..                                      | 45 |
| Şekil 5.6 : 10 Katlı model x ve y yönü için B2 yumuşak kat düzensizliği kontrolü ....<br>.....                         | 45 |
| Şekil 5.7 : 15 Katlı model x ve y yönü için B2 yumuşak kat düzensizliği kontrolü ....<br>.....                         | 46 |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.8 : 5 Katlı model x ve y yönü için ikinci mertebe kontrolü .....                               | 48 |
| Şekil 5.9 : 10 Katlı model x ve y yönü için ikinci mertebe kontrolü .....                              | 48 |
| Şekil 5.10: 15 Katlı model x ve y yönü için ikinci mertebe kontrolü .....                              | 49 |
| Şekil 5.11: 5, 10, 15 Katlı yapı x ve y yönü içi yapı modellerine ait modlar .....                     | 50 |
| Şekil 5.12 : 5, 10 ve 15 Katlı model x ve y yönü rüzgar yüklemesi altındaki<br>deplasman grafiği ..... | 51 |
| Şekil 5.13: Z1 ve Z2 zemin sınıfı deplasman grafikleri .....                                           | 51 |
| Şekil 5.14: Z3 ve Z4 zemin sınıfı deplasman grafikleri .....                                           | 53 |
| Şekil 5.15 : Z1 ve Z2 Zemin sınıfı eğilme moment grafikleri.....                                       | 53 |
| Şekil 5.16 : Z3 ve Z4 Zemin sınıfı eğilme moment grafikleri.....                                       | 54 |
| Şekil 5.17: Z1 ve Z2 Zemin sınıfı kesme kuvveti grafikleri.....                                        | 54 |
| Şekil 5.18 : Z3 ve Z4 Zemin sınıfı kesme kuvveti grafikleri.....                                       | 55 |
| Şekil 5.19: Z1 ve Z2 Zemin sınıfı normal kuvvet grafikleri.....                                        | 55 |
| Şekil 5.20: Z3 ve Z4 Zemin sınıfı normal kuvvet grafikleri.....                                        | 56 |
| Şekil 5.21 : Z1 ve Z2 Zemin sınıfı eğilme momenti grafikleri.....                                      | 56 |
| Şekil 5.22 : Z3 ve Z4 Zemin sınıfı eğilme momenti grafikleri.....                                      | 57 |
| Şekil 5.23 : Z1 ve Z2 Zemin sınıfı kesme kuvveti grafikleri.....                                       | 57 |
| Şekil 5.24 : Z3 ve Z4 Zemin sınıfı kesme kuvveti grafikleri.....                                       | 56 |
| Şekil 6.1 : Perde donatı detayı; kesitleri ve plan .....                                               | 60 |
| Şekil 6.2 : Bağ kirişleri perde bağlantı detayı.....                                                   | 61 |
| Şekil 6.3 : Bağ kirişlerinde çapraz donatı detayı .....                                                | 62 |
| Şekil 6.4 : Döşemede örnek çelik hasır yerleşimi .....                                                 | 62 |
| Şekil 6.5 : İncelenen binada döşeme örnek çelik hasır yerleşim planı.....                              | 63 |
| Şekil 6.6 : Döşemede mesnet hasırları perde donatısı birleşim detayı.....                              | 63 |
| Şekil 6.7 : İncelenen planda örnek temel donatı planı .....                                            | 64 |

## **TÜNEL KALIPLA İNŞA EDİLEN BİNALARIN DEPREM YÜKLERİ ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

### **ÖZET**

Gelişen ve hızla nüfusun arttığı ülkemizde, özellikle sanayinin ve iş olanaklarının fazla olduğu büyük şehirlerde meydana gelen konut ihtiyacı, inşaat sektörünü ekonomik, hızlı ve güvenli çözümler üretmeye yönlendirmiştir. Gerek iş gücü, gerekse araç gereç kaynaklarının daha rasyonel bir biçimde kullanılabilmesi ve böylece üretkenliğin arttırılabilmesi için girişilen çalışmalar, yapımda endüstrileşmiş üretim yöntemlerini gerektirmiştir. İlk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen hızlı ve kendini tekrar eden süreciyle genel maliyetin konvansiyonel sistemlere göre düşmesini sağlamıştır. İlk zamanlarda yapım hızı ve üretim süresini kısaltmak için hazır elemanlar kullanılırken yapı kimyasalları ile priz süresinin kısaltılması sayesinde yerinde dökme sistemler önplana çıkmıştır. Katların monolitik olarak oluşturulması, yapının bütün duvarlarının betonarme taşıyıcı duvarlar olması, deprem etkileri altında binaların çerçeve sistemlere göre çok rijit davranmasını sağlar. Tünel kalıplar hareketli kalıplar sınıfında yer alır. Hareketli kalıplar çağdaş yerinde dökme yapım sistemlerinde kullanılan, seri döküm yapma olanağı veren kalıplar olarak tanımlanabilir. İki yöndede hareket kabiliyetine sahip bu kalıp sistemleri bir çok projede başarı ile uygulanmaktadır buna rağmen, taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan bu tür sistemlerin davranışı hakkında literatürde çok fazla araştırmaya ulaşmak mümkün değildir.

Ülkemizin her zaman deprem tehdidi içinde bulunması ve özellikle 1999 Marmara depremi sonrası yapıların güvenliği ve davranışının daha kapsamlı analizini beraberinde getirmiştir. Bu tez çalışmasında taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan tünel kalıp sistemiyle inşa edilmiş binalar, Türk Deprem Yönetmeliği 2007’de verilen deprem bölgeleri, zemin parametreleri iki yönden yakın rijitliğe sahip planda sekizgen kesitli bir binada incelenmiş ve deprem davranışında farklı zemin bölgelerinde kat adedinin etkileri araştırılmıştır.

Giriş bölümünde, tünel kalıp sisteminin gelişimi ve kullanım alanları özetlenmiş, ülkemizde ve dünyada kullanılan tünel kalıp çeşitlerinden ve sistemin parçalarına değinilmeye çalışılmıştır.

İkinci bölümde, tünel kalıp sisteminin kullanım avantajları ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, betonarme perdelerden oluşan taşıyıcı sistemlerin özeti verilmiş, perde ve bağ kiriş elemanlarının dinamik etkiler altında davranışı açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde tünel kalıp sistemiyle inşaa edilmiş, iki doğrultuda yaklaşık aynı yatay rijitliğe sahip sekizgen planlı binalarda, kat adedinin, farklı zemin cinsi ve deprem bölgelerinin değişimi incelenmiş ve konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalardan da kısaca bahsedilmiştir.

Sonuç bölümünde ise elde edilen veriler değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.



# **EARTHQUAKE BEHAVIOUR OF STRUCTURES THAT BUILT WITH TUNNEL FORM**

## **SUMMARY**

Improving and having growing population, in Turkey, especially in big cities, needs for housing makes construction sector to get fast, economic, and safe solution in this area. In other words, needs to be able to utilize the resources more effectively to get better production demands industrialized solution. Even though cost of first investment about this area was high, in the time zone, cost of this operation has been decreased when we compare with conventional systems. At the beginning, prefabricated materials used to be used to get fast production and to decrease the production time. However, with invention of chemicals in construction materials makes cast in place more attractive in this sector. Placing the floors monolithically, and having the all frame members reinforcement concrete, provides more rigid structure under earthquake. Tunnel forms are the kind of moving forms. Now days, moving forms are so innovative and being used for cast in place which creates faster and more effective placing. Even though, use of this system has been accomplished effectively in so many projects, there is not enough study about these kinds of systems.

Since possibility of earthquake is not ignorable in our country, especially after 1999 Marmara earthquake, safeness of structures brought up more inclusive analysis. In this thesis structures in which all-supporting frame materials are core walls that have been built with tunnel forms, earthquake areas based on Turkish Standards for Earthquake 2007, and a building, which has two different rigid values for two approximately same ways about solid parameters, has been studied. In addition, the effect of number of floor in earthquake has been studied as well.

At the beginning, it has been summarized about improving in use and use of tunnel form, in addition it has been mentioned the type of tunnel form and component of tunnel form that are being used in Turkey and in rest of the world.

At second part, advantage and disadvantage of using this type of form has been mentioned.

At third part, a supporting system that is consisted of reinforcement concrete materials has been explained. Besides, behaviors of components of core walls under dynamic effects have been explained.

At fourth part, effect of number of floor, effect of different solid type, and effect of different area at circular buildings, which have been built from tunnel forms and, which have two different horizontal rigid values has been studied. In addition, the studied that have been done previously have been mentioned as well.

Finally, the information that has been gained during this study has been evaluated and interpreted.

## 1. GİRİŞ

Yapıların ömürleri içindeki en büyük etkiler genelde deprem ile oluşmaktadır. Ülkemiz alanının % 92'si, nüfusun % 95'i sismik hareketler açısından oldukça aktif bir bölgede yer almaktadır [1]. Sosyal ve ekonomik sorunlar büyük şehirlere göçü arttırmış ve buralarda yüksek yapı yapma zorunluluğu doğmuştur. Bununla beraber tünel kalıp tekniği ile inşa edilen yapılar özellikle deprem tehlikesinin yüksek olduğu Şili, Japonya ve İtalya gibi ülkelerde sıkça tercih edilmeye başlanmıştır [1]. Bunların ışığında ülkemizde de yaygın olarak kullanılan tünel kalıp sistemi betonarme yapılarda taşıyıcı duvar ve döşemelerin kesin boyutlu ve düzgün yüzeyli çelik kalıplar kullanılarak tek işlemle yerinde döküm sistemi ile kullanılan endüstrileşmiş bir yapım yöntemi olarak tanımlanabilir. Betonarme yapı inşaatında bu sistemin kullanımı ile beraber hem maliyet hem de inşa süreci kısalmıştır.

Tünel kalıp sistemi prefabrik sistemin hızı ve kalitesini yerinde dökümün ekonomisi ve esnekliğiyle birleştirir [2]. Özellikle tekrarlı kısımlar içeren çok katlı ve hücreli planlı, konut, otel, v.b gibi yapıların inşasında ekonomik açıdan da verimlidir. Döşeme ve duvarların bir arada betonlanmasıyla ortaya çıkan monolitik ve dolayısıyla rijit yapı 40 ve daha fazla katlı binaların inşasını mümkün kılar [3].

Döşeme ve taşıyıcı duvarların birlikte betonlanmasıyla ortaya çıkan tek parça yapı sistemi deprem bölgeleri için elverişli bir taşıyıcı sistem olarak kabul edilmektedir. Deprem etkisiyle meydana gelen kuvvetlerin, tamamının betonarme perdelerle taşınması, binaların yatay rijitliğinin çerçeve sistemlere göre çok büyük olmasını sağlar. Bu yönüyle de, ülkemizde özellikle toplu konut inşaatlarında, depreme dayanıklı yapı üretimi için tünel kalıp sistemi tercih edilmektedir.

Tünel kalıp sistemiyle yapılan binalarda taşıyıcı sistemin elemanları düşey ve yatay yükleri karşılayan perdeler, kat döşemelerini oluşturan betonarme diyafram ve en genel uygulama şekliyle radye temellerdir.

Yatay rijitliği yüksek olan bu sistemde döşemelerin davranışında rijit diyafram varsayımı kullanılır. Bu varsayım farklı rijitlikteki perdeler aynı yer değiştirmeyi yapmaya zorlar. Rijit diyaframın gerçeğe yakın olması için, düşey elemanların

plandaki yerleşimi ve her iki yönde aks devamlılığının sağlanması önemlidir. Tünel kalıp kullanımında, zorunluluk nedeniyle bir yönü mesnetlenemeyen döşemelerde oluşacak sehim problemi bu tür sistemlerde önem kazanmaktadır.

Tünel kalıp sistemlerinde kapı pencere gibi boşluklar bırakılırken bağ kirişlerinin kullanılması yapının sünekliğini arttırmaktadır.

İki yönde perdelerin bulunduğu bu sistemlerde uygulama kolaylığı nedeniyle kirişsiz radye temel kullanılır. Radye temel ile üst yapının yükleri zemine düzgün gerilmeler şeklinde aktarılması sağlanmış olur.

Çalışmada, sekizgen plana sahip binanın deprem yükleri altında davranışı incelenmiştir.

Modal analiz yapılarak binanın genel dinamik davranışı araştırılmış ve Deprem Yönetmeliği 2007’de önerilen formülün verdiği sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Binaların kat adedinin artmasıyla deplasman davranışları gösterilmiştir. Zemin cinslerinin ve deprem bölgelerinin değişmesinin bina iç kuvvetlerine ve deplasmanlarına etkisi incelenmiştir. Sistemdeki düzensizlik kontrolleri yapılmıştır. Farklı kat adedine sahip bina için, perde iç kuvvetlerine ve kat deplasmanlarına etkisi araştırılmıştır.

## **2. TÜNEL KALIP SİSTEMİ**

### **2.1 Kullanım Avantajları**

Tünel kalıp sisteminde betonarme yapılar da taşıyıcı duvar ve döşemenin bir defada dökülmesine olanak veren tünel şeklindeki çelik kalıp sistemidir. Sistemin en çok tutulan yönü az iş gücü ile hızlı üretim yapılabilmesidir.

Genel uygulamada , duvar ve döşeme kalınlıkları hemen hemen aynı tutulmaktadır. Özellikle bu tür yapım tekniğinde döşeme ve duvar betonunun kat seviyesinde eş zamanlı dökülmesi soğuk derz oluşumunu minimuma indirerek monolitik bir yapı meydana getirmektedir. Kritik duvar ve döşeme birleşim yerlerinin bu monolitik özelliğı yatay yüklere karşı yapının rijitliğini arttırıcı bir rol oynamaktadır [4].

Tünel kalıp sistemiyle yapılan inşaatlarda üretim hızı geleneksel yapım teknolojilerine göre çok daha yüksektir. Kalıpların içine önceden kapı ve pencere kasaları, elektrik boru ve hatları yerleştirildiğı için diğ er sistemlerde sonradan yapılan bu işler beton dökümüyle birlikte bitirilmiş olmaktadır [3].

Bu sistemde kür yoluyla, beton kısa sürede gerekli mukavemeti kazanabildiğinden dolayı, kalıp sökümü kısa zamanda yapılp yine kısa bir zamanda tekrar kurularak yeniden beton dökümüne olanak vermektedir [5].

Tünel kalıp sistemlerinde vinç kullanımı şarttır. Yapının yüksekliğine göre en uygun vinç tipi belirlenmelidir. 5 kata kadar lineer diziliş gösteren vaziyet planlarının uygulanmasında gezer vinç, daha yüksek yapılarda kule tipi vinçler kullanılır.

Tünel kalıp sistemi ile çözülemeyen diğ er elemanlar, cephe elemanları merdivenler arablmeler, ya geleneksel sistemlerle çözülür yada yapının hızlı bir şekilde bitirilmesi için prefabrike elemanlar kullanılarak çözüm yoluna gidilir.

#### **Maliyet:**

İlk yatırım maliyeti yüksek olduğundan, tünel kalıpların tekrarlanan kullanımının uygulanabildiğı projelerde idealdir. Tekrarlanan adımlar ne kadar çok ise bu sistemin

sağladığı ekonomik faydalar o kadar çoğalacaktır. Bu nedenle projelendirme tünel kalıp sisteminin bütün avantajlarından yararlanılacak şekilde yapılmalıdır.

Bu sistem ile kalıp maliyeti geleneksel sisteme göre en az %15 azalacaktır. Bunun yanında uygulamanın inşaat genelinde sağladığı verimlilik sayesinde taşıyıcı sistemi oluşturmada zamandan %25 tasarruf edilir. Yapım süresinin kısa oluşu işgücü ve anaparanın uzun süre bağlı kalmasını önler ve yatırımın kısa sürede kendini amorti etmesini sağlar. Kullanılan çelik kalıplarla diğer sistemlere göre çok daha pürüzsüz ve dayanıklı yüzeyler elde edilir, dekorasyon ve tamir masrafı azalır, ayrıca projenin bütününde zamandan tasarruf edilir. Elde edilen monolitik sistemin getirdiği yapısal avantajlar temel maliyetini de düşürecektir.

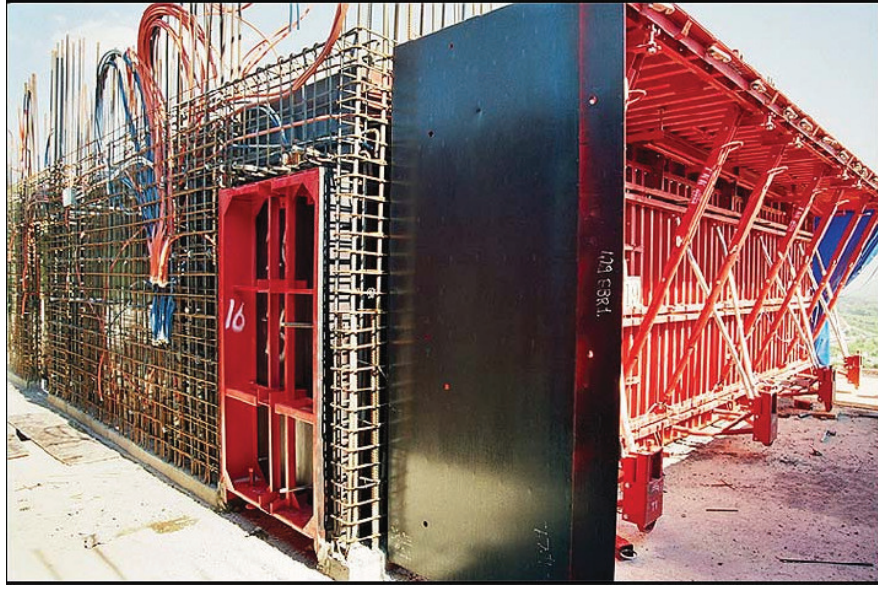
Şantiyelerde en kritik maliyet olan işçi maliyeti, konvansiyonel sistemlere göre %7–8 oranında düşmektedir. Sistemin boyutlarındaki hassasiyet yapı bileşenlerinin standartlaşmasına olanak vermekte böylece hem üretim hem de montajda maliyet azalmaktadır.

#### **Tasarım:**

Çelik kalıplar 2.4 m'den 6.6 m'ye kadar açıklıkta üretilebilir. En dış duvarı oluşturacak elemanlara kalıp içinde bırakılacak fuga çıtaları ile mimari görünüm elde etmek mümkündür veya dış cepheler mimarın uygun gördüğü herhangi bir malzeme, prefabrik beton paneller, uygun izolasyon malzemesi ile birlikte örülecek tuğla duvarlar veya daha karmaşık dış cephe kaplamaları ile tamamlanabilir [6].

#### **Kalite:**

Kalıp yüzeyleri 3–4 mm kalınlığında çelik levhalardır. Bunun yanında bu çelik levhaların oturduğu profiller bulunmaktadır. Söz konusu levhalar ve profiller kalıbın dayanıklılığını ve kullanım süresini arttırmakta, çelik levhalar ise kolay ısıtılmasını sağlamaktadır. Çok iyi bir bakımla çelik kalıplar 800-900 defaya kadar kullanılabilir. Ayrıca kalıp iç yüzeylerinin çelik olması dolayısıyla kalıplar söküldüğünde çok ince bir sıva ile dekorasyona hazır hale gelebilen yüksek kalitede düzgün yüzeyler elde edilir. Ayarlanabilen çelik rezervasyon elemanları sayesinde kapı pencere ve döşeme boşlukları ölçülerde yüksek hassasiyetle elde edilebilir (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1:** Kapı ve pencere rezervasyon elemanları.

Ölçüler son derece hassas ve toleranslar oldukça küçük olduğu için üretim de standartlaşma söz konusudur. Standart ölçülerde üretim tekrarlandığından dolayı ekiplerin hızlı ve standart sonuçlar vermesine olanak sağlamaktadır.

#### **Güvenlik:**

İşçi güvenliği: Tünel kalıplar imatçıdan satın alındığında çalışma platformları ve korkulukları da bulunmaktadır (Şekil 2.2). Çalışanlar standart imalat yaptıkları için bu insanlarda bir alışkanlık haline gelmektedir, bu da kaza riskini indirgeyen bir unsurdur. İnşa süresi kısa olduğundan dolayı bina kısa zamanda tamamlanıp iş güvenlik önlemleri daha hızlı bir şekilde sağlanabilmektedir.



**Şekil 2.2:** Kalıp sistemindeki çalışma platformları ve korkuluklar.

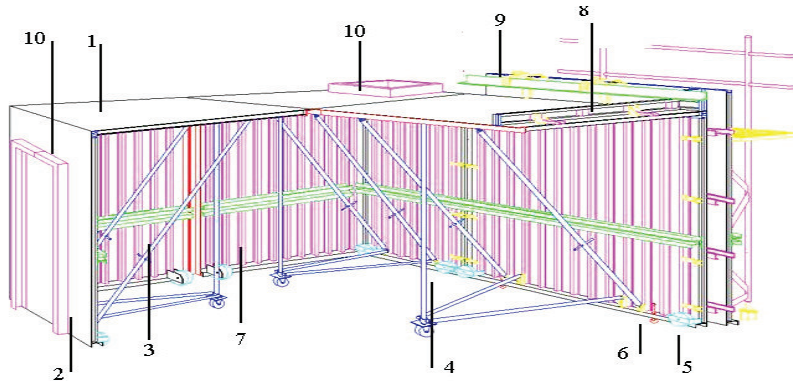


**Yangın güvenliği:** Beton bilindiği gibi yangına dayanıklı bir malzemedir. Bu sistemle yapılan binalarda duvarların büyük bir kısmının betonarme olması olası bir yangının bina içinde yayılmasını zorlaştırır.

**Deprem güvenliği:** Bu sistemle taşıyıcı duvar ve döşemeler tek bir defada bütün olarak betonlandığı için monolitik rijit bir yapı elde edilir. Bu şekildeki tek parça yapı sistemi deprem bölgeleri için elverişli bir taşıyıcı sistem olarak kabul edilmektedir.

Deprem kuvvetlerinin tamamı çok rijit perde elemanlarla taşınır. Bu nedenle yapıların yatay yük taşıma kapasiteleri çok yüksektir. Temel ile birleşen kritik kesitlerinde TDY 2007’de verilen kurallara göre tasarım yapıldığı takdirde binalar tünel kalıp teknolojisi kullanılarak güvenle inşa edilebilir.

### Sistemin Elemanları



**Şekil 2.3:** Örnek bir tünel kalıp elemanı

- |                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| 1. Döşeme panosu       | 6. Kriko (bulon)                |
| 2. Duvar panosu        | 7. Yanak panosu                 |
| 3. Eğik dikme(payanda) | 8. Duvar ve döşeme bitim panosu |
| 4. Dikme (tekerlekli)  | 9. Döşeme üst seviyesi ayarlama |
| 5. Tekerlek            | 10.Boşluk kalıpları             |

Sistemin esas unsurları yatay ve düşey çelik yüzeyli panolardır (Şekil 2.3). Panoların çelik borulardan oluşan taşıyıcı sistemi tekerleklerle bağlıdır. Panolar bu tekerleklerin üzerinde yürütülerek yerlerine yerleştirilir. Tek bir açıklık, ters L şeklinde iki yarım tünel kalıp elemanının birleştirilmesiyle oluşturulur. Duvar kısmı tipik olarak 240-300 cm yüksekliğindedir. Döşeme parçaları mühendisin istediği uzunlukta yapılabilir.



Her kalıpta tekerlekler ve yüksekliği ayarlayabilmek için bir tür kriko sistemi bulunur. Kalıpların iki yarısı döşemenin ağırlığına ve açıklığa göre ters eğim vermek için milimetrik hassaslıkla ayarlanabilen özel bir kilitle birleştirilir.

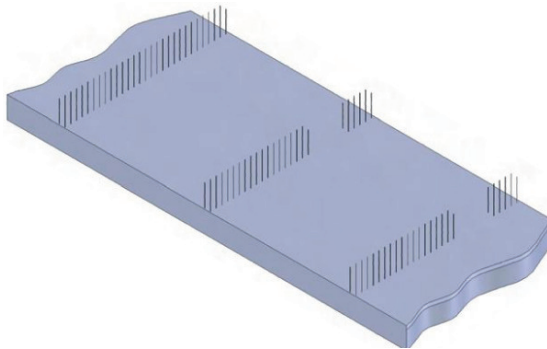
Tünel kalıpların kritik öneme sahip bir parçası ise duvar kalıbından döşeme kalıbına dek uzanan ayarlanabilir çapraz desteklerdir. Bunlar döşemeden gelen ağırlığı duvar kalıbına oradan da bir alt kattaki duvarlara aktarırlar. Beton kürünü aldıktan sonra ise kalıplar söküldüğünde döşeme ortasına, tam mukavemet kazanılana kadar dikmeler yerleştirilir.

Kapı, pencere gibi oluşumlar için duvar kalıplarının yüzünde çelik rezervasyon elemanları kullanılır. Bina elektrik tesisatı kablo ve buatları da beton dökülmeden önce donatı yerleştirilirken konumlandırılır. Baca, tesisat boşlukları ve giderler için döşeme kalıplarına sabitlenecek kalıp aparatları ile boşluklar yapılır.

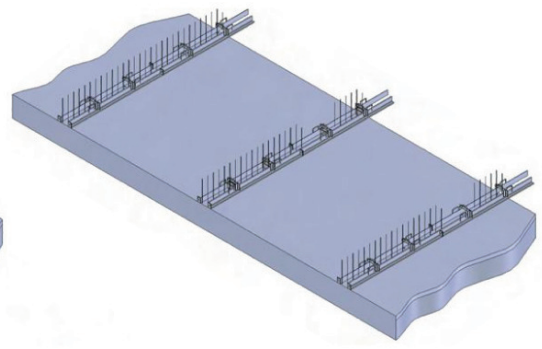
## 2.2 Üretim Süreci

Proje incelenerek uygun kalıpların montajının tamamlanmasının ardından, binanın taşıyıcı sistemi (duvarlar ve döşemeler) yerinde döküm betonarme eleman olarak üretilmekte ve temel, çatı vs. diğer yapı elemanları geleneksel tekniklerle inşa edilmektedir. Bazı durumlarda iç perdeler mesela asansör boşluğunu çevreleyen perdelerinde geleneksel kalıp sistemi ile dökülmesi gerekebilir. Aşağıda bir tünel kalıp sisteminin ilerleyişi adım adım inceleyeceğiz.

Geleneksel sistem ile binanın temeli inşa edilir (Şekil2.4).



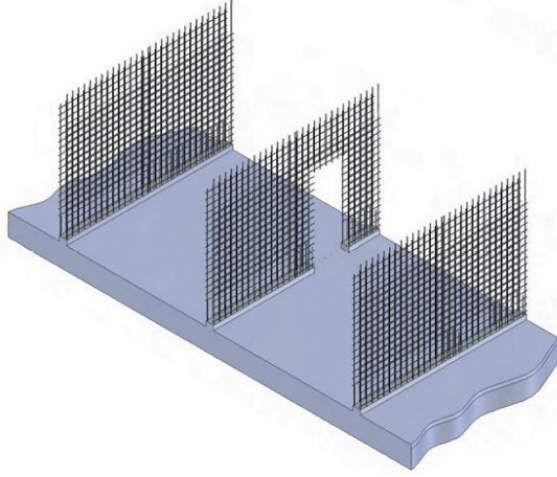
**Şekil 2.4:** Temel betonu [6].



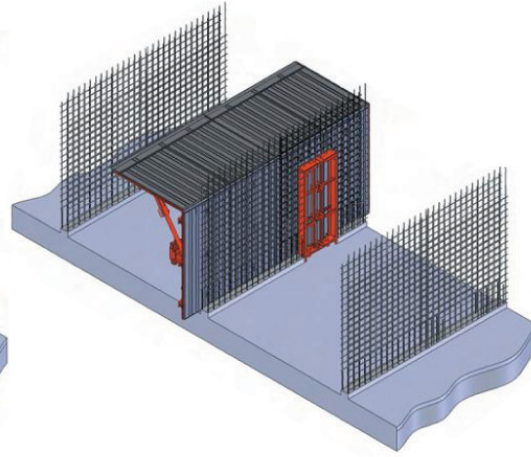
**Şekil 2.5:** Temel ve Aks betonu [6].

Tünel kalıp uygulamasın yapılacağı ilk katta perde pozisyonlarını tespit etmek için “aks betonu” dökülmelidir bu beton yaklaşık olarak döşemeden 10-12 cm yüksekliğindedir (Şekil 2.5).

Ardından betonarme perdelerine hasır çelik ve demir donatıları bağlanır (Şekil 2.6). Kalıp planına göre ilk yarım tünel uygun bir vinç yardımı ile yerine alınır. Kalıp alt kotu, tünel kalıp üzerinde bulunan krikolar yardımıyla aks üzerinde belirlenmiş olan yüksekliğe ayarlanır. Projeye göre varsa perde üzerinde bulunan kapı pencereler için boşluk rezervasyonları tünel kalıp üzerine monte edilir. Perde kalınlıklarını ayarlayan konikler ve bağlantı için saplamalar takılır. Perde üzerinde bulunan elektrik tesisatı işlenir (Şekil 2.7).



**Şekil 2.6:** Perde donatılarının yerleştirilmesi



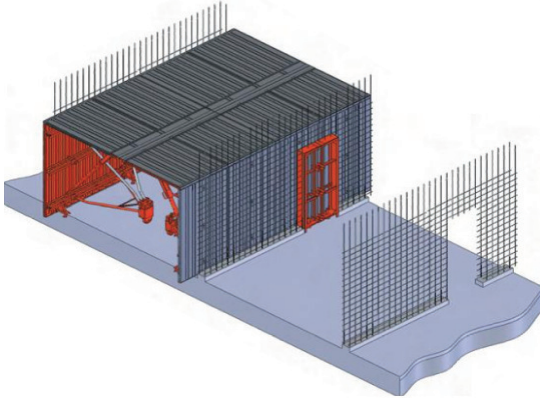
**Şekil 2.7:** Rezervasyonlar ve elektrik tesisatı

Bu işlemlerin tamamlanmasının ardından ikinci yarım tünel yerine getirilir ve aynı işlemler tekrarlanır sonra iki yarım tünel, birleştirme elemanları ile bağlanarak ünite tamamlanır. Yarı ünite bağlantı için konik ve saplamalar yerlerine takılır. Tünel yürütme tekerleri üzerinde bulunan kriko yardımı ile dikey şakül ayarlanır (Şekil 2.8). Kalıbın şakülü ayarlanırken, açıklığa göre hesaplanan yükseklikte tünele ters sehim verilir. Bırakılacak sehim payları açıklığa göre aşağıda verilmiştir.

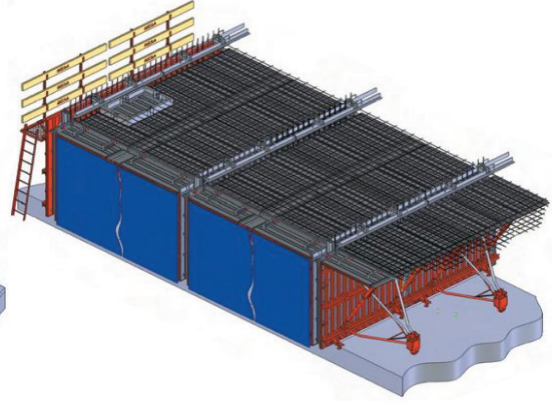
Sehim Payı (c)

- |                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| ○ Tünel açıklığı: 390 cm           | c:2 mm    |
| ○ Tünel açıklığı: 570 cm           | c:4 mm    |
| ○ Tünel açıklığı: 570 cm den fazla | c:8–20 mm |

Tüm diğer üniteler benzer işlemler sonrası yerleştirilmesi tamamlandıktan ve düşey şakül ayarlandıktan sonra bağlantı saplamaları sıkılır. Döşeme üzerinde bulunan elektrik sıhhi tesisat işlenir ve boşluk rezervasyonları monte edilir (Şekil 2.9).

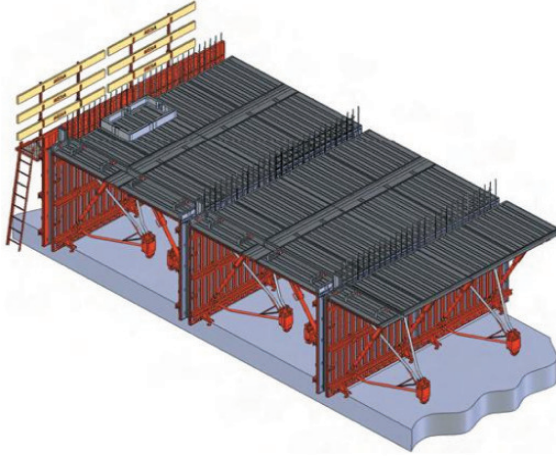


**Şekil 2.8:** Perde ve döşeme kalıpları

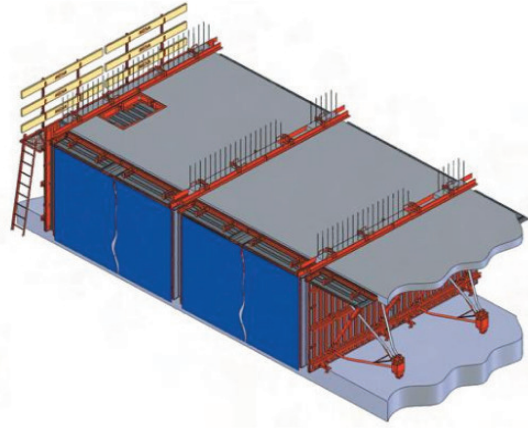


**Şekil 2.9:** Döşeme rezervasyon ve tesisatları

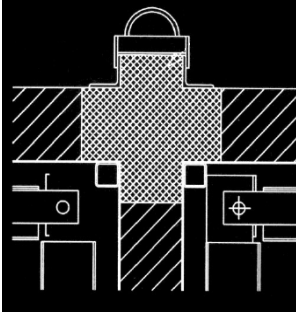
Beton dökümü yapılır. Soğuk havalarda kürlenme amacı ile üniteler (basit ısıtıcılar yardımıyla) gece boyunca ısıtılır (Şekil 2.10). Sabah tünel kalıbının söküm işlemlerine başlanır. Ayrıca bir sonraki etap için perde çelik hasır ve donatıları işlenir. Yarım tünellerin birleştirme elamanları ve rezervasyon cıvataları sökülür. Bir sonraki etaba alınmak üzere roller ve teker yardımı ile çıkartılan yarım tüneller bu arada temizlenir ve yağlanırlar (Şekil 2.11).



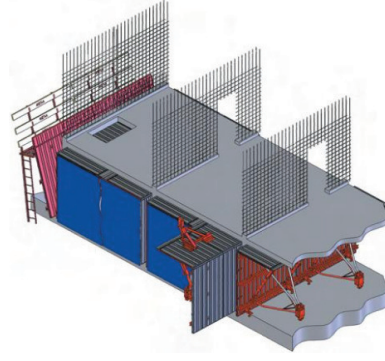
**Şekil 2.10:** Döşeme tesisat ve rezervasyonları



**Şekil 2.11:** Beton dökümü

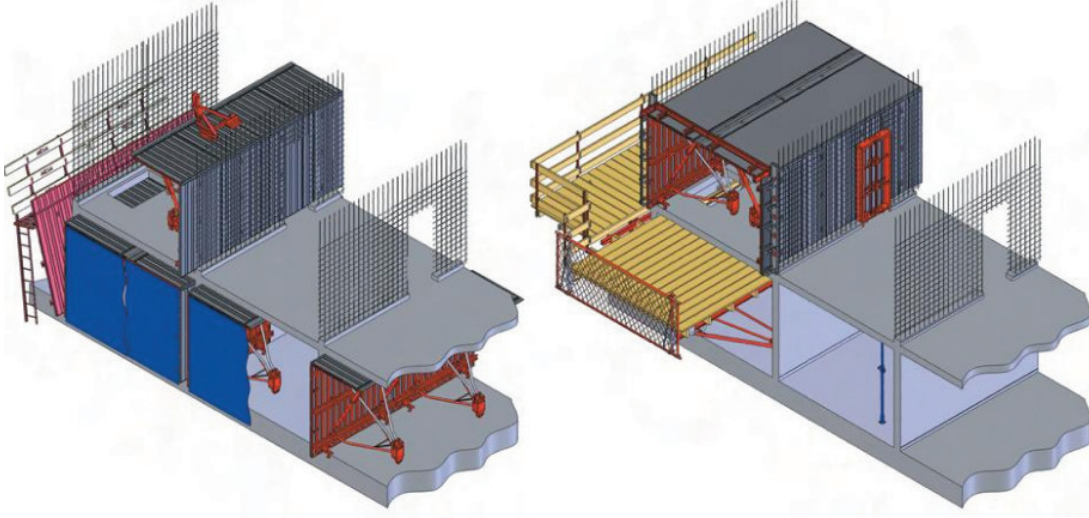


**Şekil 2.12** Aks betonu kalıpları



**Şekil 2.13** İlk tünelin alınması

Betonun prizini almasının ardından ilk yarı tünel dışarı alınır (Şekil 2.12) ve döşeme betonu dikmeler ile desteklenir, bu dikmeler beton 7 günlük dayanımına ulaşmadan kaldırılmaz. Daha sonra ünite oluşturan diğer yarı tünel sökölür ve ikinci etaba taşınır (Şekil 2.14). Adımlar çatıya kadar tekrarlanarak devam ettirilir.



**Şekil 2.14:** Tünelin bir üste kata alınıp döşeme betonunun desteklenmesi

## **Tünel Kalıp Sisteminde Kullanılan Yapı Malzemeleri**

### **Beton**

Tünel kalıp sisteminde salt perdeli sistem olduğundan dolayı sistem çok rijit olacaktır. Genelde kesitler seçilirken minimum değerler kullanılır. Kesitler tüm katlarda aynı seçileceğinden dolayı hesaplarda daha dikkatli olunmalıdır. Farklı kesitlerin çıkması tünel kalıbın avantajlarını kaybettirecektir. Gereğinden kalın kesitler hem minimum donatı miktarını arttıracak hemde binaya gereksiz ağırlık getirecektir.



Aynı durum temellerdeki zımbalama hesabında da söz konusudur. Temel radye kalınlığının artırılması zemine gelen yüklerin ve minimum donatı oranının artmasına dolayısıyla ekonomik çözümden uzaklaşılmasına neden olacaktır.

### Donatı çeliği

Tünel kalıp sistemlerinde döşeme ve perdelerde hasır çelikler kullanılır. Hasır çelikler TS 4559/1985'e göre kare (Q) ve dikdörtgen (R) gözenekli olarak S500 çelik çubukları kaynaklanarak üretilirler. Genel olarak döşemelerde, perdelerin gövdelerinde, istinat duvarlarında, tünel kaplamalarında, yol ve saha kaplama betonlarında kullanılırlar. Tünel kalıp ile inşa edilen yapılarda hasır çelik işçilik ve zamandan tasarruf sağlamaktadır. Ancak betonarme demiri ile kıyaslandığında hasır çeliğin mukavemeti yüksek buna karşılık sünekliği azdır, bu nedenle perde uç bölgeleri, kirişler, temel, boşluk çevresi gibi sünek davranışın gerekli olduğu bölümlerde hasır çelik kullanılması sakıncalı olabilir. Perde uç bölgelerinde, etriyelerde, çirozlarda v.b. yapı elemanlarında S 420 çeliği kullanılır. Şekil 2.15'de çelik özellikleri verilmiştir.

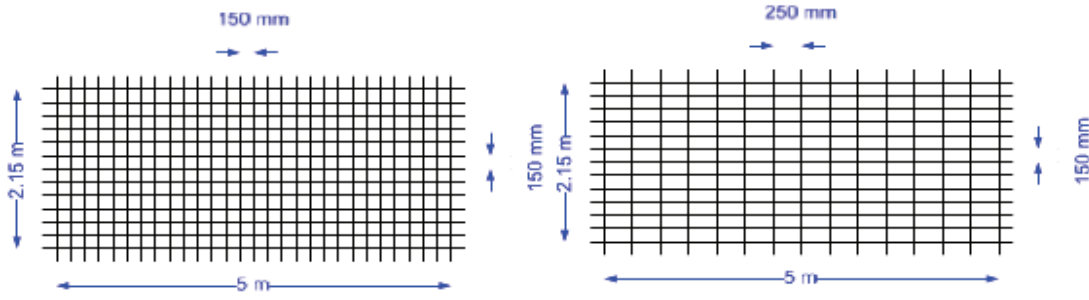
| ÇELİK SINIFLARI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ (TS 708/1996) |          |                                                                   |                                                      |                                         |                |       |
|------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------|-------|
| Çelik Sınıfı                                         |          | Minumum Karakteristik Akma Dayanımı $f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | Minumum Kopma Dayanımı $f_{su}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | Minumum Kopma Uzaması % $\epsilon_{su}$ |                | Yüzey |
|                                                      |          |                                                                   |                                                      | $\phi < 32$ mm                          | $\phi > 32$ mm |       |
| S 220a                                               | BÇI-a    | 220                                                               | 340                                                  | 0.18                                    | 0.18           | D     |
| S 420a                                               | BÇIII-a  | 420                                                               | 500                                                  | 0.12                                    | 0.10           | N,P   |
| S 500a                                               | BÇIV-a   | 500                                                               | 550                                                  | 0.12                                    | 0.10           | N,P   |
| S 420a                                               | BÇI-b    | 420                                                               | 550                                                  | 0.10                                    | 0.10           | N,P   |
| S 500bs                                              | BÇIII-bs | 500                                                               | 550                                                  | 0.08                                    | 0.08           | N,P   |
| S 500bk                                              | BÇIV-bk  | 500                                                               | 550                                                  | 0.05                                    | 0.05           | N,P   |

**Şekil 2.15: Çelik sınıfları**

Hasırlar, çubuk aralıklarına göre iki sınıfa ayrılır;

- **Q hasırları:** Her iki yöndeki çubuk aralıkları eşittir. İki doğrultuda çalışan plak döşemelerin açıklıklarında, perde gövdelerinde kullanılmaları uygundur.
- **R hasırları:** Kısa yöndeki çubuk aralıkları uzun çubuklarından geniştir (15 cm x 25 cm). Tek doğrultuda çalışan döşemelerin açıklıklarında ve döşeme mesnetlerinde kullanılmaları uygundur, ikinci doğrultu donatısı, birincinin

1/5'inden daha büyük düzenlendiği için dağıtma donatısı da hem açıklıkta hem de mesnette kendiliğinden oluşmuş olur (Şekil 2.16).



Şekil 2.16: Q ve R Hasırları

## 2.3 Tünel Kalıp Yapı Sisteminde Taşıyıcı Sistem Bileşenleri

### 2.3 1 Perdeler

Yatay yüklerin taşınmasında etkili olarak kullanılan perdeler, plandaki uzun kenarının kısa kalınlığına oranı en az yedi olan, düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bir yapıda tek başına olabilen perdeler, çerçeve sistemiyle birlikte kullanıldığında, rijitlikleri fazla olduğundan, deprem veya rüzgardan oluşan yatay yüklerin tamamına yakınına karşılarlar. Yüksek yapılarda, yatay yükler etkisinde kat yer değiştirmelerinin sınırlandırılması açısından, perdelerin kullanılması gereklidir. Döşemeler düzlemlerinde çok rijit olduklarından perdelerin rölatif hareketlerini engeller. Perdelerin, yapının güvenliğini sağlaması ve kat yer değiştirmelerini sınırlandırarak yapısal hasarları önlemeleri açısından etkili davrandıkları belirlenmiştir [7].

Yalnız perdelerden oluşan sistemler, kapı pencere gibi mimari plandaki kısıtlamalar nedeniyle, boşluklu perdelerle düzenlenir. Burada perde elemanları kat hizasında açıklık derinlik oranı normal kirişlerden hayli küçük olabilen bağ kirişleriyle birbirine bağlanır. Boşluklu perdeleri birleştiren bağ kirişleri, kontrollü ve izin verilen hasarlarıyla, deprem enerjisinin önemli bir bölümünün yutar. Bu nedenle, dolu perdeli sistemler boşluklu perdeli sistemlerden daha rijit olsa bile, boşluklu perdelerden oluşan sistemler daha sünektir [1].

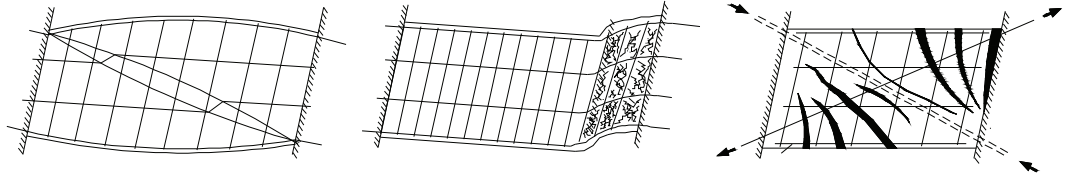
Deprem bölgelerinde süneklik düzeyi yüksek perdeler yapmak uygundur. Bir elemanın veya yapının sünek olması onun deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin oldukça büyük bir kısmını, dönüşümlü deformasyonlar altında, elastik sınırın

ötesinde elastik olmayan davranışları ile mukavemetinden esaslı bir kayba uğramadan yutma kabiliyetidir [4].

### 2.3.2 Bağ kirişleri

Bağ kirişlerinin kısa ve açıklığa göre derin olduğu durumlarda, istenilen sünek davranışın elde edilebilmesi için doğru donatılendirma önemli bir parametredir.

Bu kirişler için yönetmelikte çerçeveler için veriler koşullara göre tasarım yapıldığı taktirde, neredeyse kesin olarak diyagonal basınçtan dolayı göçme meydana gelir (Şekil 2.17). Büyük kesme kuvvetinin karşılanması için çok sık etriye düzenlendiğinde bağ kirişin perdeyle birleştiği kesitlerde betonda basınç kırılması oluşur ve istenen davranış eğrisi elde edilemez (Şekil 2.17). Yönetmeliklerde belirlenen kayma gerilmesi değerinin aşılması halinde, bağ kirişlerinin hem kesme kuvvetini hem de onun oluşturduğu eğilme momentini karşılayacak çapraz donatı demetiyle donatılması istenen sünek davranış için en uygun çözüm olacaktır (Şekil 2.17), [8].



Şekil 2.17 : Bağ kirişlerin kesme dayanımı mekanizmaları

### 2.3.3 Döşemeler

Tünel kalıp sisteminde döşemeler kendilerini çevreleyen perdelere mesnetlenirler. Ancak döşemelerin dört kenarının da perdelere mesnetlenmesi pek mümkün olmaz, çünkü tünel kalıbın çıkarılması için mekânın bir yüzü mutlaka açık olmalıdır. Bu durumda mesnetlenmemiş kenarın üzerine gelecek duvar yükünün karşılanması, bu kenarda oluşabilecek sehim çatlaklarının sınırlandırılması amacıyla döşeme yüksekliğinde, 40 – 60 cm eninde kirişler oluşturulur. Bunlar kirişler gibi donatılırlar ancak döşeme hesaplarında bu kısmın döşemenin bir parçası olduğu kabul edilir, çünkü rijitliği kirişle kıyaslanamayacak kadar küçüktür [9]. Bunların dışında, döşemenin, kalıbın çıktığı doğrultuya dik doğrultuda çalışması istenir. Aksi takdirde elverişli olmayan çözümler söz konusu olabilir.

Kalıp sisteminin inşaat esnasında getirdiği zorunluluklar dolayısıyla döşemelerin tek kenarı mesnetlenemez. Mesnetlenmeyen kenarda kendi yükü ve duvar yükleri altında, kesit ataletlerinin yeterli olmamasından dolayı büyük sehimler oluşabilir. Oluşacak sehim çatlakları kenarlara yerleştirilecek uygun çekme donatılarıyla sınırlandırılmalıdır. Perde döşeme birleşimlerinde yatay yüklerin etkisiyle büyük kesme kuvvetleri oluşur. Bu kuvvetlerin erken kesme göçmelerine neden olmaması için en çok zorlanan bölgelerde döşeme içerisinde etriyelerle sarılarak düzenlenecek yatık kirişler düzenlenmelidir. Tünel kalıp sisteminde döşemenin üç kenarından mesnetli olması plağın genelde tek doğrultuda çalışmasına neden olmaktadır. Genellikle sistem içinde kalınlık tek olması uygulama hızı ve kolaylığı açısından daha uygundur ancak bazı durumlarda aynı kat içinde farklı kalınlıklarda döşemeler de olabilir.

#### **2.3.4 Temeller**

Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen bir yapıda her iki doğrultuda pek çok perde bulunduğu için iki yönde sürekli temel düzenlenmesi gerekir. Ancak bu tarz temellerin yapım ve kalıp bakımından çıkan güçlüklerden dolayı bunun yerine inşası kolay olan plak temeller tercih edilir.

Çok katlı, yapı ağırlığının büyük olduğu ve/veya zeminin taşıma gücünün yetersiz olduğu durumlarda bütün yapının altına tek bir plak temel yapılması uygun olabilir. Plak temeli planda üst yapının biraz dışına taşırarak zemin gerilmelerini düşürmek mümkün olur. Yapılan hesaplamalar sonucunda maksimum zemin gerilmesi, zemin emniyet gerilmesinden büyük çıkarsa ya zemin iyileştirilmesi yapılır ya da yapının ağırlığını azaltmak amacıyla kat adedi düşürülür. Bu tür kirişsiz inşa edilen temellerde, zımbalama önemli bir zorlama olarak ortaya çıkar [10].

Zımbalama hesabının sağlanmaması durumunda kesit yüksekliğini arttırmak ya da beton sınıfını yükseltmek seçeneklerinden ekonomik olanı uygulanır. Belirlenen kesit etkilerine göre bir ya da iki perde altında zımbalama dayanımı az miktarda olmak koşuluyla aşılsa, bu bölgelerde zımbalama donatısı düzenlenebilir [11].

Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapılar çok rijit olduğundan, temelin bağımsız şekil değiştirmesi sınırlanır, rijit üst yapı kendisinde oluşan zorlamalarla, farklı oturmaları azaltır.



### **3. BETONARME PERDELİ YAPILAR İÇİN TDY 2007'DE VERİLEN KURALLAR**

Tünel kalıpla inşa edilen sistemlerde kullanılan perdeler TDY 2007'de süneklik düzeyi yüksek perdeler olarak tanımlanmıştır ve yönetmelikte madde (3.1)'de ilgili koşullar ve sınır değerler ile verilmiştir. Aşağıda bu koşulları ve tanımlamaları inceleyeceğiz.

#### **3.1 Enkesit Koşulları**

Planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı sistem elemanları olarak tanımlanan perdeler boyutlandırılırken herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı  $\sum A_g$ , binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı  $\sum A_p$  ve betonun tasarım çekme dayanımı  $f_{ctd}$  olmak üzere denklem (3.1)'deki koşulların her ikisinin de sağlanması durumunda gövde bölgesindeki perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 200 mm'den az olmayacak şekilde seçilmelidir

$$\sum A_g / \sum A_p \geq 0.002 ; V_t / \sum A_g \leq 0.5 f_{ctd} \quad (3.1)$$

#### **3.2 Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği**

Tünel kalıp sistemlerdeki perdelerin yatay yük taşıma kapasiteleri çok yüksektir. Ancak perdeler boşluklu da olsalar, çerçevelerle birlikte de bulunsalar, konsol kiriş gibi davrandıkları için kritik kesitleri, sadece temelle birleşen kesitler olduğundan süneklikleri sınırlıdır [9]. Mesnetlerde karşımıza çıkan bu bölge, kritik perde yüksekliği olarak tanımlanır.

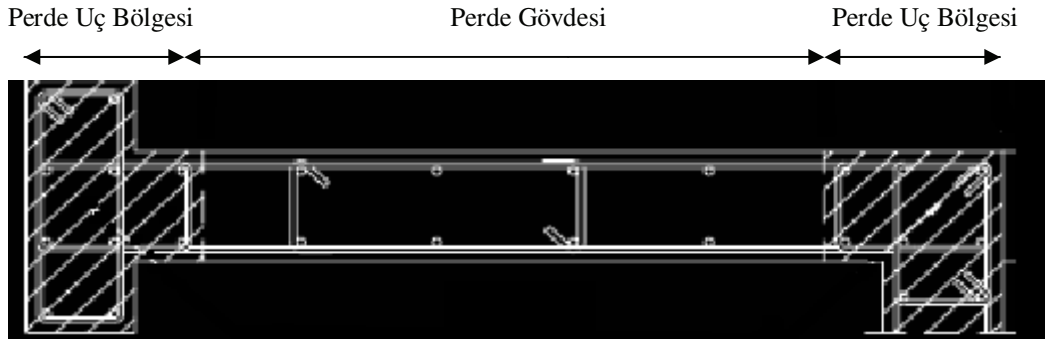
Temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20 den daha fazla küçüldüğü seviyeden itibaren kritik perde yüksekliği,  $2\ell_w$  değerini aşmamak üzere, aşağıda verilen denklem (3.2)'den elverişsiz olanını sağlayacak biçimde belirlenecektir. Burada  $\ell_w$  perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu,  $H_w$  temel

üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği olarak tanımlanır.

$$H_{cr} \geq \ell_w ; \quad H_{cr} \geq H_w / 6 \quad (3.2)$$

Perdelerin eleman olarak burkulmasını önlemek, uç bölgelerinde beton basınç bölgesini büyütmek ve zorlamayı hafifletmek için, özellikle binaların bodrum katlarında ve kritik perde yüksekliği boyunca, perde başlık bölgesi düzenlenmesi uygundur. TDY 2007'nin (3.6.2) maddesine göre  $H_w / \ell_w > 2.0$  olan perdelerin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulacaktır (Şekil 3.1).

Taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan binalar dışında, perde uç bölgelerindeki perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/15'inden ve 200 mm'den az olmayacaktır. Perde uç bölgelerinin, kat yüksekliğinin en az 1/5'ine eşit uzunluktaki elemanlarla yanal doğrultuda tutulduğu durumlarda, uç bölgesindeki perde kalınlığı, yanal doğrultuda tutulan noktalar arasındaki yatay uzunluğun en az 1/20'sine eşit olabilir. Ancak, bu kalınlık kat yüksekliğinin 1/20'sinden veya 300 mm'den az olamaz. Perde uç bölgeleri, perde uç bölgesinin kendi kalınlığı içinde oluşturulabileceği gibi perdeye birleşen diğer bir perdenin içinde de düzenlenebilir.



Şekil 3.1 : Perde uç bölgeleri

### 3.3 Gövde Donatısı Koşulları

Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmayacaktır. Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliğinin perdenin plandaki uzunluğuna oranı ikiye eşit veya küçük olması durumunda perde gövdesi, perdenin tüm kesiti olarak gözönüne alınacaktır. Perde gövdesinde boyuna ve enine donatı aralığı 250 mm'den fazla olmayacaktır.

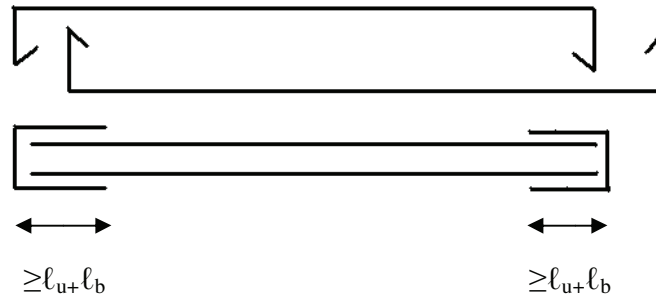
Denklem (3.1) koşullarının her ikisini de sağlandığı deprem kuvvetinin tamamının perdeler tarafından karşılandığı binalarda, en az düşey ve yatay toplam gövde donatısı oranları 0.0015 alınabilir. Ancak donatı aralığı 300 mm'yi geçmemelidir

Özel deprem çirozları, çapı en az yatay donatının çapı kadar olacak şekilde, kritik perde yüksekliğinde perdenin her yüzünde metrekareye 10 adet, kritik perde yüksekliği dışındaki perdelerde ise 4 adet gelecek şekilde perde uç bölgeleri dışında kalan perde yüzlerinde kullanılacaktır.

### 3.3.1 Gövde donatılarının düzenlenmesi

Yatay gövde donatıları etriyelerle sarılı perde uç bölgesinin sonunda aşağıdaki şekillerde kenetlenebilir (Şekil 3.2).

- 90 derece kıvrılarak karşı yüzde köşedeki düşey donatıya 135 derecelik kanca ile
- Perdenin her iki ucuna gövde donatısı ile aynı çapta olan U biçiminde hazırlanan yatay donatılar perde uç bölgesinin iç sınırından itibaren en az kenetlenme boyu kadar uzatılarak



Şekil 3.2 : Yatay gövde donatıları kenetlenme şekilleri

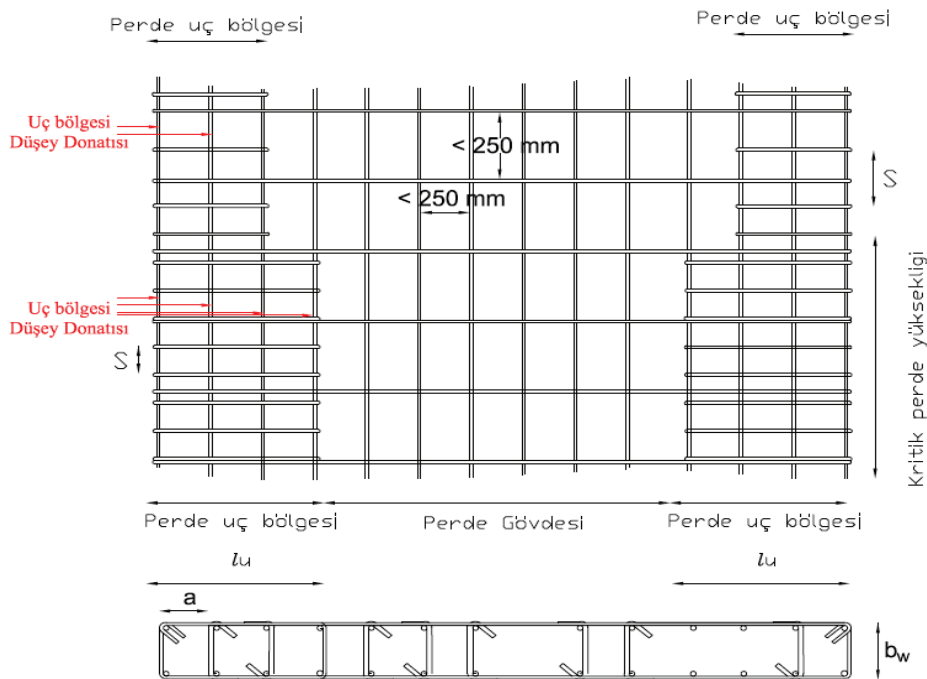
### 3.4 Perde Uç Bölgelerinde Donatı Koşulları

Perde uç bölgelerinde, düşey donatı toplam alanının perde brüt enkesit alanına oranı kritik perde yüksekliği boyunca 0.002'den diğer bölgelerde 0.001'den, donatı miktarı 4Ø14'den az olmayacaktır. Perde uç bölgelerindeki düşey donatılar aşağıda verilen koşulları sağlamalıdır.

- Uç bölgelerinde kullanılacak enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacak ve etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık etriye ve çiroz çapının 20 katından fazla olmayacak şekilde tasarlanacaktır.
- Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için s enine donatı aralığı,  $b_k$  kolonun çekirdek boyutu,  $f_{ck}$  betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı ve  $f_{yk}$  enine donatı karakteristik akma dayanımı olmak üzere denklem (3.3) koşulu ile belirlenen enine donatının en az 2/3'ü konulacaktır. Düşey doğrultuda etriye ve/veya çiroz aralığı perde kalınlığının yarısından ve 100 mm'den daha fazla, 50 mm'den daha az olmayacaktır (Şekil 3.3). Bu donatılar, temelin içinde de en az perde kalınlığının iki katı kadar bir yükseklik boyunca devam ettirilecektir.

$$A_{sh} \geq 0.075 \cdot s \cdot b_k \cdot (f_{ck} / f_{yk}) \quad (3.3)$$

- Kritik perde yüksekliğinin dışında kalan perde uç bölgelerinde düşey doğrultudaki etriye ve/veya çiroz aralığı, perde duvar kalınlığından ve 200 mm'den daha fazla olmayacaktır. Ancak, perde uç bölgelerindeki enine donatının çapı ve aralığı, hiçbir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan az olmayacaktır.



**Şekil 3.3 : Perdede donatı yerleşimi.**

### 3.5 Tasarım Eğilme Momentleri ve Kesme Kuvvetleri

Kritik perde yüksekliği boyunca sabit bir değer olarak  $H_w / \ell_w > 2.0$  koşulunu sağlayan perdelerde tasarıma esas eğilme momentleri, perde tabanında eşdeğer deprem yükü, mod birleştirme yöntemi veya zaman tanım alanında hesap yöntemlerinin birine göre hesaplanan eğilme momentine eşit alınacaktır. Eğer sağlamıyorsa tasarıma esas eğilme momentleri perdelerin bütün kesitlerinde yukarıda bahsedilen hesap yöntemlerinin birine göre hesaplanan eğilme momentlerine eşit alınacaktır. Kritik perde yüksekliğinin sona erdiği kesidin üstünde ise perdenin tabanında ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan doğrusal moment diyagramı uygulanacaktır. Çevresinde rijit perdeler bulunan bodrumlu binalarda sabit perde momenti, kritik perde yüksekliği boyunca gözönüne alınacaktır.

$H_w / \ell_w > 2.0$  olması durumunda, her bir katta perde kesitlerinin taşıma gücü momentlerinin, perdenin güçlü doğrultusundaki kolonlar,  $M_{ra}$ , kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda betonun tasarım basınç dayanımı  $f_{cd}$  ve boyuna donatının tasarım akma dayanımı  $f_{yd}$ 'ye göre hesaplanan,  $M_{ri}$  kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda  $f_{cd}$  ve  $f_{yd}$ 'ye göre hesaplanan,  $M_{ri}$  kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde  $f_{cd}$  ve  $f_{yd}$ 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif ve  $M_{rj}$  kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde  $f_{cd}$  ve  $f_{yd}$ 'ye göre hesaplanan negatif veya pozitif taşıma gücü moment değerlerini ifade etmek üzere denklem (3.4) koşulunu sağlaması zorunludur. Aksi durumda perde boyutları ve/veya donatıları arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

$$(M_{ra}+M_{ri}) \geq 1.2(M_{ri}+M_{rj}) \quad (3.4)$$

### 3.6 Perdelerin Kesme Güvenliği

Perde veya perde parçalarındaki enine donatının hesabı yapılırken  $V_d$ 'nin 1,5 katı esas alınacaktır.  $V_d$  yük kat sayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti olarak tanımlanır ve  $V_d$  denklem (3.5)'te tanımlanan koşulları sağlamalıdır.

$$V_d \leq V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd}) \quad ; \quad V_d \leq 0.22 A_{ch} f_{cd} \quad (3.5)$$

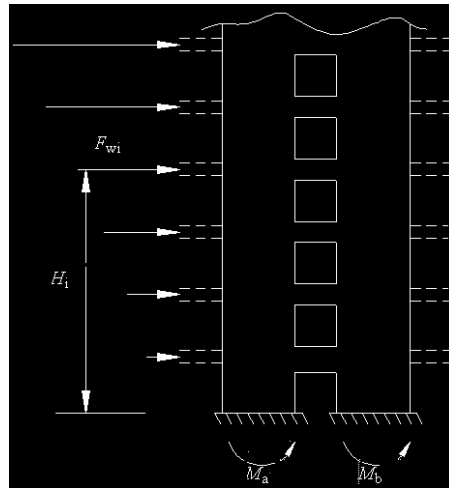
Burada  $V_r$  perde kesitinin kesme dayanımını,  $A_{ch}$  boşluksuz perdenin, bağ kirişli perdede her bir perde parçasının, döşemenin veya boşluklu döşemede her bir döşeme parçasının brüt enkesit alanını,  $f_{ctd}$  betonu tasarım çekme dayanımını,  $\rho_{sh}$  perdede yatay gövde donatılarının hacimsel oranını,  $f_{ywd}$  enine donatının tasarım akma dayanımını ve  $f_{cd}$  ise betonun tasarım basınç dayanımını ifade etmektedir.

Perde elemanlar, inşaat derzlerinde oluşan kesme dayanımı açısından zayıf kesitlerde TS 500’de belirtilen sürtünme kesmesi şartına göre kontrol edilmelidir. Tünel kalıp sistemiyle yapılan binalarda bu kesitler aks betonunun üst kesiti olacaktır. Bu kesitler yeterli sürtünme dayanımının elde edilebilmesi için pürüzlendirilmelidir.

### 3.7 Bağ Kirişli (Boşluklu) Perdelere İlişkin Kural ve Koşullar

Perdeler için yukarıda verilen tüm kural ve koşullar, bağ kirişli perdeleri oluşturan perde parçalarının her biri için de geçerlidir.

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, herhangi bir bağ kirişli perde sistemini oluşturan perde parçalarında deprem yüklerinden oluşan taban momentlerinin toplamı, bağ kirişli perde sisteminde deprem yüklerinden oluşan toplam devrilme momentinin 2/3’ünden fazla olmayacaktır (Şekil 3.4). Bu koşulun sağlanamaması durumunda, bağ kirişli perdeyi oluşturan perde parçalarının her biri boşluksuz perde olarak sayılacak ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R$  değiştirilecektir.



Şekil 3.4 : Bağ kirişli perde sistemi.

Bağ kirişli perdeyi oluşturan perde parçalarının düşey donatı hesabında, düşey yükler ve depremin ortak etkisinde çekmeye çalışan perde parçasındaki eğilme momentinin en fazla %30’unun, basınca çalışan perde parçasına aktarılmasına izin verilebilir.

Bağ kirişlerinin kesme donatısına ilişkin kurallar aşağıda sıralandığı gibidir;

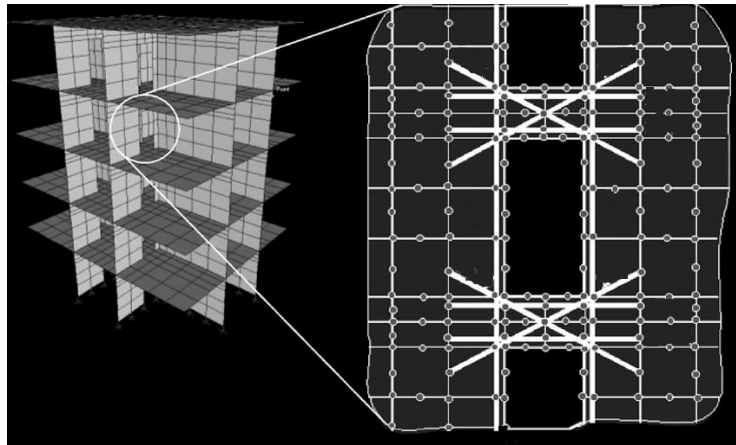
- Aşağıdaki koşulların herhangi birinin sağlanması durumunda, bağ kirişlerinin kesme donatısı hesabı TDY 2007'nin madde (3.4.5)'de kirişlerin kesme güvenliği bölümündeki kurallara göre yapılacaktır.

$$I_n \geq 3 h_k \quad ; \quad V_d \leq 1.5 b_w d f_{ctd} \quad (3.6)$$

- Denklem (3.6) ile verilen koşulların her ikisinin de sağlanamaması durumunda, bağ kirişine konulacak özel kesme donatısı, geçerliliği deneylerle kanıtlanmış yöntemlerle belirlenecek veya bağ kirişindeki kesme kuvvetini ve onun oluşturduğu eğilme momentini karşılamak üzere çapraz donatılar kullanılacaktır (Şekil 3.5). Her bir çapraz donatı demetindeki toplam donatı alanı denklem (3.7) ile belirlenecektir.

$$A_{sd} = V_d / (2 F_{yd} \sin \gamma) \quad (3.7)$$

Çapraz donatı demetlerinde en az dört adet donatı bulunacak ve bu donatılar perde parçalarının içine doğru en az TS-500'de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu  $\ell_b$ 'nin 1.5 katı kadar uzatılacaktır. Donatı demetleri özel deprem etriyeleri ile sarılacak ve kullanılacak etriyelerin çapı 8 mm'den, aralığı ise çapraz donatı çapının 8 katından ve 100 mm'den daha fazla olmayacaktır. Çapraz donatılara ek olarak, bağ kirişine TS-500'de öngörülen minimum miktarda etriye ve yatay donatı konulacaktır (Şekil 3.5).



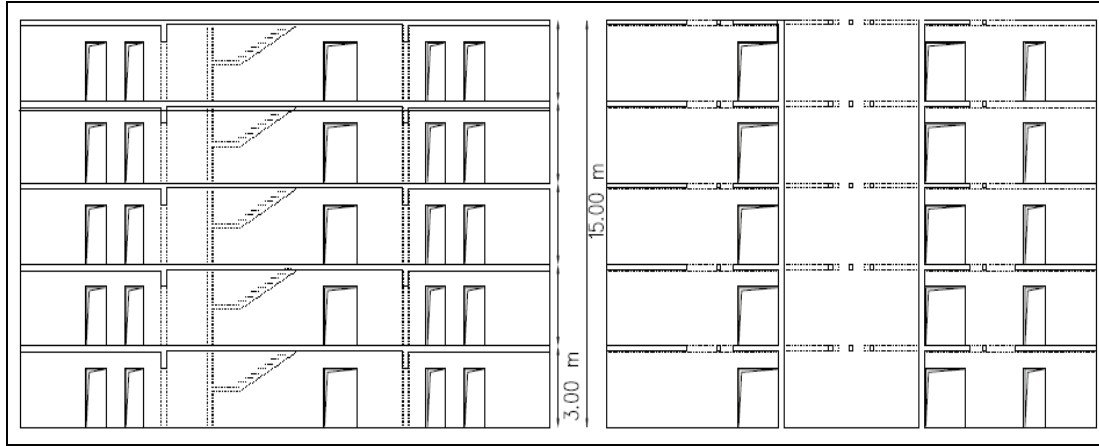
Şekil 3.5 : Bağ kirişlerinde çapraz donatılar [12].



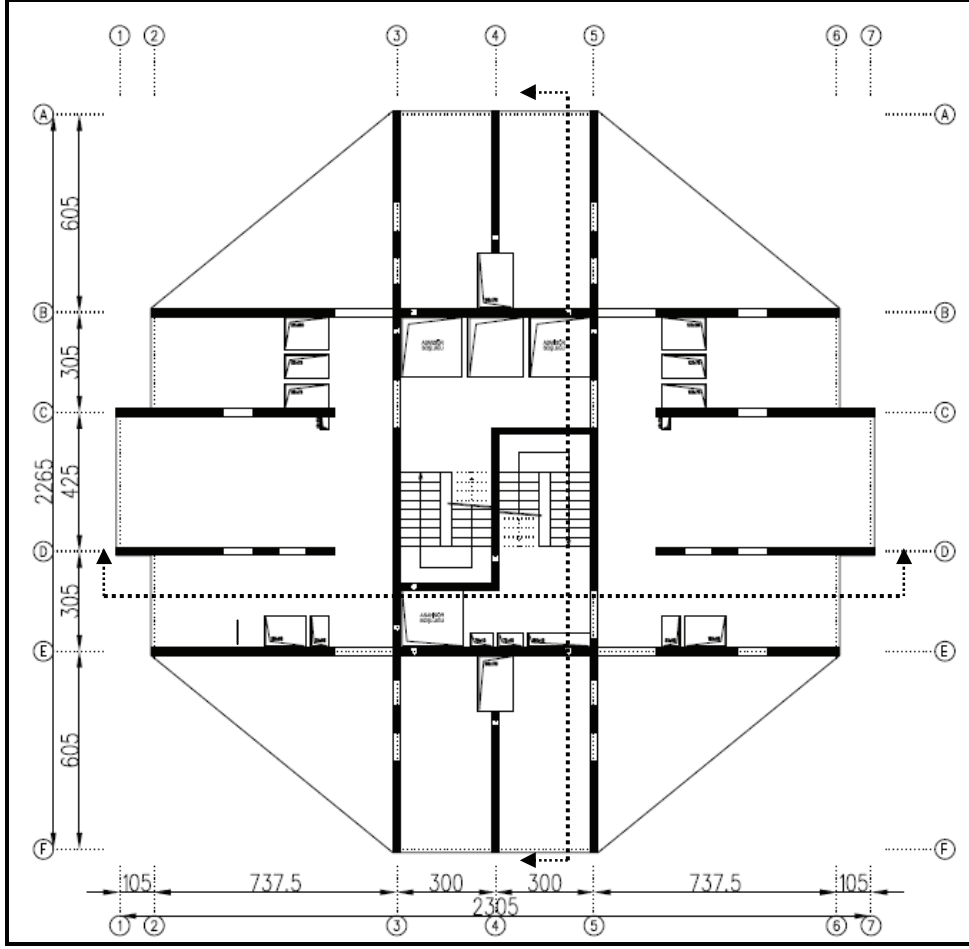


#### 4. ÇALIŞMADA KULLANILAN MODELLERDEKİ KABULLER ve ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada planda sekizgen, iki doğrultuda yakın rijitliğe sahip 5, 10 ve 15 katlı üç ayrı tünel kalıp yapı incelenmiştir. Planda yapımızın boyutları 23.05 m x 22.65 m dir. Yapıların kat yükseklikleri 3.00 metredir ve her kat planı aynıdır. Aşağıda 5 katlı yapı için kesit ve plan verilmiştir (Şekil 4.1), (Şekil 4.2). 5, 10 ve 15 katlı yapılar içinde planlar aynıdır kesitte ise sadece kat adetleri artmaktadır. Bu yapıların farklı deprem bölgelerine ve zemin sınıflarına göre, boyutlandırılması, TDY 2007 ve TS 500 standartlarını baz alarak gerekli kontrolleri yapılmıştır. Bu kontroller, planda ve düşeyde olan düzensizlikler, deplasman kontrolleri ve eleman rijitliklerinin belirlenmesi durumlarıdır.



Şekil 4.1 : Yapı kesitleri



Şekil 4.2 : Yapı Planı

#### 4.1 Perde Kalınlıklarının Belirlenmesi

Taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan binalarda, denklem (4.1) ile verilen koşulun sağlanması durumunda perde kalınlığı, binadaki en yüksek kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 150 mm'den az olmayacaktır [5]. İncelenen bina planı için bu koşullar kıstas alınarak farklı bina yükseklikleri için perde kalınlıkları aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Denklem (4.1)'de verilen koşulda  $\sum A_g$  herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamını ifade ederken  $\sum A_p$  binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamını ifade etmektedir.

$$\sum A_g / \sum A_p > 0.002 \quad (4.1)$$

5 katlı bina x yönü ve y yönü için perde kalınlıkları;

$$b_w \geq (0.002 \cdot 395.4 \cdot 5) / 3 \cdot 16 = 0.083 \text{ m} \quad b_w \geq (0.002 \cdot 395.4 \cdot 5) / 3 \cdot 12 = 0.1098 \text{ m}$$

Minumum koşulları sağlayacak şekilde  $b_w = 15 \text{ cm}$  olmalıdır.

10 katlı binalarda x ve y yönü için benzer şekilde;

$$b_w \geq (0.002 \cdot 395.4 \cdot 10) / 3 \cdot 16 = 0.166 \text{ m} \quad b_w \geq (0.002 \cdot 395.4 \cdot 10) / 3 \cdot 12 = 0.219 \text{ m}$$

Minumum koşulları sağlayacak şekilde  $b_w = 25 \text{ cm}$  olmalıdır.

15 katlı binalarda x ve y yönü için benzer şekilde;

$$b_w \geq (0.002 \cdot 395.4 \cdot 15) / 3 \cdot 16 = 0.249 \text{ m} \quad b_w \geq (0.002 \cdot 395.4 \cdot 15) / 3 \cdot 12 = 0.33 \text{ m}$$

Minumum koşulları sağlayacak şekilde  $b_w = 35 \text{ cm}$  olmalıdır.

Minumum koşulları sağlamak için 15 katlı modellerde perde genişliği 35 cm ve 10 katlı modellerde perde genişliği 25 cm seçilmelidir. Fakat döşemelerin ve bu tür yapılarda kullanılan prefabrik beton dış panellerin rijitlikleri de göz önüne alınarak 5, 10 ve 15 katlı binalar için her iki doğrultuda da perde kalınlıkları çizelge 4.1’de verildiği gibi belirlenmiştir.

**Çizelge 4.1:** Seçilen perde kesit kalınlıkları

| Kat sayısı<br>(Bina yüksekliği) | 5 kat<br>(15m) | 10 kat<br>(30m) | 15 kat<br>(45m) |
|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| $b_w$ (cm)                      | 15             | 20              | 25              |

#### **Döşeme kalınlığının seçilmesi**

TS500’deki, açıklıklara göre asgari kalınlık şartlarını sağlayacak şekilde, örnek konut planının döşeme kalınlıkları seçilmiştir.

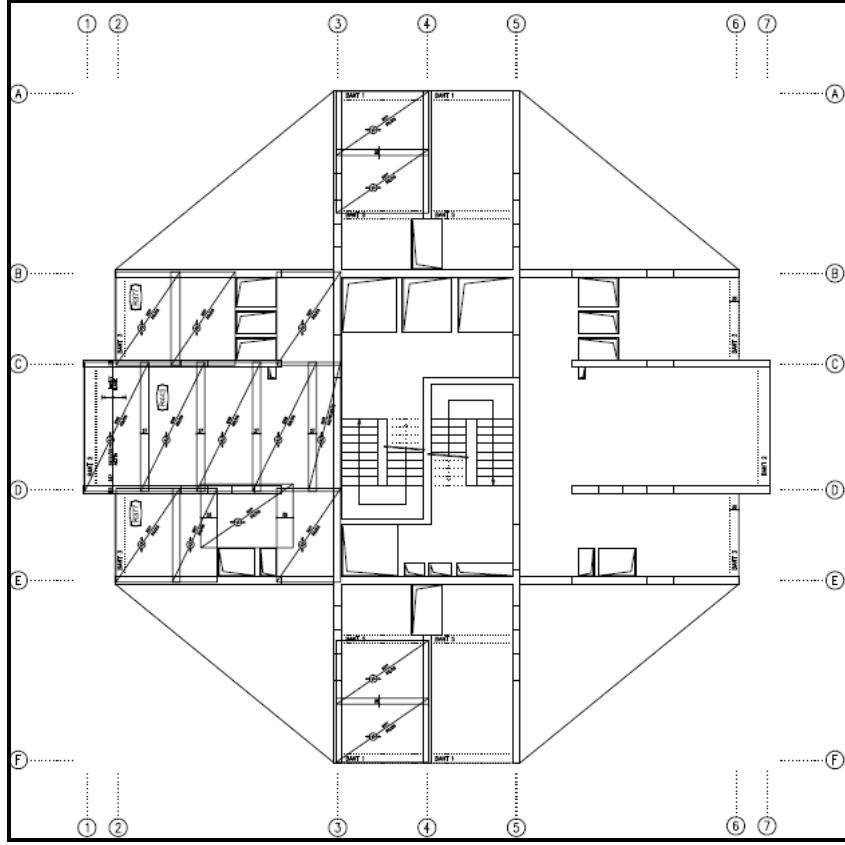
Bir doğrultuda çalışan plaklar için en küçük kalınlık 80mm’dir. Ayrıca plak kalınlığının serbest açıklığa oranı aşağıda verilen değerlerden az olamaz [11].

- Basit mesnetli tek açıklıklı döşemelerde; 1/25
- Sürekli döşemelerde; 1/30
- Konsol döşemelerde; 1/12

Çift doğrultuda çalışan kirişli plaklarda ise ayrıca aşağıdaki denklemdeki koşula uymak zorunludur. Döşemenin kısa doğrultudaki serbest açıklığını  $\ell_{sn}$ , uzun kenarının kısa kenarına oranını  $m$  ve döşeme sürekli kenar uzunlukları toplamının kenar uzunlukları toplamına oranını  $\alpha_s$  olarak ifade edersek denklem (4.2) ile döşeme kalınlıklarını hesaplayabiliriz.

$$h \geq \ell_{sn} / [(15+20 / m)] [1-(\alpha_s/4)] \quad h > 100 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Yapılarda döşeme plak kalınlığı olarak merdivenler de 15cm, geri kalan tüm döşemeleri 18 cm yapmak uygundur. Döşeme planı şekil (4.3)'de verilmiştir.



**Şekil 4.3 : Yapı döşeme planı**

## 4.2 Deprem Parametreleri ve Diğer Kabuller

### 4.2.1 Elastik deprem yüklerinin tanımlanması

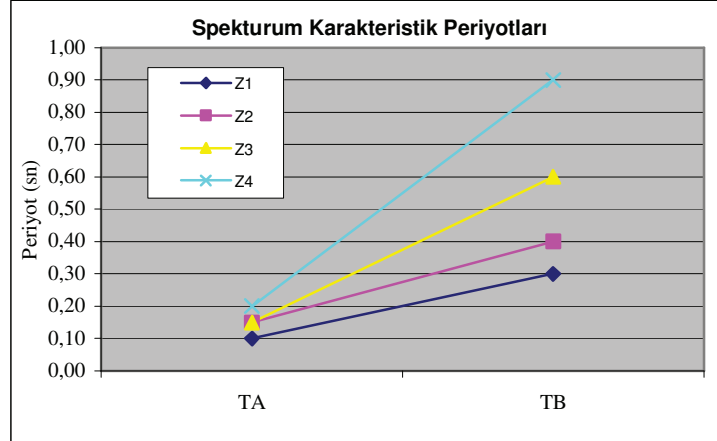
Bu bölümde deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak parametrelere değinilecek ve TDY 2007'den yapılarımız için kullanılacak değerler seçilecektir. Eğer spektral ivme katsayısını  $A(T)$ , %5 sönüm oranı için tanımlanan elastik ivme spektrumunun ordinatı elastik spektral ivme  $S_{ac}(T)$  ve yerçekimi ivmesi  $g$  olarak tanımlanırsa  $S_{ac}(T)$  ve  $A(T)$  değerleri denklem (4.3)'de verildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} A(T) &= A_0 \cdot I \cdot S(T) \\ S_{ac}(T) &= A(T) \cdot g \end{aligned} \quad (4.3)$$

- Etkin yer ivmesi katsayısı  $A_0$  deprem bölgelerine göre farklı değerler almaktadır. Yapılarımız için TDY 2007’den  $A_0$  değerleri 1, 2, 3, ve 4.derece deprem bölgelerinde sırası ile 0.40, 0.30, 0.20 ve 0.10 değerleri alınarak kullanılır.
- Bina önem katsayısı TDY 2007’de I ile gösterilir ve incelenen üç ayrı kat yüksekliğine ait yapıların hepsinin konut yapısı olmasından dolayı modellerimizde 1.0 olarak alınmıştır.
- Spektrum katsayısı  $S(T)$  denklem (4.4) ile yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu  $T$ ’ye bağlı olarak hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1.5 (T/T_A) & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S(T) &= 2.5 & (T_A < T < T_B) \\
 S(T) &= 2.5 (T_B / T)^{0.8} & (T_B < T)
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

Spektrum karakteristik periyotları,  $T_A$  ve  $T_B$ , yerel zemin sınıflarına bağlı olarak verilmiştir (Şekil 4.1).



**Şekil: 4.1** Spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$ ,  $T_B$ )

- Özel tasarım ivme spektrumları bu çalışmada belirlenen ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları  $S(T)$ , tüm periyotlar için, yukardaki şekil 4.1’deki ilgili karakteristik periyotlar gözönüne alınarak denklem (4.3)’den bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır [5].

#### 4.2.2 Elastik deprem yüklerinin azaltılması

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, çeşitli taşıyıcı sistemler için tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı,  $R_a(T)$ ,  $R'$ 'ye ve doğal titreşim periyodu  $T$ 'ye bağlı olarak denklem (4.5) ile belirlenecek olan deprem yükü azaltma katsayısına bölünecektir. .

$$\begin{aligned} R_a(T) &= 1.5 + (R-1.5) T / T_A & (0 \leq T \leq T_A) \\ R_a(T) &= R & (T_A < T) \end{aligned} \quad (4.5)$$

Deprem yükü azaltma katsayısına ulaşmamız için gerekli olan taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R$ , deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı yüksek sünek yapılarda TDY 2007 tablo 2.5 kullanılarak  $R=6$  seçilmiştir

Deprem yüklemeleri için TDY 2007'den alınan spektrum grafikleri,  $S(T)/R_a(T)$ 'ye dönüştürülerek periyot ve  $S(T)/R_a(T)$  olarak Etaps bilgisayar modeline tanıtımı değişen zemin koşullarına ve deprem bölgelerine göre yapılmıştır.

#### 4.2.3 Yapılara ait $C=A(T_1)/R_a(T_1)$ katsayılarının gösterimi

İki yönde yakın rijitliğe sahip binanın 5, 10, 15 katlı modellerinin Z1, Z2, Z3, Z4 zemin sınıflarında ve 1, 2, 3, 4.derece deprem bölgelerindeki  $C=A(T_1)/R_a(T_1)$  katsayılarının değerleri bilgisayar programından hesaplanmış ve aşağıda sunulmuştur.

**Çizelge: 4.2 5 Katlı yapının C katsayıları**

| Zemin Sınıfı | Deprem Bölgesi |        |          |        |          |        |          |        |
|--------------|----------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|              | 1.Derece       |        | 2.Derece |        | 3.Derece |        | 4.Derece |        |
|              | X              | y      | x        | y      | x        | y      | x        | Y      |
| <b>Z1</b>    | 0.1429         | 0.1429 | 0.1071   | 0.1071 | 0.0714   | 0.0714 | 0.0357   | 0.0357 |
| <b>Z2</b>    | 0.1429         | 0.1429 | 0.1071   | 0.1071 | 0.0714   | 0.0714 | 0.0357   | 0.0357 |
| <b>Z3</b>    | 0.1429         | 0.1429 | 0.1071   | 0.1071 | 0.0714   | 0.0714 | 0.0357   | 0.0357 |
| <b>Z4</b>    | 0.1467         | 0.1429 | 0.1104   | 0.1071 | 0.0726   | 0.0714 | 0.0036   | 0.0357 |

5 katlı binalar için hesaplanan  $C$  katsayısının, beklendiği gibi, tüm zemin sınıflarında 1.dereceden 4.derece deprem bölgesine geçildikçe azaldığı görülmektedir (Çizelge 4.2). 10 katlı yapılarımızdaki  $C$  katsayısı değerlerine baktığımızda  $x$  ve  $y$

yönüne göre farklar görülmeye başlamıştır. Ancak Z4 ve Z3 zemin sınıflarından bu değerlerine eşittir (Çizelge 4.3).

**Çizelge: 4.3** 10 Katlı yapının C katsayıları

| Zemin Sınıfı | Deprem Bölgesi |        |          |        |          |        |          |        |
|--------------|----------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|              | 1.Derece       |        | 2.Derece |        | 3.Derece |        | 4.Derece |        |
|              | x              | Y      | x        | y      | x        | y      | x        | y      |
| <b>Z1</b>    | 0.1157         | 0.0957 | 0.0857   | 0.0714 | 0.0571   | 0.0486 | 0.0286   | 0.0243 |
| <b>Z2</b>    | 0.1429         | 0.1214 | 0.1071   | 0.0900 | 0.0714   | 0.0600 | 0.0357   | 0.0300 |
| <b>Z3</b>    | 0.1429         | 0.1429 | 0.1071   | 0.1071 | 0.0714   | 0.0714 | 0.0357   | 0.0357 |
| <b>Z4</b>    | 0.1429         | 0.1429 | 0.1071   | 0.1071 | 0.0714   | 0.0714 | 0.0357   | 0.0357 |

10 ve 15 katlı binanın hakim periyodu Z3 ve Z4 zeminlerine ait spektrum eğrisinde zemin hakim periyodlarının arasında kaldığından katsayı bu zeminler için değişmemiştir. 1. derece deprem bölgesinden 4. derece deprem bölgesine geçildikçe,  $A_0$  katsayısına bağlı olarak taban kesme kuvveti katsayılarında azalma meydana gelmektedir.

**Çizelge: 4.4** 15 Katlı yapının C Katsayıları

| Zemin Sınıfı | Deprem Bölgesi |        |          |        |          |        |          |        |
|--------------|----------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|              | 1.Derece       |        | 2.Derece |        | 3.Derece |        | 4.Derece |        |
|              | X              | Y      | x        | y      | x        | y      | x        | y      |
| <b>Z1</b>    | 0.0786         | 0.0657 | 0.0586   | 0.0500 | 0.0400   | 0.0329 | 0.0200   | 0.0171 |
| <b>Z2</b>    | 0.1000         | 0.0829 | 0.0743   | 0.0629 | 0.0500   | 0.0414 | 0.0243   | 0.0214 |
| <b>Z3</b>    | 0.1371         | 0.1157 | 0.1029   | 0.0871 | 0.0686   | 0.0571 | 0.0343   | 0.0286 |
| <b>Z4</b>    | 0.1429         | 0.1429 | 0.1071   | 0.1071 | 0.0714   | 0.0714 | 0.0357   | 0.0357 |

15 katlı binalar için hesaplanan C katsayısının, beklendiği gibi, zemin cinsi Z1'den Z4'e değiştikçe arttığı görülmektedir (Çizelge 4.4).

### Yapılara Ait Malzeme Özelliklerinin Gösterimi

5, 10 ve 15 katlı tüm modeller için aynı malzeme kabulleri yapılmıştır. TS 500' de verilen beton sınıflarından C 25 betonun özellikleri, çelik sınıfında ise S500 ve S 420 donatı çeliklerinin özellikleri yapılan hesaplarda kullanılmıştır.

## 4.3 Yük Analizi ve Yük Kombinasyonları

### 4.3.1 Düşey yükler

#### 4.3.1.1 Ölü yük analizi(DL)

TS 498'den yararlanılarak yapılarda düşünülen ölü yüklere karar verilerek aşağıdaki çizelge 4.5'deki gibi yük analizi yapılmıştır. Kabul edilen bu değerlerden sonra,

yapılan ön çalışmalar ve oluşturulan Etabs bilgisayar programındaki modellere, bu yük analizi, gerekli durumlarda alan yükü ve tekil kuvvet olarak etkitilmiştir.

**Çizelge 4.5:** Düşey Kaplama Yükleri

| Yük tipleri         | Yük değerleri (t/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|-----------------------------------|
| Tesviye             | $0.05 \times 2.2 = 0.11$          |
| Kaplama             | $0.01 \times 2.0 = 0.22$          |
| Sıva                | $0.02 \times 2.0 = 0.04$          |
| Elektrik Tesisat    | 0.03                              |
| Toplam:             | 0.40                              |
| Giydirme cephe (DL) | 0.08                              |
| Asansör Yüğü (DL)   | 0.50 (Her biri için)              |

#### 4.3.1.2 Hareketli yük analizi(LL)

TS 498'den yararlanılarak yapılarda etkitilecek hareketli yüklere karar verilerek aşağıdaki çizelge 4.6'deki gibi yük analizi yapılmıştır

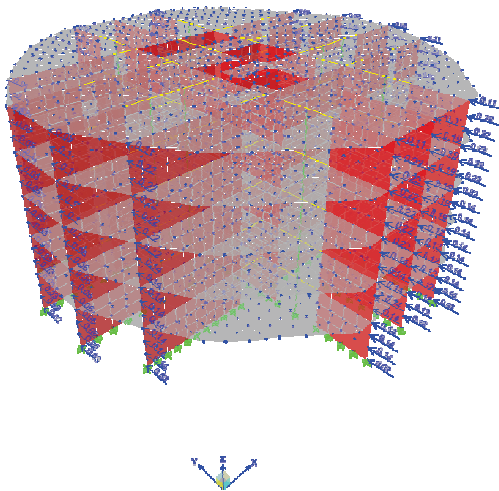
**Çizelge 4.6:** Hareketli yükler (LL)

| Hareketli Yük (LL)               | Yük değerleri (t/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Tüm yapıdaki hareketli yük :     | 0,20 (TS 498)                     |
| Asansörlerdeki hareketli yükler: | 0,50                              |

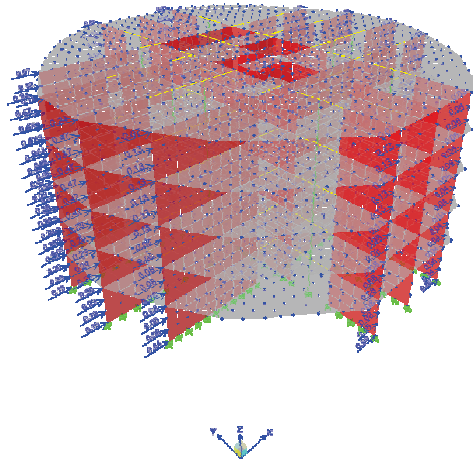
#### 4.3.2 Hesaplarda kullanılan yatay yüklemeler

##### 4.3.2.1 Rüzgar yükü analizi (WL)

Ülkemizde TS 498'e göre belirlenen rüzgar yükü hesabı 5, 10 ve 15 katlı yapılarımıza yükseklikleri ile uygulaması aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.8, 4.9, 4.10).



**Şekil 4.1:** Rüzgar yükü x yönü (WL+X)



**Şekil 4.2:** Rüzgar yükü y yönü (WL+Y)



TS 498'e göre hesaplanan yükler bilgisayar programına rüzgar yüklemesi olarak tanıtılmış olup emme ve basınca göre tatbik edilmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2).

**Çizelge 4.8: Rüzgar yükü (0-15 m)**

| Zeminden Yükseklik | Rüzgar Hızı (m/s) | Wq Rüzgar Basıncı(t/m <sup>2</sup> ) | İtme Katsayısı (TS 498) | Emme Katsayısı |
|--------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| 0-8 m              | 28                | 0.05                                 | 0.8*q                   | 0.4*q          |
| 9-15 m             | 36                | 0.08                                 | 0.8*q                   | 0.4*q          |

**Çizelge 4.9: Rüzgar yükü (0-30 m)**

| Zeminden Yükseklik | Rüzgar Hızı (m/s) | Wq Rüzgar Basıncı(t/m <sup>2</sup> ) | İtme Katsayısı (TS 498) | Emme Katsayısı |
|--------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| 0-8 m              | 28                | 0.05                                 | 0.8*q                   | 0.4*q          |
| 9-20 m             | 36                | 0.08                                 | 0.8*q                   | 0.4*q          |
| 21-30 m            | 43                | 0.11                                 | 0.8*q                   | 0.4*q          |

**Çizelge 4.10: Rüzgar yükü (0-45 m)**

| Zeminden Yükseklik | Rüzgar Hızı (m/s) | Wq Rüzgar Basıncı(t/m <sup>2</sup> ) | İtme Katsayısı (TS 498) | Emme Katsayısı |
|--------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| 0-8 m              | 28                | 0.05                                 | 0.8*q                   | 0.4*q          |
| 9-20 m             | 36                | 0.08                                 | 0.8*q                   | 0.4*q          |
| 21-45 m            | 43                | 0.11                                 | 0.8*q                   | 0.4*q          |

#### 4.4.2.2 Deprem yükü analizi

##### Hesap yönteminin seçilmesi

Bu çalışmadaki bina modellerinin deprem hesabında kullanılacak yöntemlerin seçilmesinde ilk olarak; TDY 2007'de verilen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır. Etabs bilgisayar programında oluşturulan modellerin çözülmesi sonucunda, A1 burulma düzensizliği yapıların tamamında mevcut olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle, TDY 2007'nin gereği olarak modal analizdeki  $\beta$  katsayısını 0,90 seçilerek, modal analiz ile yapıların boyutlandırılmasına ve düzensizlikler ve ikinci mertebe etkilerin kontrollerini yapmak içinde eşdeğer deprem yükü yöntemi ile çözüme gidilmiştir.

##### Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulama Sınırları

TDY 2007'de verilen eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar çizelge 4.11'de özetlenmiştir. Bu kapsama girmeyen binaların deprem hesabında, mod birleştirme yöntemi veya zaman tanım aralığında hesap yöntemleri kullanılacaktır. Fakat, bu çalışmada zaman tanım aralığında hesap yöntemi kullanılmamıştır.

**Çizelge 4.11:** Eşdeğer deprem yükü yöntemi'nin uygulanabileceği binalar

| Deprem Bölgesi | Bina Türü                                                                                                                                         | Toplam Yükseklik Sınırı |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1, 2           | Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar                                                   | $H_N \leq 25$ m         |
| 1, 2           | Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca <b>B2</b> türü düzensizliğinin olmadığı binalar | $H_N \leq 40$ m         |
| 3, 4           | Tüm binalar                                                                                                                                       | $H_N \leq 40$ m         |

### Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Düzensizliklerin ve İkinci Mertebe Kontrolleri yapmak üzere hesapları TDY 2007'de belirtildiği üzere eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Binaların hakim periodunun ( $T_1$ ) belirlenmesinde yine yönetmeliğinin önerdiği denklem (4.6) kullanılmıştır.

$$T_1 = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (4.6)$$

Burada  $m_i$  binanın  $i$ 'inci katının kütlesi,  $d_{fi}$  binanın  $i$ 'inci katında  $F_{fi}$  fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme ve  $F_{fi}$  birinci doğal titreşim periyodunun hesabında  $i$ 'inci kata etkiyen fiktif yük olarak ifade edilir [4].

Binaların dinamik davranışlarının anlaşılmasında TDY 2007'de verilen formülleri karşılaştırmak amacıyla Etabs bilgisayar programı ile bina modellerinin periyodları hesaplanmıştır. Programda kat kütlelerinin kat hizasında olduğu ve bir noktada toplandığı varsayımı kullanılmıştır. 5 katlı modellerde 15 mod, 10 katlı modellerde 30 mod ve 15 katlı modellerde 45 mod gözönüne alınmış olup kriter olarak kütle katılım oranı dikkate alınmıştır.

**Çizelge 4.12:** 5 Katlı yapıda 1.der.dep böl. ve Z1 zemin sınıfında periyod değerleri

| Mod | Periyod | Top.UX | Top.UY | Top.UZ | Top.RX | Top.RY | Top.RZ |
|-----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1   | 0.318   | 0.02   | 1.72   | 0      | 2.30   | 0.02   | 77.10  |
| 2   | 0.220   | 0.06   | 77.22  | 0      | 99.61  | 0.08   | 79.12  |
| 3   | 0.175   | 78.53  | 77.26  | 0      | 99.65  | 99.80  | 79.17  |
| 4   | 0.096   | 78.53  | 77.54  | 0      | 99.70  | 99.81  | 94.30  |
| 5   | 0.064   | 78.53  | 93.61  | 0      | 99.86  | 99.81  | 94.43  |
| 6   | 0.053   | 93.69  | 93.61  | 0      | 99.86  | 99.87  | 94.55  |
| 7   | 0.052   | 94.08  | 93.68  | 0      | 99.86  | 99.87  | 98.38  |
| 8   | 0.037   | 94.08  | 93.68  | 0      | 99.86  | 99.87  | 99.70  |
| 9   | 0.033   | 94.08  | 98.19  | 0      | 99.99  | 99.87  | 99.70  |
| 10  | 0.031   | 94.08  | 98.19  | 0      | 99.99  | 99.87  | 99.99  |
| 11  | 0.028   | 98.29  | 98.19  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 12  | 0.024   | 98.29  | 99.63  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 13  | 0.020   | 99.65  | 99.63  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 14  | 0.019   | 99.65  | 99.94  | 0      | 100    | 99.99  | 99.99  |
| 15  | 0.017   | 99.93  | 99.94  | 0      | 100    | 99.99  | 99.99  |

**Çizelge 4.13:** 10 Katlı yapıda 1.der. dep. böl. ve Z1 zemin sınıfında periyod değerleri

| Mod | Periyod | Top.UX | Top.UY | Top.UZ | Top.RX | Top.RY | Top.RZ |
|-----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1   | 0.688   | 0.04   | 3.41   | 0      | 4.74   | 0.06   | 70.90  |
| 2   | 0.493   | 0.19   | 73.44  | 0      | 99.45  | 0.26   | 74.65  |
| 3   | 0.392   | 73.82  | 73.55  | 0      | 99.59  | 99.65  | 74.76  |
| 4   | 0.199   | 73.84  | 74.07  | 0      | 99.64  | 99.66  | 89.57  |
| 5   | 0.140   | 73.85  | 88.77  | 0      | 99.77  | 99.66  | 89.97  |
| 6   | 0.112   | 89.56  | 88.78  | 0      | 99.76  | 99.81  | 90.00  |
| 7   | 0.101   | 89.58  | 88.92  | 0      | 99.78  | 99.81  | 94.94  |
| 8   | 0.069   | 89.59  | 94.09  | 0      | 99.96  | 99.81  | 95.14  |
| 9   | 0.067   | 89.59  | 94.35  | 0      | 99.97  | 99.81  | 97.34  |
| 10  | 0.056   | 94.74  | 94.35  | 0      | 99.97  | 99.97  | 97.34  |
| 11  | 0.050   | 94.74  | 94.35  | 0      | 99.97  | 99.97  | 98.59  |
| 12  | 0.044   | 94.74  | 97.02  | 0      | 99.98  | 99.97  | 98.59  |
| 13  | 0.040   | 94.74  | 97.02  | 0      | 99.98  | 99.97  | 99.29  |
| 14  | 0.037   | 97.22  | 97.02  | 0      | 99.98  | 99.98  | 99.29  |
| 15  | 0.034   | 97.22  | 97.02  | 0      | 99.98  | 99.98  | 99.68  |
| 16  | 0.032   | 97.22  | 98.43  | 0      | 99.99  | 99.98  | 99.68  |
| 17  | 0.030   | 97.22  | 98.43  | 0      | 99.99  | 99.98  | 99.88  |
| 18  | 0.028   | 97.22  | 98.43  | 0      | 99.99  | 99.98  | 99.97  |
| 19  | 0.027   | 98.54  | 98.43  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.97  |
| 20  | 0.027   | 98.54  | 98.43  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 21  | 0.026   | 98.54  | 99.22  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 22  | 0.022   | 99.25  | 99.22  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 23  | 0.022   | 99.26  | 99.64  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 24  | 0.019   | 99.26  | 99.86  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 25  | 0.018   | 99.66  | 99.86  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 26  | 0.018   | 99.66  | 99.95  | 0      | 100    | 99.99  | 99.99  |
| 27  | 0.017   | 99.66  | 99.97  | 0      | 100    | 99.99  | 99.99  |
| 28  | 0.016   | 99.86  | 99.97  | 0      | 100    | 99.99  | 99.99  |
| 29  | 0.015   | 99.95  | 99.97  | 0      | 100    | 100    | 99.99  |

**Çizelge 4.14:** 15 Katlı yapı 1.der. dep. böl. ve Z1 zemin sınıfında periyod değerleri

| Mod | Periyod | Top.UX | Top.UY | Top.UZ | Top.RX | Top.RY | Top.RZ |
|-----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1   | 1.067   | 0.05   | 4.46   | 0      | 6.22   | 0.062  | 68.79  |
| 2   | 0.782   | 0.22   | 72.41  | 0      | 99.45  | 0.301  | 73.53  |
| 3   | 0.629   | 72.86  | 72.54  | 0      | 99.61  | 99.58  | 73.64  |
| 4   | 0.308   | 72.20  | 73.22  | 0      | 99.64  | 99.59  | 87.56  |
| 5   | 0.223   | 72.22  | 87.23  | 0      | 99.76  | 99.59  | 88.18  |
| 6   | 0.177   | 87.86  | 87.24  | 0      | 99.76  | 99.80  | 88.21  |
| 7   | 0.155   | 87.88  | 87.45  | 0      | 99.76  | 99.80  | 93.20  |
| 8   | 0.110   | 87.88  | 92.47  | 0      | 99.95  | 99.80  | 93.40  |
| 9   | 0.100   | 87.88  | 92.62  | 0      | 99.96  | 99.80  | 95.86  |
| 10  | 0.087   | 93.09  | 92.62  | 0      | 99.96  | 99.97  | 95.86  |
| 11  | 0.073   | 93.09  | 92.64  | 0      | 99.96  | 99.97  | 97.35  |
| 12  | 0.070   | 93.09  | 95.40  | 0      | 99.97  | 99.97  | 97.35  |
| 13  | 0.057   | 93.09  | 95.40  | 0      | 99.97  | 99.97  | 98.27  |
| 14  | 0.056   | 95.73  | 95.40  | 0      | 99.97  | 99.98  | 98.27  |
| 15  | 0.049   | 95.73  | 97.04  | 0      | 99.99  | 99.98  | 98.27  |
| 16  | 0.047   | 95.73  | 97.04  | 0      | 99.99  | 99.98  | 98.86  |
| 17  | 0.040   | 97.25  | 97.04  | 0      | 99.99  | 99.99  | 98.87  |
| 18  | 0.040   | 97.26  | 97.04  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.26  |
| 19  | 0.038   | 97.26  | 98.07  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.27  |
| 20  | 0.035   | 97.26  | 98.08  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.54  |
| 21  | 0.032   | 97.26  | 98.08  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.72  |
| 22  | 0.031   | 98.21  | 98.08  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.72  |
| 23  | 0.031   | 98.21  | 98.75  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.72  |
| 24  | 0.029   | 98.21  | 98.75  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.85  |
| 25  | 0.027   | 98.21  | 98.75  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.92  |
| 26  | 0.026   | 98.21  | 99.20  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.93  |
| 27  | 0.026   | 98.84  | 99.20  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.93  |
| 28  | 0.026   | 98.84  | 99.20  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.97  |
| 29  | 0.025   | 98.84  | 99.20  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 30  | 0.024   | 98.84  | 99.20  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 31  | 0.023   | 98.84  | 99.50  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 32  | 0.022   | 99.26  | 99.50  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 33  | 0.020   | 99.26  | 99.70  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 34  | 0.019   | 99.54  | 99.70  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 35  | 0.018   | 99.54  | 99.83  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 36  | 0.017   | 99.72  | 99.89  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 37  | 0.017   | 99.72  | 99.91  | 0      | 99.99  | 99.99  | 99.99  |
| 38  | 0.016   | 99.72  | 99.95  | 0      | 100    | 99.99  | 99.98  |
| 39  | 0.016   | 99.85  | 99.95  | 0      | 100    | 99.99  | 99.98  |
| 40  | 0.016   | 99.85  | 99.97  | 0      | 100    | 99.99  | 99.98  |
| 41  | 0.015   | 99.85  | 999.82 | 0      | 100    | 99.99  | 99.98  |
| 42  | 0.015   | 99.21  | 999.82 | 0      | 100    | 99.99  | 99.98  |
| 43  | 0.014   | 99.96  | 999.82 | 0      | 100    | 100    | 99.98  |
| 44  | 0.013   | 99.97  | 99.98  | 0      | 100    | 100    | 99.98  |
| 45  | 0.013   | 99.97  | 99.98  | 0      | 100    | 100    | 99.98  |

Deprem bölgelerine ve zemin sınıflarına bağlı olarak taban kesme kuvveti ' $V_t$ ' değerleri hesaplanmış ve bu kuvvetler katlara lineer olarak dağıtılmıştır. 5 katlı modellerde Z4 zemin sınıfı için elde edilen değerler aşağıda sunulmuştur (Çizelge 4.15).

**Çizelge 4.15:** Eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi 5 katlı modeller için x yönü  
(Seçilen 5 katlı model ve Z4 zemin sınıfı)

| Kat | Wi (t)  | Hi(m) | Wi*Hi   | fi    | $V_{tx}(t)$ | $\Delta F_{NX}(t)$ | $V_{tx}-\Delta F_{NY}(t)$ | Fi,x (t) |
|-----|---------|-------|---------|-------|-------------|--------------------|---------------------------|----------|
| 5   | 790.11  | 3     | 2370.33 | 0.197 | 572         | 21                 | 550                       | 130.07   |
| 4   | 800.42  | 3     | 2401.28 | 0.200 | 572         | 21                 | 550                       | 110.05   |
| 3   | 800.43  | 3     | 2401.29 | 0.200 | 572         | 21                 | 550                       | 110.05   |
| 2   | 800.42  | 3     | 2401.28 | 0.200 | 572         | 21                 | 550                       | 110.05   |
| 1   | 810.51  | 3     | 2431.53 | 0.202 | 572         | 21                 | 550                       | 111.44   |
|     | 4001.91 | 15    |         | 1.000 |             |                    |                           | 572.00   |

**Çizelge 4.16:** Eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi 10 katlı modeller için x yönü  
(Seçilen 10 katlı model ve Z4 zemin sınıfı)

| Kat | Wi (t)  | Hi (m) | Wi*Hi    | fi    | $V_{tx}(t)$ | $\Delta F_{NX}(t)$ | $V_{tx}-\Delta F_{NY}(t)$ | Fi,x (t) |
|-----|---------|--------|----------|-------|-------------|--------------------|---------------------------|----------|
| 10  | 851.96  | 3      | 2555.88  | 0.098 | 1231        | 92                 | 1139                      | 204.89   |
| 9   | 861.58  | 3      | 2584.76  | 0.099 | 1231t       | 92                 | 1139                      | 113.85   |
| 8   | 861.33  | 3      | 2583.99  | 0.099 | 1231        | 92                 | 1139                      | 113.81   |
| 7   | 861.58  | 3      | 2584.76  | 0.099 | 1231        | 92                 | 1139                      | 113.85   |
| 6   | 861.83  | 3      | 2585.49  | 0.100 | 1231        | 92                 | 1139                      | 113.88   |
| 5   | 861.96  | 3      | 2585.90  | 0.100 | 1231        | 92                 | 1139                      | 113.90   |
| 4   | 861.58  | 3      | 2584.74  | 0.099 | 1231        | 92t                | 1139                      | 113.85   |
| 3   | 861.58  | 3      | 2584.76  | 0.099 | 1231        | 92t                | 1139                      | 113.85   |
| 2   | 861.58  | 3      | 2584.74  | 0.099 | 1231        | 92                 | 1139                      | 113.85   |
| 1   | 871.02  | 3      | 2613.06  | 0.101 | 1231        | 92                 | 1139                      | 115.09   |
|     | 8616.04 | 30     | 25848.15 | 1.000 |             |                    |                           | 1231.00  |

**Çizelge 4.17:** Eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi 15 katlı modeller için x yönü  
(Seçilen 15 katlı model ve Z4 zemin sınıfı)

| Kat | W <sub>i</sub> (t) | H <sub>i</sub> (m) | W <sub>i</sub> *H <sub>i</sub> | f <sub>i</sub> | V <sub>tx</sub> (t) | ΔF <sub>NX</sub> (t) | V <sub>tx</sub> -ΔF <sub>NY</sub> (t) | F <sub>i,x</sub> (t) |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------------------|----------------|---------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
| 15  | 869.24             | 3                  | 2607.72                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 319.82               |
| 14  | 869.24             | 3                  | 2607.72                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.20               |
| 13  | 869.24             | 3                  | 2607.72                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.20               |
| 12  | 869.24             | 3                  | 2607.72                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.20               |
| 11  | 869.24             | 3                  | 2607.72                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.20               |
| 10  | 860.18             | 3                  | 2580.54                        | 0.065          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 109.05               |
| 9   | 869.80             | 3                  | 2609.4                         | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.27               |
| 8   | 869.55             | 3                  | 2608.65                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.24               |
| 7   | 869.81             | 3                  | 2609.43                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.27               |
| 6   | 870.05             | 3                  | 2610.15                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.30               |
| 5   | 870.18             | 3                  | 2610.54                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.32               |
| 4   | 869.80             | 3                  | 2609.40                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.27               |
| 3   | 869.80             | 3                  | 2609.40                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.27               |
| 2   | 869.80             | 3                  | 2609.40                        | 0.066          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 110.27t              |
| 1   | 877.93             | 3                  | 2633.79                        | 0.067          | 1863                | 210                  | 1654                                  | 111.30               |
|     | 13043.10           | 30                 | 39129.3                        | 1.000          |                     |                      |                                       | 1863.00t             |

#### Eşdeğer taban kesme kuvvetlerinin bulunması

Eşdeğer taban kesme kuvvetlerinin bulunmasında kullanılan A(T) ve S(T)'lerin değerleri aşağıdaki tablodaki gibidir.

**Çizelge 4.18:** 5 Katlı binalar için S(T) ve A(T) değerleri

| Zemin Sınıfı |                    | Deprem Bölgesi |          |           |           |
|--------------|--------------------|----------------|----------|-----------|-----------|
|              |                    | 1.Derece       | 2 Derece | 3. Derece | 4. Derece |
| Z1           | A(T <sub>x</sub> ) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | A(T <sub>y</sub> ) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | S(T <sub>x</sub> ) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
|              | S(T <sub>y</sub> ) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
| Z2           | A(T <sub>x</sub> ) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | A(T <sub>y</sub> ) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | S(T <sub>x</sub> ) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
|              | S(T <sub>y</sub> ) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
| Z3           | A(T)               | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | S(T <sub>x</sub> ) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
|              | S(T <sub>y</sub> ) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
| Z4           | A(T <sub>x</sub> ) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | A(T <sub>y</sub> ) | 0.93           | 0.70     | 0.46      | 0.23      |
|              | S(T <sub>x</sub> ) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
|              | S(T <sub>y</sub> ) | 2.32           | 2.32     | 2.32      | 2.32      |

**Çizelge 4.19:** 10 Katlı binalar için S(T) ve A(T) değerleri

| Zemin Sınıfı |       | Deprem Bölgesi |          |           |           |
|--------------|-------|----------------|----------|-----------|-----------|
|              |       | 1.Derece       | 2 Derece | 3. Derece | 4. Derece |
| <b>Z1</b>    | A(Tx) | 0.81           | 0.60     | 0.40      | 0.20      |
|              | A(Ty) | 0.67           | 0.50     | 0.34      | 0.17      |
|              | S(Tx) | 2.01           | 2.01     | 2.01      | 2.01      |
|              | S(Ty) | 1.68           | 1.68     | 1.68      | 1.68      |
| <b>Z2</b>    | A(Tx) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | A(Ty) | 0.85           | 0.63     | 0.42      | 0.21      |
|              | S(Tx) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
|              | S(Ty) | 2.12           | 2.12     | 2.12      | 2.12      |
| <b>Z3</b>    | A(Tx) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | A(Ty) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | S(Tx) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
|              | S(Ty) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
| <b>Z4</b>    | A(Tx) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | A(Ty) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | S(Tx) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
|              | S(Ty) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |

**Çizelge 4.20** 15 Katlı binalar için S(T) ve A(T) değerleri

| Zemin Sınıfı |       | Deprem Bölgesi |          |           |           |
|--------------|-------|----------------|----------|-----------|-----------|
|              |       | 1.Derece       | 2 Derece | 3. Derece | 4. Derece |
| <b>Z1</b>    | A(TX) | 0.55           | 0.41     | 0.28      | 0.14      |
|              | A(TY) | 0.46           | 0.35     | 0.23      | 0.12      |
|              | S(Tx) | 1.38           | 1.38     | 1.38      | 1.38      |
|              | S(Ty) | 1.16           | 1.16     | 1.16      | 1.16      |
| <b>Z2</b>    | A(TX) | 0.70           | 0.52     | 0.35      | 0.17      |
|              | A(TY) | 0.58           | 0.44     | 0.29      | 0.15      |
|              | S(Tx) | 1.74           | 1.74     | 1.74      | 1.74      |
|              | S(Ty) | 1.46           | 1.46     | 1.46      | 1.46      |
| <b>Z3</b>    | A(TX) | 0.96           | 0.72     | 0.48      | 0.24      |
|              | A(TY) | 0.81           | 0.61     | 0.40      | 0.20      |
|              | S(Tx) | 2.40           | 2.40     | 2.40      | 2.40      |
|              | S(Ty) | 2.02           | 2.02     | 2.02      | 2.02      |
| <b>Z4</b>    | A(TX) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | A(TY) | 1.00           | 0.75     | 0.50      | 0.25      |
|              | S(Tx) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |
|              | S(Ty) | 2.50           | 2.50     | 2.50      | 2.50      |

**Mod birleştirme yöntemi**

Etabs bilgisayar modellerine aşağıdaki denklem (4.7) ile ilgili deprem bölgeleri ve zemin sınıflarına göre modellere ivme spektrumları tanıtılmıştır.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (4.7)$$

Denklem (4.7)'de  $S_{aR}(T_n)$  n'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme,  $S_{ae}(T_n)$  elastik spektral ivme değerlerini göstermektedir.

#### **Modal analizde gözönüne alınacak dinamik serbestlik dereceleri**

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilen bu binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi gözönüne alınmıştır. Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanmış, ancak ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine Etabs bilgisayar programı tarafından uygulanmıştır.

#### **Hesaba katılacak yeterli titreşim modu sayısı ve mod katkılarının birleştirilmesi**

Modellerde kat başına 3 serbestlik derecesi kabul edilerek, x ve y yönü yatay ve bir de dönme kabul etmek koşulu ile, 5 katlı modellerde 15 Mod, 10 katlılarda 30 mod ve 15 katlı modellerde 45 mod gözönüne alınmıştır. Mod katkılarının birleştirilmesinde Tam Karesel Birleştirme (CQC) kuralı uygulanmıştır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılan çapraz korelasyon katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınmıştır.



## 5. KONTROLLER

Düzensizliklerle ilgili durumlar TDY 2007’de verildiği gibi gerekli kontrolleri yapılmıştır.

### 5.1 Düzensizliklerin Kontrolü

#### 5.1.1 Planda düzensizlik durumları

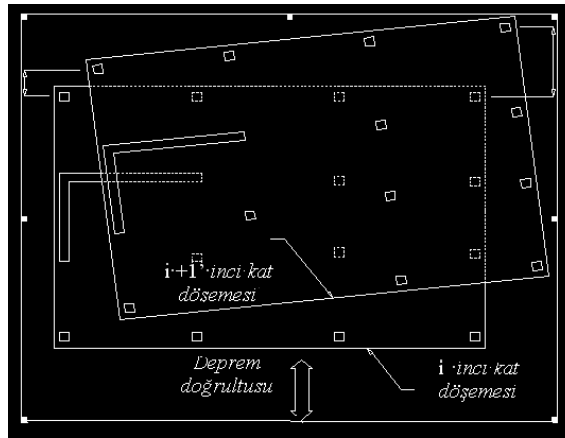
Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi}$ ’nin 1.2’den büyük olması durumudur ve denklem (5.1)’deki gibi hesaplanır.

$$[\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.2] \quad (5.1)$$

Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda  $(\Delta_i)_{\text{ort}}$  denklem (5.2) ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = 1/2 [(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}] \quad (5.2)$$

Görelî kat ötelemelerinin hesabı,  $\pm \%5$  ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak, yapılacaktır.



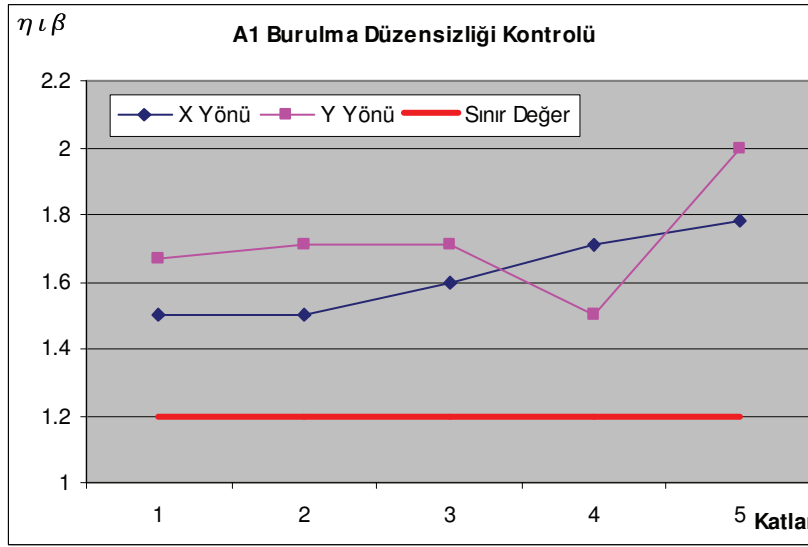
Şekil 5.1: A1 Burulma düzensizliğinin gösterimi

#### A1 Burulma düzensizliği kontrolü

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî kat ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliğı Katsayısı  $\eta_{bi}$ 'nin 1,2'den büyük olması durumudur. Deplasmanlar hesaplanırken tepe kuvveti ve  $\pm\%5$  eksantriklik gözönüne alınarak aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.

### 5 Katlı modeller için A1 burulma düzensizliğinin kontrolü

A1 Burulma düzensizliğinin hesaplanmasında,  $\pm\%5$  eksantrikliğinin ve tepe kuvveti de göz önüne alınması ile hesaplanan  $\eta_{bi}$  değerlerinin x ve y yönlerine göre kontrolleri yapılmıştır (Şekil 5.2).



**Şekil 5.2 :** 5 Katlı modeller için  $\pm 0,05$  ek dışmerkezlikle x ve y yönü A1 burulma düzensizliğı kontrolü

Bina x ve y yönünde,  $\pm 0,05$  dışmerkezlikle ve tepe kuvvetinde hesaplanan deplasmanlarla, A1 burulma düzensizliğinin her katta olduğu tespit edilmiştir. Düzensizliğin giderilmesi için yapılanlar aşağıda anlatılmıştır.

Binada, her iki yönde de A1 türü düzensizliğin bulunması ve  $1,2 < \eta_{bi} < 2,0$  olmak koşulu ile denklem (5.3)'e göre  $D_i$  katsayısı ile hesaplanan değer, her iki deprem doğrultusundaki + ve – ek dışmerkezlik ile çarpılarak büyütülmüştür.

$$D_i = \left( \frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (5.3)$$

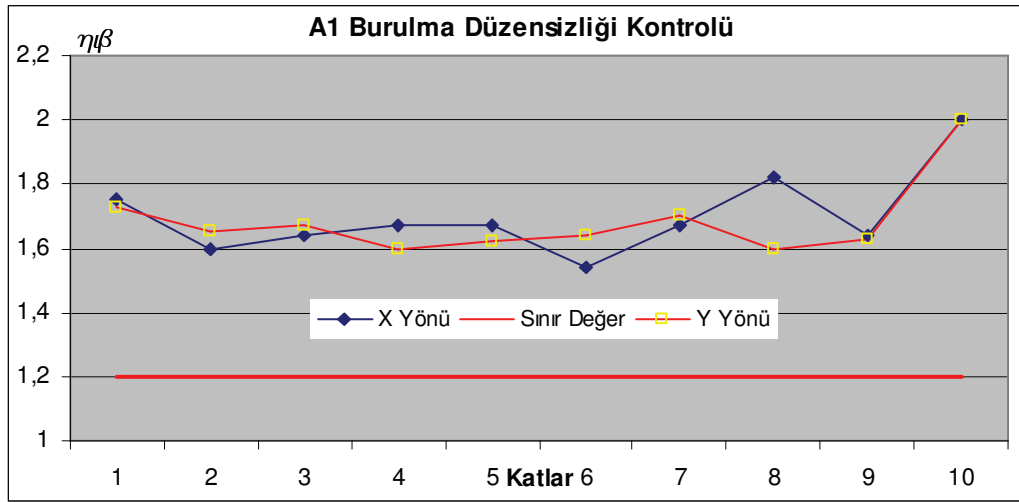
Denklem (5.3)'de değerler yerlerine konularak x ve y yönü için eksantrisitenin hesabı yapılmıştır.

$D_{i,x} = (1.78/1,2)^2=2.2$  ve  $D_{i,y} = (2/1,2)^2=2.789$  hesaplanmıştır.

$\pm\%5$  eksantrisitenin yukarıda bulunan  $D_i$  katsayıları ile çarpımı sonucunda y yönü için  $\pm\% 13.495$  ve  $\pm\% 11$  de x yönünde eksantrisite arttırılmıştır.

### 10 Katlı modeller için A1 burulma düzensizliğinin kontrolü

A1 Burulma düzensizliğinin hesaplanmasında,  $\pm\%5$  eksantrikliğin ve tepe kuvveti de göz önüne alınması ile hesaplanan  $\eta_{bi}$  değerlerinin x ve y yönlerine göre kontrolleri yapılmıştır (Şekil 5.3).



**Şekil 5.3 :** 10 Katlı modeller için  $\pm 0,05$  ek dışmerkezlikle x ve y yönü A1 burulma düzensizliği kontrolü

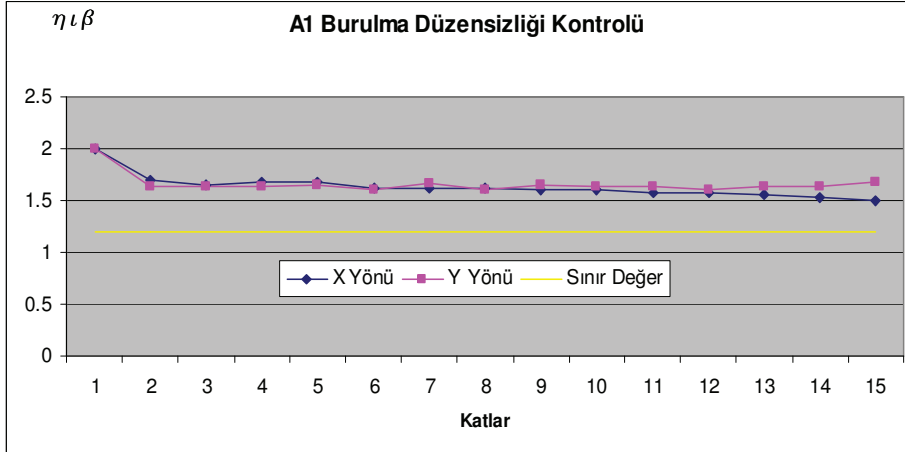
Bina x ve y yönünde,  $\pm 0.05$  dışmerkezlikle ve tepe kuvvetinde hesaplanan deplasmanlarla, A1 Burulma düzensizliğinin her katta olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.3). Düzensizliğin giderilmesi için 5 katlı modellerde de yapıldığı gibi  $D_i$  katsayısı ile hesaplanan değer,  $1,2 < \eta_{bi} < 2,0$  olmak koşulu ile, her iki deprem doğrultusundaki + ve - ek dışmerkezlilik ile çarpılarak büyütülmüştür.

$$D_{i,x,y} = (2/1,2)^2=2.789$$

$\pm\%5$  eksantrisitenin  $D_i$  katsayısı ile çarpımı sonucunda x ve y yönü için  $\pm\% 13.495$  eksantrisite arttırılmıştır.

### 15 Katlı modeller için A1 burulma düzensizliğinin kontrolü

A1 Burulma düzensizliğinin hesaplanmasında,  $\pm 5\%$  eksantrikliğinin ve tepe kuvvetide göz önüne alınması ile hesaplanan  $\eta_{bi}$  değerlerinin x ve y yönlerine göre kontrolleri yapılmıştır (Şekil 5.4).



**Şekil 5.4 :** 15 Katlı modeller için  $\pm 0,05$  ek dışmerkezlilikle x ve y yönü A1 burulma düzensizliği kontrolü

Bina x ve y yönünde,  $\pm 0.05$  dışmerkezlilikle ve tepe kuvvetin de hesaplanan deplasmanlarla, A1 burulma düzensizliğinin her katta olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.4). Düzensizliğin giderilmesi için 5 ve 10 katlı modellerde de yapıldığı gibi  $D_i$  katsayısı ile hesaplanan değer,  $1,2 < \eta_{bi} < 2,0$  olmak koşulu ile, her iki deprem doğrultusundaki + ve – ek dışmerkezlilik ile çarpılarak büyütülmüştür.

$$D_{x,y} = (2/1,2)^2 = 2.789$$

$\pm 5\%$  eksantrisitenin  $D_i$  katsayısı ile çarpımı sonucunda x ve y yönü için  $\pm 13.495$  eksantrisine arttırılmıştır.

### A2 Döşeme düzensizliği kontrolü

Herhangi bir kattaki döşemede;

I- Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması,

II- Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması,

### III- Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması,

Durumlarından herhangi biri yapıda mevcut ise yapı A2 döşeme düzensizliğine sahiptir [13]. Tüm modellerimizde kat alanları aynı olduğu için tek bir hesap ile hepsi için gerekli kontrolleri yapabiliriz. Tüm kattaki toplam boşluk alanları hesaplanmış olup çizelge 5.1 'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1 : Bir kattaki boşluk alanları ve toplamı**

| Boşluk Boyutları |       | Boşluk Sayısı n | Alan                    |
|------------------|-------|-----------------|-------------------------|
| a (m)            | b (m) |                 | a*b*n (m <sup>2</sup> ) |
| 1.35             | 1.00  | 2               | 2.70                    |
| 1.35             | 0.75  | 2               | 2.02                    |
| 1.25             | 0.95  | 2               | 2.37                    |
| 0.55             | 0.95  | 2               | 1.04                    |
| 0.70             | 0.45  | 1               | 0.31                    |
| 0.75             | 0.45  | 1               | 0.33                    |
| 1.90             | 0.45  | 1               | 0.85                    |
| 1.90             | 1.90  | 1               | 3.61                    |
| 1.05             | 1.70  | 2               | 3.57                    |
| 2.75             | 4.75  | 2               | 26.12                   |
| 1.85             | 1.95  | 2               | 7.21                    |
| 1.65             | 1.95  | 1               | 3.21                    |
| 0.40             | 0.25  | 2               | 0.20                    |
|                  |       |                 | 53.59 m <sup>2</sup>    |

Toplam döşemedeki boşluk alanı,  $A_b = 53.59 \text{ m}^2$

Brüt kat alanı,  $A = 395.40 \text{ m}^2$

$A_b / A = 53.59 / 395.40 = 0.13955 < 1/3 = 0.3333$  olması sonucu 5 katlı, 10 katlı ve 15 katlı tüm modellerde ve hiçbir katta A2 düzensizliği mevcut değildir.

#### **A3 Planda çıkıntıların bulunması**

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumudur [13]. Planda çıkıntı olmadığından 5 katlı, 10 Katlı ve 15 katlı tüm modellerde ve hiçbir katta A3 düzensizliği mevcut değildir.

### 5.1.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

#### B1 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf kat)

Zayıf kat durumu, betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan, dayanım düzensizliği katsayısı  $\eta_{ci}$ ' nin 0,80 'den küçük olması durumudur [13].

Yapının tünel kalıp olması nedeniyle, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı'nın, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı aynı, yani 1,0 olması neticesinde, dayanım düzensizliği katsayısı  $\eta_{ci}$ ' nin 0,80 'den küçük olması durumu söz konusu değildir. Bu nedenle 5 katlı, 10 katlı ve 15 katlı tüm modellerde ve hiçbir katta B1 zayıf kat düzensizliği yapıda bulunmamaktadır.

#### B2 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat)

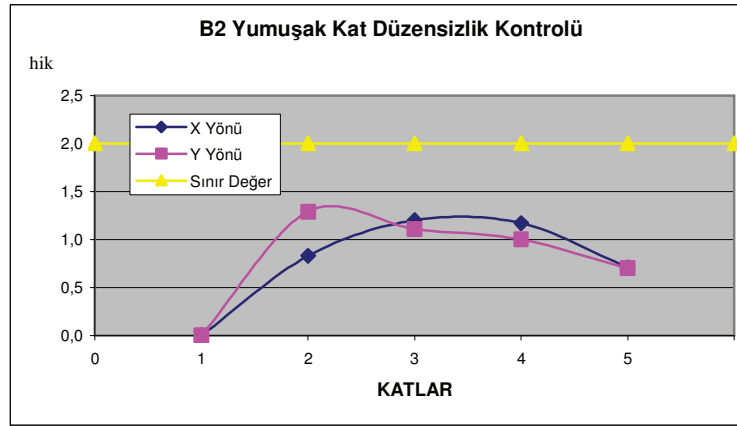
Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'nci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı  $\eta_{ki}$ ' nin 2,0'den büyük olması durumudur [13]. A1 düzensizliği neticesiyle arttırılmış ek dışmerkezlilikler verilerek gerekli kontroller yapılmıştır.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \text{ veya}$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2.0$$

#### 5 Katlı modeller için B2 komşu katlar arası düzensizlik kontrolü

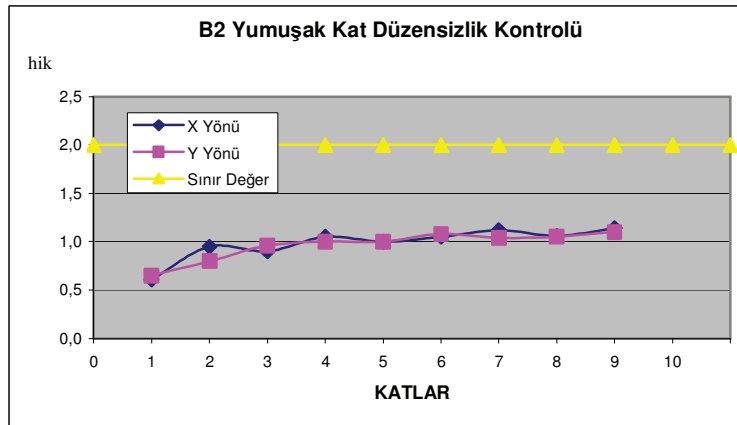
5 Katlı modeller için A1 düzensizliği sonucu ek dışmerkezlikle çözüm sonucu elde edilen maksimum ve minimum deplasmanlar hesaplanmıştır. Bina x yönünde ve y yönünde, A1 düzensizliğin giderilmesi için ek dışmerkezlikle tekrar hesaplanan deplasmanlarla, B2 komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin hesabında da kullanılmıştır. 5 Katlı modeller için x yönü  $\pm\%11$  ek dışmerkezlikle x ve y yönü B2 düzensizliği (yumuşak kat kontrolü)  $\pm\%13.495$  ek dışmerkezlikle çözüm sonucu kontrolleri yapılmıştır. 5 Katlı modeller için B2 düzensizliğinin mevcut olmadığı görülmüştür (Şekil 5.5).



**Şekil 5.5 :** 5 Katlı model x ve y yönü için B2 yumuşak kat düzensizliği kontrolü

### 10 Katlı modeller için B2 komşu katlar arası düzensizlik kontrolü

10 Katlı modeller için A1 düzensizliği sonucu ek dışmerkezlilikle çözüm sonucu elde edilen maksimum ve minimum deplasmanlar hesaplanmıştır. Yapıda x yönünde ve y yönünde, A1 düzensizliğinin giderilmesi için ek dışmerkezlilikle tekrar hesaplanan deplasmanlarla, B2 komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin hesabında da kullanılmıştır. 10 Katlı modeller için x yönü ve y yönü B2 düzensizliği (Yumuşak kat kontrolü)  $\pm\%13.495$  ek dışmerkezlilikle çözüm sonucu kontrolleri yapılmıştır. 10 Katlı modeller için B2 düzensizliğinin mevcut olmadığı görülmüştür (Şekil 5.6).

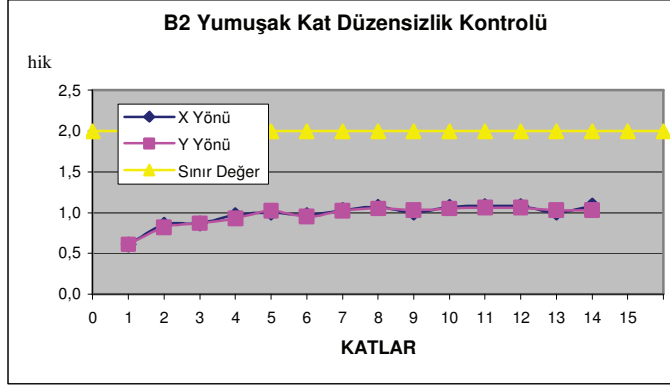


**Şekil 5.6 :** 10 Katlı model x ve y yönü için B2 yumuşak kat düzensizliği kontrolü

### 15 Katlı modeller için B2 komşu katlar arası düzensizlik kontrolü

15 Katlı modeller için A1 düzensizliği sonucu ek dışmerkezlilikle çözüm sonucu elde edilen maksimum ve minimum deplasmanlar hesaplanmıştır. Yapıda x yönünde ve y yönünde, A1 düzensizliğinin giderilmesi için ek dışmerkezlilikle tekrar hesaplanan

deplasmanlarla, B2 komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin hesabında da kullanılmıştır. 15 Katlı modeller için x yönü ve y yönü B2 düzensizliği (Yumuşak kat kontrolü)  $\pm\%13.495$  ek dışmerkezlilikle çözüm sonucu kontrolleri yapılmıştır. 15 Katlı modeller için B2 düzensizliğinin mevcut olmadığı görülmüştür (Şekil 5.7).



**Şekil 5.7 :** 15 Katlı model x ve y yönü için B2 yumuşak kat düzensizliği kontrolü

### B3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği bu çalışmada mevcut değildir. Bu nedenle 5 katlı, 10 Katlı ve 15 katlı tüm modellerde ve hiçbir katta B3 türü düşeyde eleman süreksizliği mevcut değildir.

### Düzensizliklerin durumu

Yukarıda kontrolleri yapılan düzensizlik koşullarının yapılarıdaki durumunu gösteren çizelge (5.2) aşağıda sunulmuştur.

**Çizelge 5.2:** Binaların düzensizlik durumları

| Katlar | Plandaki Düzensizlikler |         |         | Düşeydeki Düzensizlikler |         |         |
|--------|-------------------------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|
|        | A1                      | A2      | A3      | B1                       | B2      | B3      |
| 5      | <b>Düzensiz</b>         | Düzenli | Düzenli | Düzenli                  | Düzenli | Düzenli |
| 10     | <b>Düzensiz</b>         | Düzenli | Düzenli | Düzenli                  | Düzenli | Düzenli |
| 15     | <b>Düzensiz</b>         | Düzenli | Düzenli | Düzenli                  | Düzenli | Düzenli |

### Düzensizliklere göre yapı modellerinde modal analizde kullanılan $\beta$ katsayıları

5, 10 ve 15 Katlı modellerde A1 burulma düzensizliği olması neticesiyle, mod birleştirme yöntemi seçilerek ve  $\beta=0.90$  alınarak eşdeğer deprem yükündeki taban kesme kuvveti değeri ile çarpılmasını sağlayarak düzensizlik giderilmiştir.



## İkinci mertebe kontrolünün yapılması

Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik hesabını gözönüne almak üzere, ikinci mertebe kontrolünün yapılması gerekmektedir. Aşağıdaki ikinci mertebe etkilerini kontrol etmek üzere elde edilen veriler hesaplanarak grafik olarak gösterilmiştir. TDY 2007'e göre, aşağıdaki denklem sağlanmalıdır. Sağlanmadığı durumda, yapının elemanlarının rijitliği arttırılmak zorundadır. Bizim modellerimizde bu koşul sağlandığından, ikinci mertebe etkileri açısından lineer hesapta eleman boyutlarımız yeterlidir. İkinci mertebe etkilerini kısaca anlatacak olursak; gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, ikinci mertebe gösterge değeri,  $\theta_i$ 'nin denklem (5.4) ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme TS 500 ve TDY 2007 yönetmeliklerine göre değerlendirilmelidir.

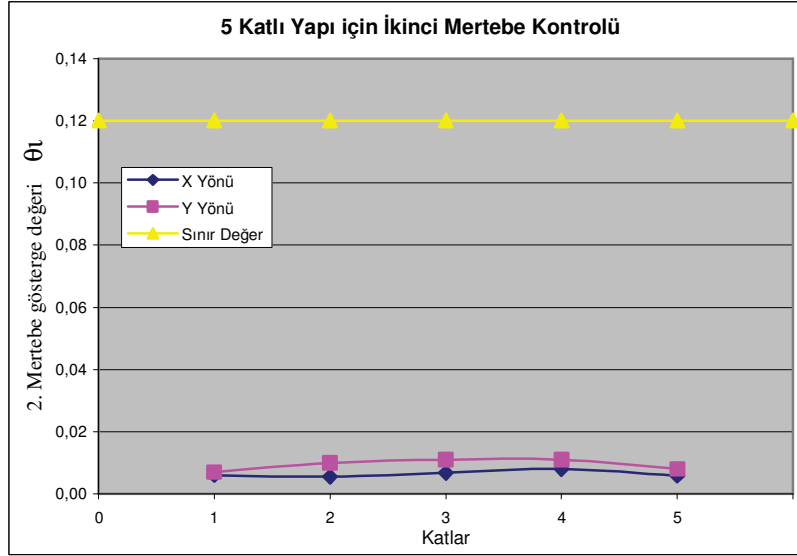
$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{\text{ort}} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (5.4)$$

Burada  $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ , i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini göstermektedir ve denklem (5.5)' de verilen formül ile hesaplanacaktır.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (5.5)$$

## 5 Katlı yapı için x ve y yönü A1 düzensizliği sonucu arttırılan eksantrisite göre ikinci mertebe kontrolleri

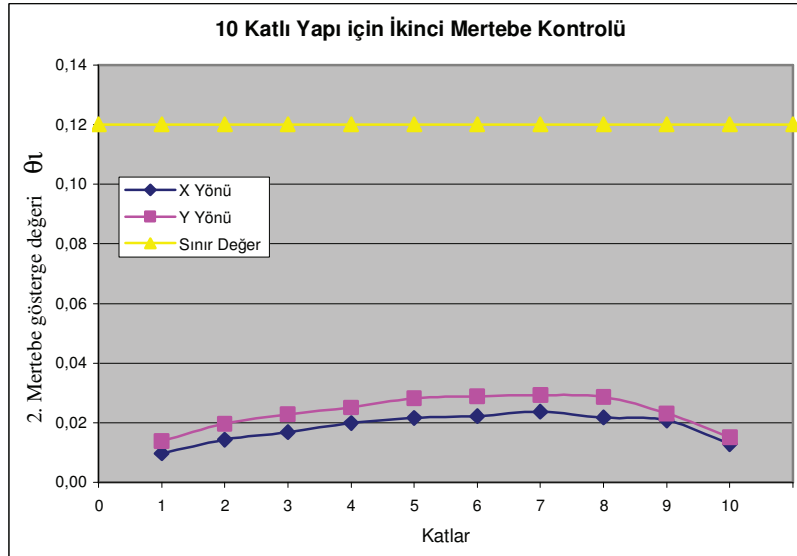
5 katlı yapıda A1 düzensizliği sonucu x yönü için  $\pm 0.11$  ve y yönü için  $\pm 0.13495$  ek dış merkezli deplasman değerleri bulunmuş ve değerler denklem (5.4)'de verilen formül yardımı ile  $\theta_i$  ikinci mertebe gösterge değerine ulaşılmıştır. 5 katlı yapı için sınır değer ve yapının  $\theta_i$  değerlerinin karşılaştırılması aşağıda gösterilmiştir. 5 Katlı yapının herkatın da koşulun sağlandığı görülmüştür (Şekil 5.8).



**Şekil 5.8 :** 5 Katlı model x ve y yönü için ikinci mertebe kontrolü

### 10 Katlı yapı için x ve y yönü A1 düzensizliği sonucu artırılan eksantirisiteye göre ikinci mertebe kontrolleri

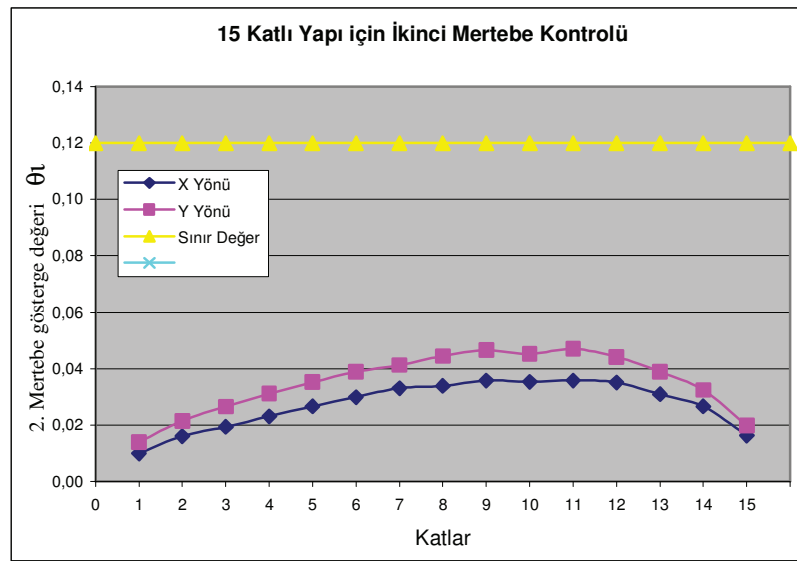
10 katlı yapıda A1 düzensizliği sonucu x yönü ve y yönü için  $\pm 0.13495$  ek dış merkezli deplasman değerleri bulunmuş ve bu değerler denklem (5.4)'de verilen formül kullanılarak  $\theta_i$  ikinci mertebe gösterge değerine ulaşılmıştır. 10 katlı yapı için sınır değer ve yapının  $\theta_i$  değerlerinin karşılaştırılması aşağıda gösterilmiştir. 10 Katlı yapının her katında koşulun sağlandığı görülmüştür (Şekil 5.9).



**Şekil 5.9 :** 10 Katlı model x ve y yönü için ikinci mertebe kontrolü

### 15 Katlı yapı için x ve y yönü A1 düzensizliği sonucu arttırılan eksantirisiteye göre ikinci mertbe kontrolleri

15 katlı yapıda A1 düzensizliği sonucu x yönü ve y yönü için  $\pm 0.13495$  ek dış merkezli deplasman değerlerine ulaşılmıştır ve bu değerler 5 ve 10 katlı yapılarda yapıldığı gibi denklem (5.4)'de verilen formül kullanılarak  $\theta_i$  ikinci mertbe gösterge değerlerine ulaşılmıştır. 15 katlı yapı için sınır değer ve yapının  $\theta_i$  değerlerinin karşılaştırılması aşağıda gösterilmiştir. 15 Katlı yapının her katında koşulun sağlandığı görülmüştür (Şekil 5.10).

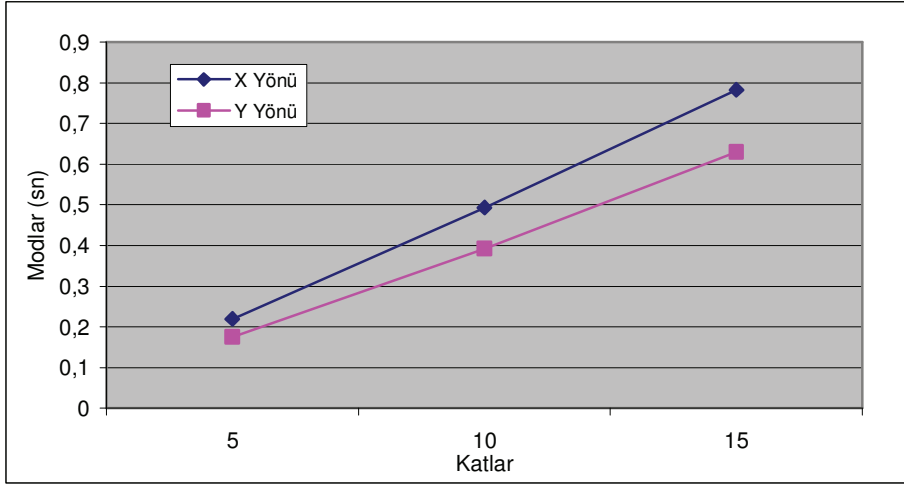


Şekil 5.10 : 15 Katlı model x ve y yönü için ikinci mertbe kontrolü

Değerlere bakıldığında kat adedinin arttığıyla değerlerin sınır değerlere doğru yaklaştığı her binada kat yüksekliğinin 2/3'ünde en yüksek değerlere ulaştığı izlenmektedir.

### Periyot Değerleri ve Kütle Katılımları

İncelenen binalarda 5 katlı yapıda 15 adet, 10 katlı yapıda 30 adet ve 15 katlı yapıda 45 adet mod davranışı incelenmiştir. Zemin cinsi ve deprem bölgesine göre değişim göstermeyen değerlerin katlara göre değişimi aşağıda verilmiştir.



**Şekil 5.10:** 5, 10, 15 Katlı yapı x ve y yönü içi yapı modellerine ait modlar

## 5.2 Deplasman Kontrolleri

### 5.2.1 Rüzgardan oluşan deplasmanlar

5, 10 ve 15 Katlı modellerde rüzgardan oluşan deplasmanlar bilgisayar programı ile katlara göre hesaplanmıştır. Rüzgar yüklerinin sistemdeki en elverişsiz yükleme olmayacağı bilinmesine karşılık bu yüklemenin de sistemdeki deplasman değerleri hesaplanarak incelenmiştir.

5 Katlı modeller 3 m kat yüksekliği ile toplam 15 m’lik yüksekliğe sahiptir en üst katta çıkan deplasman 1 mm’dir.

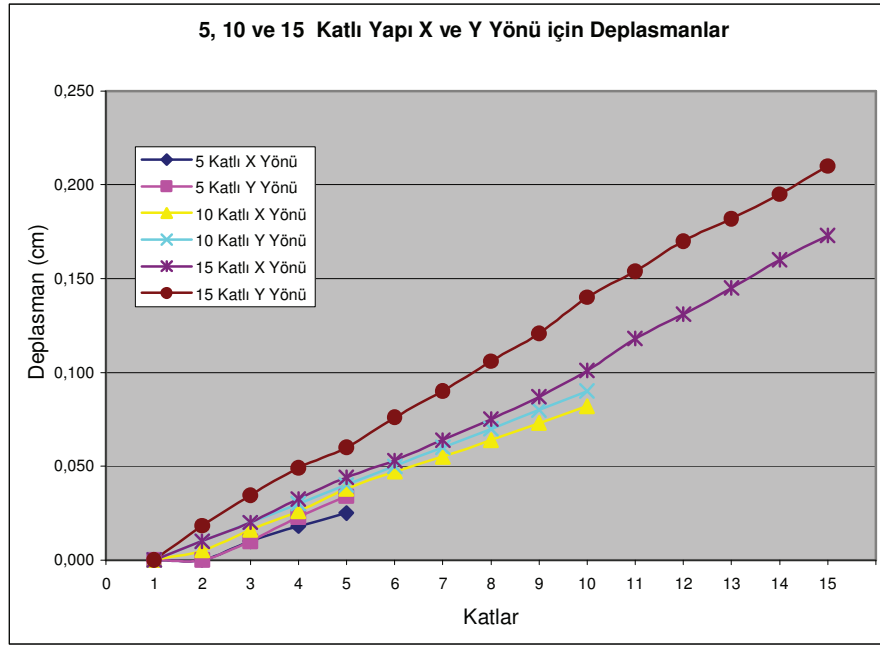
$1 \text{ mm} < 15 \text{ m} / 900 = 16.7 \text{ mm}$ ’e kadar uygundur.

10 Katlı modellerde 3 m kat yüksekliği ile toplam 30 m’lik yüksekliğe sahiptir en üst katta çıkan deplasman 9 mm’dir.

$9 \text{ mm} < 30 \text{ m} / 900 = 33.3 \text{ mm}$ ’e kadar uygundur.

15 Katlı modeller 3 m kat yüksekliği ile toplam 45 m’lik yüksekliğe sahiptir en üst katta çıkan deplasman 21 mm’dir.

$21 \text{ mm} < 45 \text{ m} / 900 = 50 \text{ mm}$ ’e kadar uygundur.

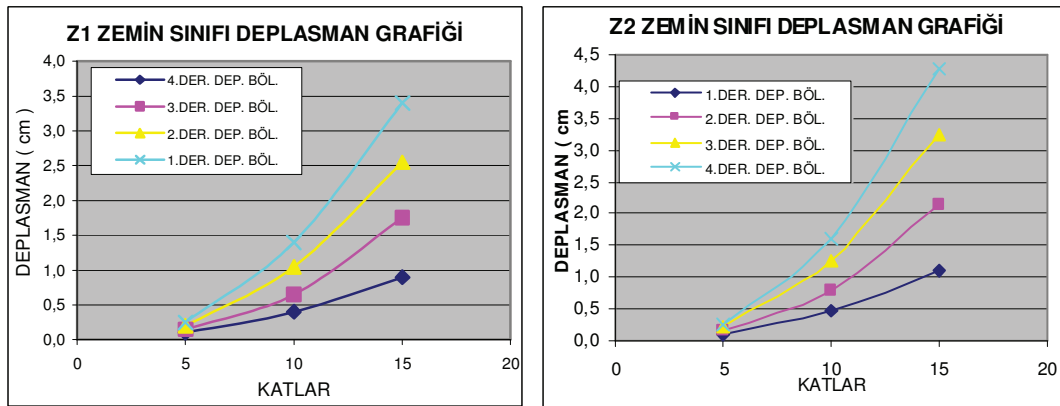


**Şekil 5.11 :** 5, 10 ve 15 Katlı model x ve y yönü rüzgar yüklemesi altındaki deplasman grafiği

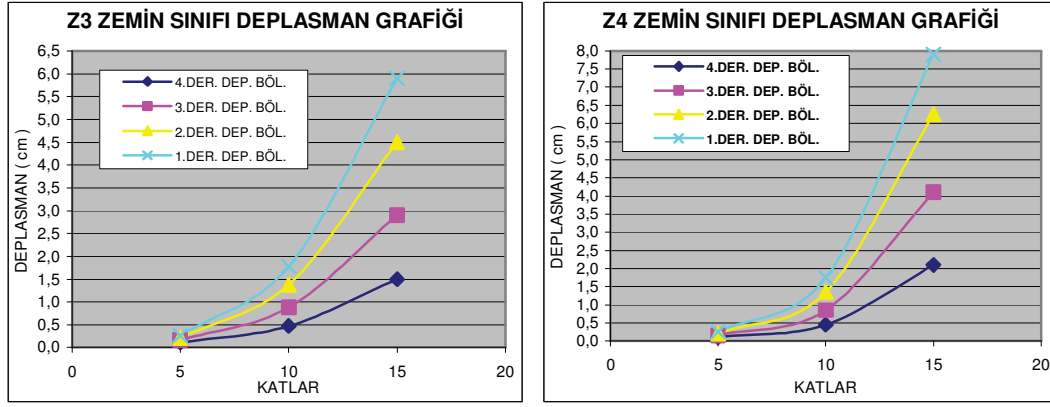
Hesaplar sonucu ulaşılan değerler düşünüldüğü gibi sistemin rijitliğinden dolayı çok küçük çıkmıştır (Şekil 5.10).

### 5.2.2 Depremden oluşan deplasmanlar

Deprem yüklemesi 5, 10 ve 15 katlı yapılara 1.derece, 2.derece, 3.derece ve 4.derece deprem bölgelerinde ayrıca Z1'den-Z4'e değişen farklı zemin sınıfına ait modellere etkilmiştir ve aşağıdaki şekillerde verilen sonuçlara ulaşılmıştır (Şekil 5.11, Şekil 5.12).



**Şekil 5.12 :** Z1 ve Z2 zemin sınıfı deplasman grafikleri



**Şekil 5.13 : Z3 ve Z4 zemin sınıfı deplasman grafikleri**

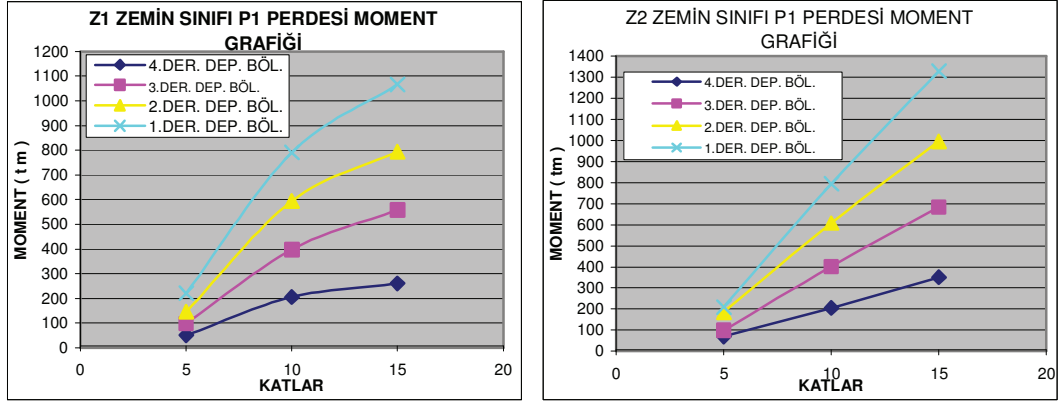
Yapılan karşılaştırmada 5 katlı yapılarda deplasman değerlerinin birbirlerine çok yakın çıktığı görülmektedir. 10 kattan sonra eğrilerin eğimlerinin arttığı ve Z1-Z2 zemin sınıfına göre Z3-Z4 zemin sınıflarında eğrilerin eğimlerinin daha da fazla olduğu izlenmiştir.

### 5.3 İç Kuvvetlerin İncelenmesi

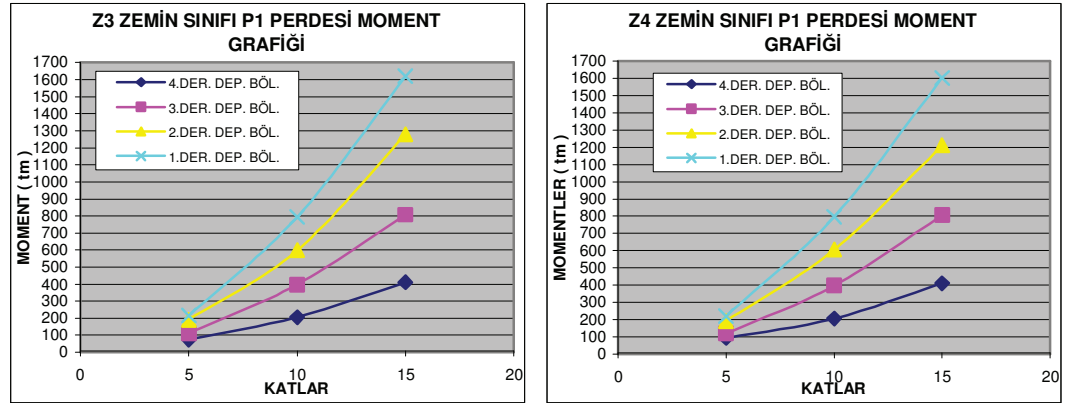
İncelenen sistemde en çok zorlanan P1 perdesi ve K23 kirişinin iç kuvvetleri değerlendirilmiştir. P1 perdesi ve K23 kirişlerinin eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetleri farklı zemin sınıflarında tüm deprem bölgeleri için grafikler halinde karşılaştırılmıştır.

#### Perdede eğilme momentlerinin incelenmesi

P1 perdesi için farklı zemin sınıflarına göre yapılan incelemeler grafikler halinde sunulmuştur. Z1 zemin sınıfından Z4 zemin sınıfına geçerken eğrilerin eğimleri artmaktadır. Z1'den Z2 zemin sınıfına geçişler ile Z3'den Z4 zemin sınıfına geçişlerdeki değişimler benzerlik gösterirken Z2'den Z3 zemin sınıfına geçişler farklılık göstermektedir (Şekil 5.14, Şekil 5.15).



Şekil 5.14 : Z1 ve Z2 Zemin sınıfı eğilme moment grafikleri

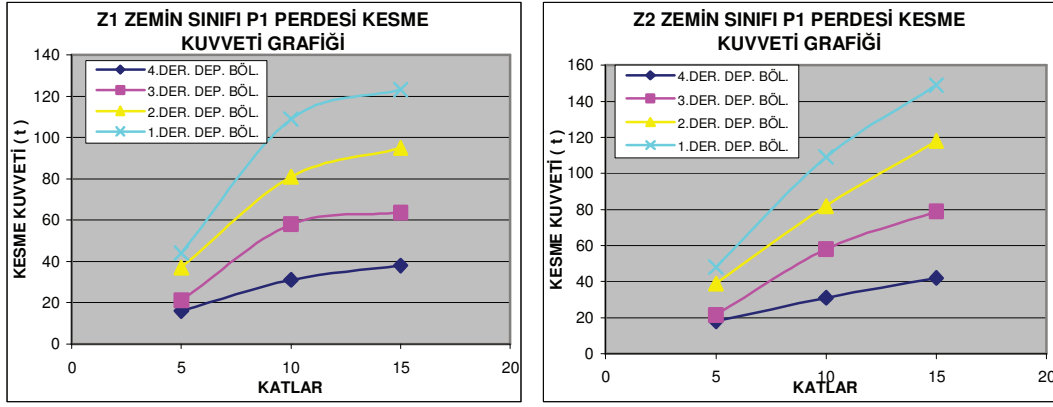


Şekil 5.15 : Z3 ve Z4 Zemin sınıfı eğilme moment grafikleri

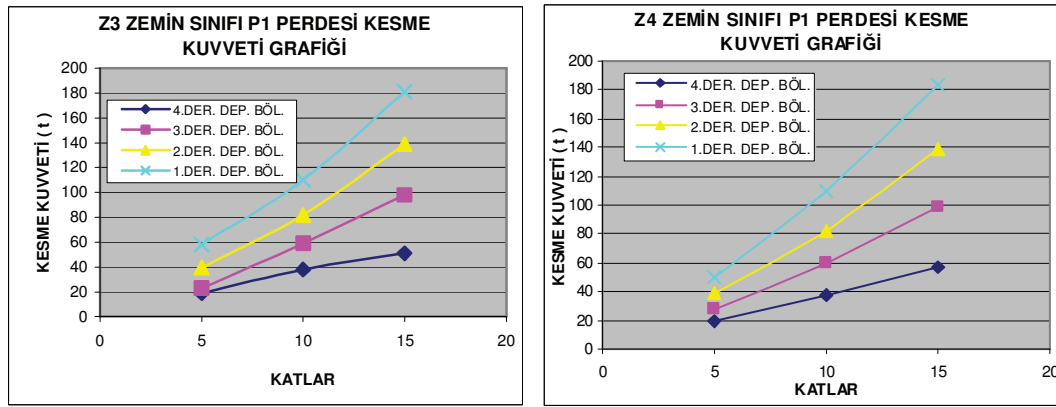
5 katlı yapılarda zemin sınıfının değişimi moment değerlerini fazla değiştirmezken 10.kattan sonra yapılarda bu fark belirginleşmeye başlamaktadır. Eğilme moment değerlerinde Z1 zemin sınıfı ile Z4 zemin sınıfı arasında % 50 ile %60 arasında değişen farklar gözükmemektedir.

#### Perdede kesme kuvvetlerinin incelenmesi

Seçilen P1 perde elemanındaki kesme kuvvetleri incelendiğinde aynı deprem bölgeleri için zemin sınıfı geçişlerinde moment grafiklerine benzer şekiller gözükmemektedir. Ancak 5 katlı yapılarda Z1 zemin sınıfından Z4 zemin sınıfına doğru geçişlerdeki artışlar gözle görülür seviyelerdedir. 5 katlı yapılarda aynı zemin sınıfında deprem bölgeleri arasındaki geçişlerdeki artış değerleri %20 seviyelerindeyken 15 katlı yapılarda bu artışlar % 40 seviyelerine çıkmaktadır (Şekil 5.16, Şekil 5.17).



**Şekil 5.16 : Z1 ve Z2 Zemin sınıfı kesme kuvveti grafikleri**



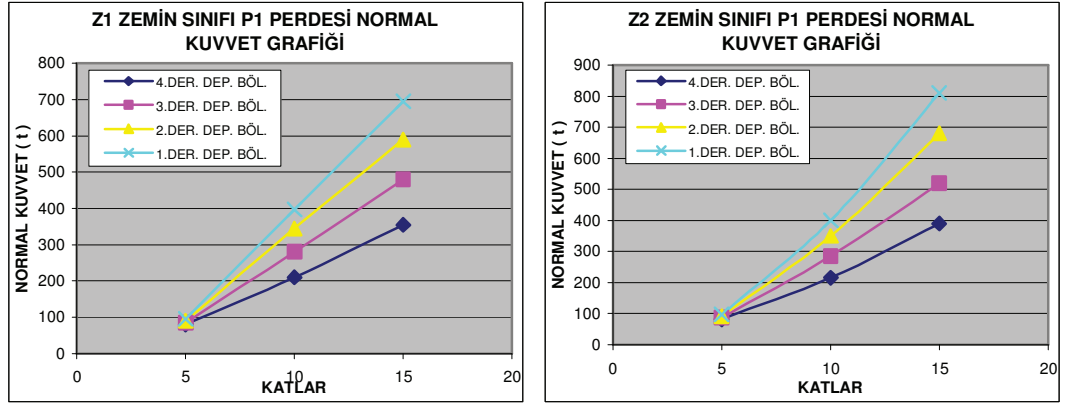
**Şekil 5.17 : Z3 ve Z4 Zemin sınıfı kesme kuvveti grafikleri**

Taban kesme kuvvetleri 1.derece deprem bölgesinde 15 katlı yapı için Z1 zemin sınıfından Z4 zemin sınıfına geçişde 2,5 kat artarken, 4. derece deprem bölgesinde bu oran 0.5'e inmektedir.

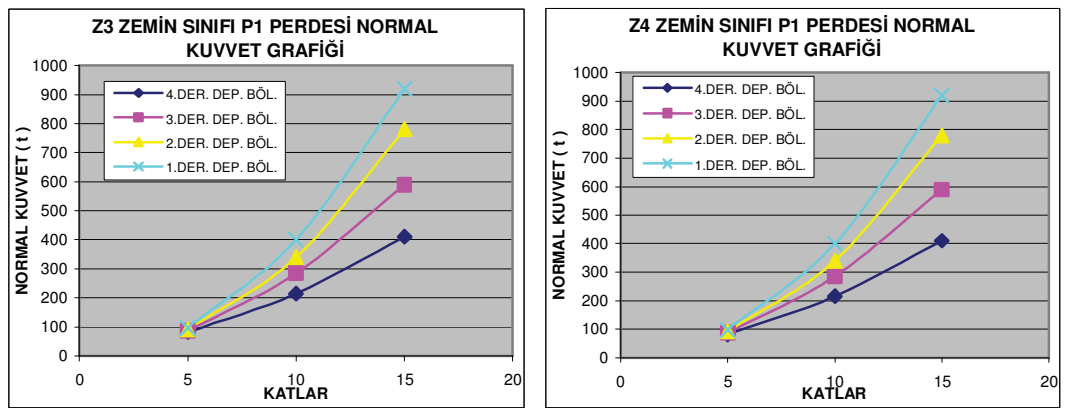
#### **Perdede normal kuvvetlerin incelenmesi**

P1 perdesinin normal kuvvet değişimleri yukarıdaki örneklerde olduğu gibi burada da farklı zemin sınıflarında deprem bölgesine göre değişimleri incelenmiştir (Şekil 5.18, Şekil 5.19). Z1, Z2 zemin sınıflarında yükseklik arttıkça normal kuvvet değerlerinin de lineer olarak arttığı gözlemlenmektedir. Z3, Z4 zemin sınıflarına geçildiğinde ise yüksekliklere göre eğriler iki farklı eğime sahip olmaktadır.





**Şekil 5.18 : Z1 ve Z2 Zemin sınıfı normal kuvvet grafikleri**

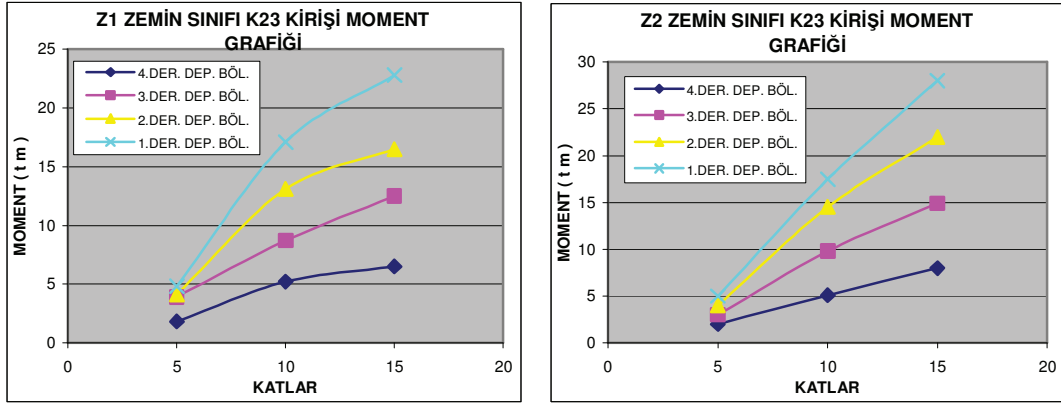


**Şekil 5.19 : Z3 ve Z4 Zemin sınıfı normal kuvvet grafikleri**

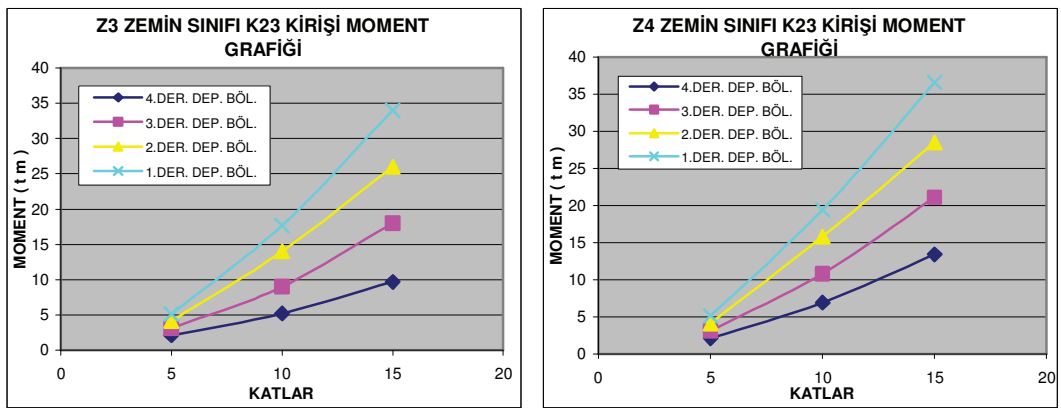
5 Katlı yapıların değerleri incelendiğinde deprem bölgesi ve zemin sınıfı değişse de tüm değerlerin çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Kat yüksekliğinin artması ile de normal kuvvet değerlerinin değişimleri açıkça görülmeye başlamaktadır.

### **Kiriş eğilme momentlerinin incelenmesi**

İncelenen yapılarda en çok zorlanan kiriş olan K23 kirişinin perdelerde yapıldığı gibi zemin sınıfları ve deprem bölgelerine göre eğilme moment değerleri aşağıdaki gibi grafiklerle sunulmuştur (Şekil 5.20, Şekil 5.21).



**Şekil 5.20 : Z1 ve Z2 Zemin sınıfı eğilme momenti grafikleri**

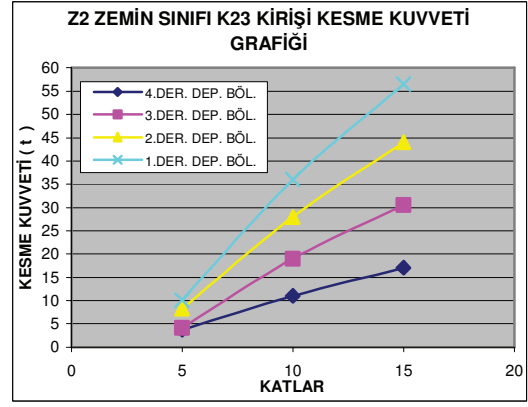
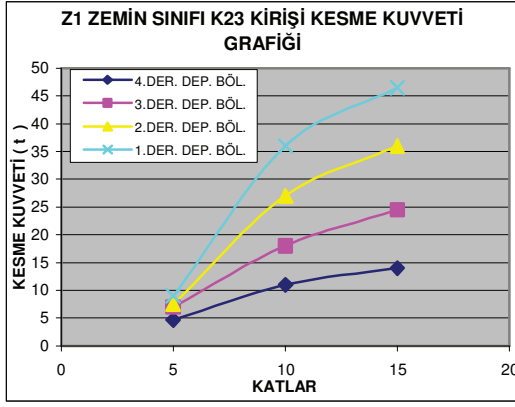


**Şekil 5.21 : Z3 ve Z4 Zemin sınıfı eğilme momenti grafikleri**

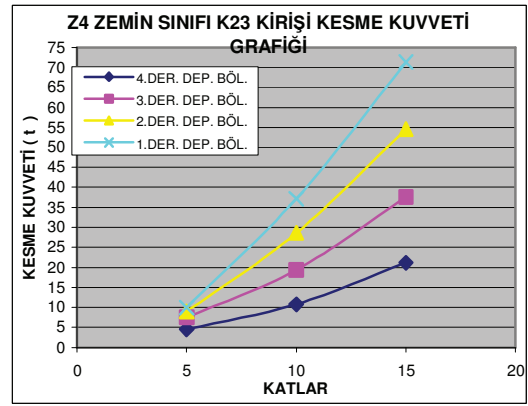
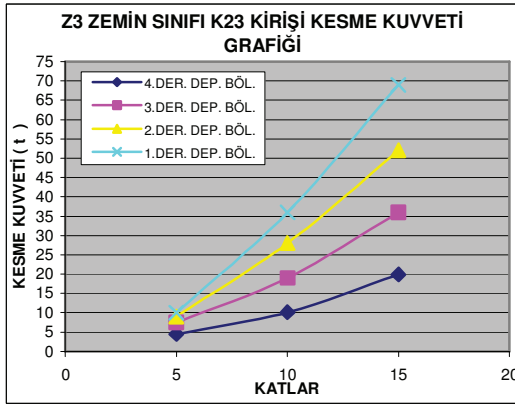
İnceleme sonucunda yapılarda 5 katlı yapılarda diğer modellerde olduğu gibi değerlerin çok değişmediği ve 10 kattan sonra moment değerlerinin belirgin olarak arttığı ve eğrilerin eğimlerinin 5-10 katlı yapıya göre 10-15 katlı yapıların daha dik olduğu görülmüştür. Ayrıca kirişlerden elde edilen grafiklerle yukarıda daha önceden analizi yapılan perde eğilme moment grafiklerinin tutarlılık gösterdiği de izlenmiştir.

### Kiriş kesme kuvvetlerinin incelenmesi

Yukarıdaki örneklerdeki gibi K23 kirişindeki kesme kuvvetleride incelenmiştir (Şekil 5.22, Şekil 5.23). Yapılan incelemede 15 katlı yapı için 1.derece deprem bölgesinde Z1 zemin sınıfından Z4 zemin sınıfına geçişde kesme kuvvetlerinde %60 artış görülürken 4. derece deprem bölgesindeki zemin sınıfı arasındaki geçiş değeri %57 dir. 10 katlı yapıda ise aynı oranlar %25'e %22 değerlerine gerilemektedir.



Şekil 5.22 : Z1 ve Z2 Zemin sınıfı kesme kuvveti grafikleri



Şekil 5.23 : Z3 ve Z4 Zemin sınıfı kesme kuvveti grafikleri



## 6. TAŞIYICI SİSTEMDE DONATI DÜZENLEMELERİ

Betonarme yapı sistemlerinin tasarlandığı gibi davranmasında donatı düzenlemeleri önem taşımaktadır. Zira taşıma gücüne göre hesapta, betonarme elemanın donatılandırma sonucunda gerçeğe en yakın yük dağılımı belirlenebilir. Yapının davranışı , donatı miktarı ve düzenlenmesine göre ortaya çıkacaktır. Ayrıca seçilen bir deprem etkisinde karşı taşıyıcı sistemin gerekli dayanıma sahip olması boyutlandırmanın esasını teşkil eder. Dayanımın sağlanması sadece kesitte gerekli donatının bulunması olarak kabul edilmemelidir. Donatının aderansının sağlanması, gerekli kenetlenme boyuna sahip olacak şekilde başlangıç ve bitiş yerlerinin seçilmesi ve betonun yerleşmesini zorlaştıracak donatı düzenlerinden kaçınılması da , dayanımın oluşmasında önemlidir [14].

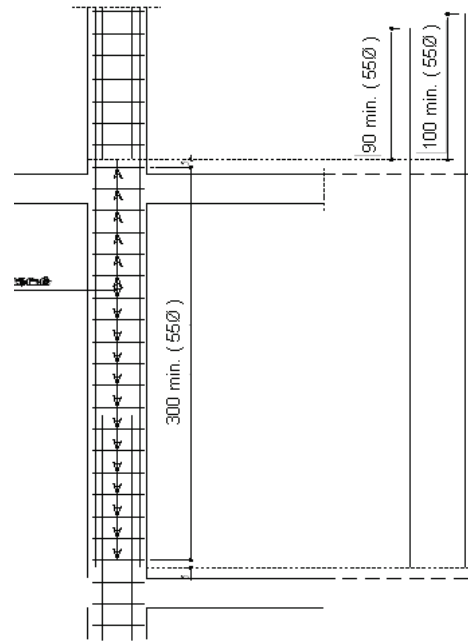
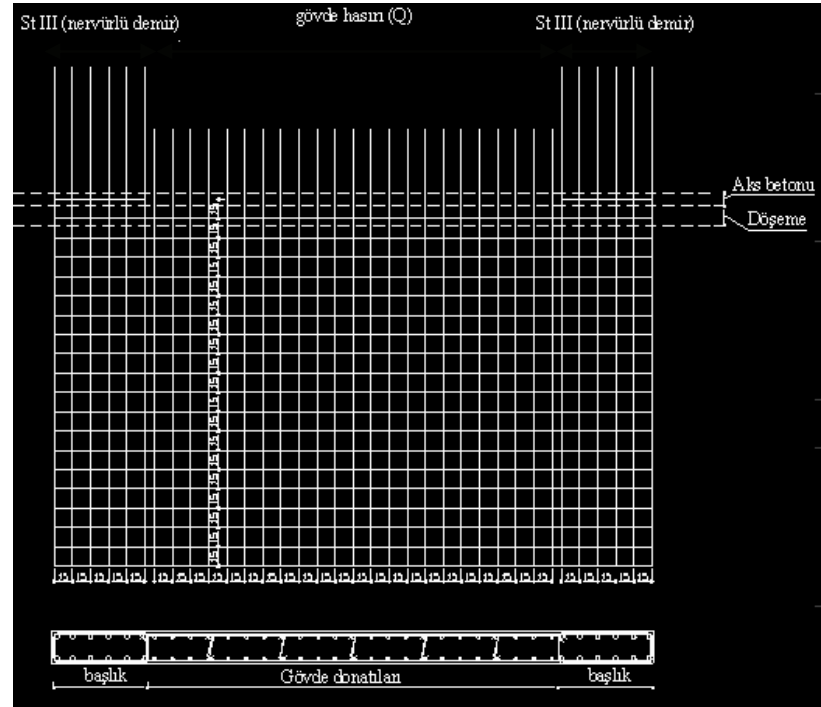
Tünel kalıp sistemiyle inşa edilen binalarda, perde, döşeme, temeller ve bunların birbiriyle birleşimleri gösteren örnek detaylar sunulacak ancak TDY 2007’de verilen kurallardan daha önceden bahsedildiği için ayrıntıya girilmeyecektir.

### **Perdelerde donatı düzenlemeleri**

Perdelerin donatılandırılması TDY 2007’ye göre aşağıdaki gibi ikiye ayrılır.

- Başlık bölgesinde donatılandırma
- Gövde bölgesinde donatılandırma

Bu alanlarda yapılacak donatı düzenlemeleri bölüm 3.3 perde uç bölgelerinde donatı koşulları ve bölüm 3.4 gövde donatısı koşullarında sunulmuştur. Denklem (3.1) koşullarının sağlandığı durumlarda gövdede süneklik düzeyi S420 (BÇ III)’ye göre daha düşük olan hasır donatı kullanımına izin verilir. Ancak döşeme donatılarının yerleştirilebilmesi için gövde hasırlarında birkaç sıra donatı çıkarılır.

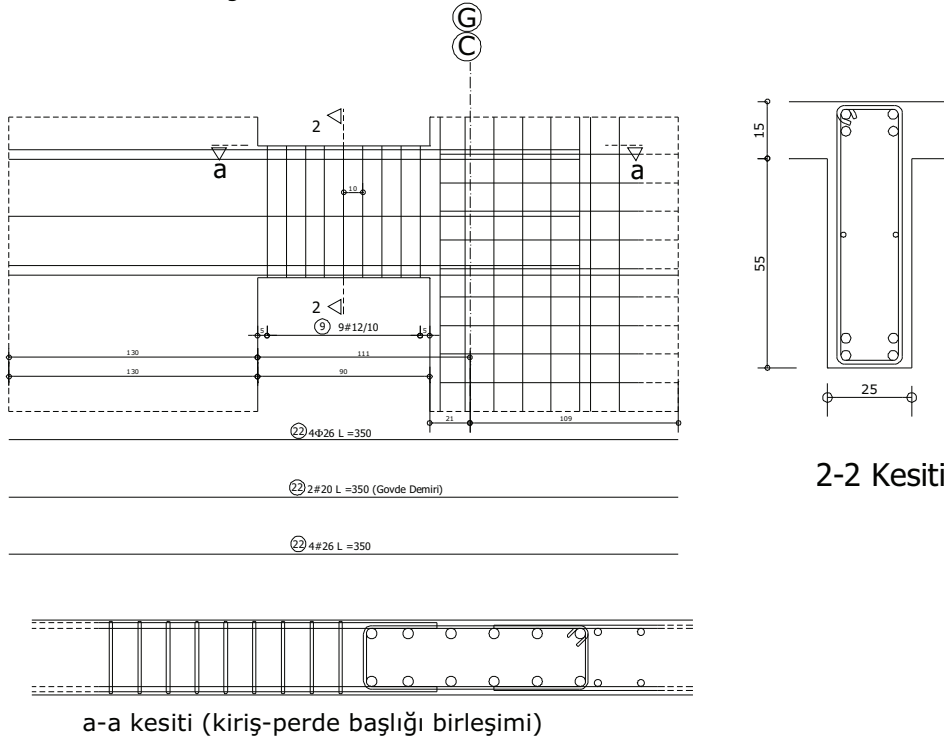


**Şekil 6.1:** Perde donatı detayı; kesitleri ve plan

Başlık ve gövdede donatıların yerleşim kesit ve planları şekil 6.1’de gösterilmiştir.

## Perde-bağ kirişi birleşim yerleri

### Kiriş 25/70

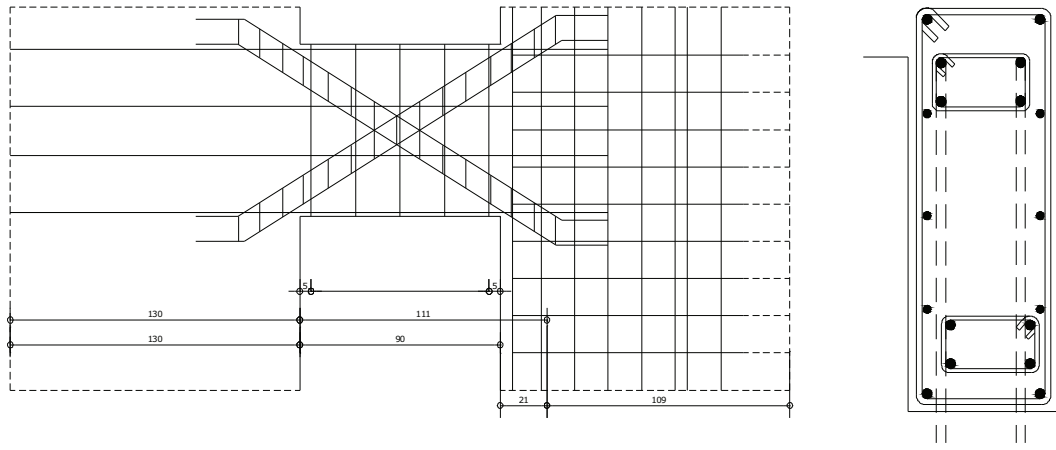


Şekil 6.2: Bağ kirişi perde bağlantı detayı

Bağ kirişlerinin donatılması TDY 2007'nin kurallarının anlatıldığı bölüm 3.7'de bağ kirişli perdelere ilişkin kural ve koşullar bölümünde anlatıldığı gibi yapılacaktır. Şekil 6.3'de sıradan bir kiriş gibi donatılan bağ kiriş perde başlığı birleşimi örneklenmiştir.

Bağ kirişi üst ve alt ve gövde yatay donatılarının perde başlığıyla birleştiği bölgelerde kenetlenmenin sağlanabilmesi için bu donatılar perde başlığının içine aderans boyu kadar uzatılmalıdır (Şekil 6.3). Perde gövdesinde kullanılan hasır donatının yatay kollarının da başlık içine uzatılması ve başlık etriyelerine kenetlenmesi gerektiğinden bu bölgede büyük bir donatı yığılması kaçınılmazdır. Bu bölgelerde kullanılacak betonun tane boyutları dikkate alınarak tasarım yapılmalı ve uygulamada donatı işçiliğine dikkat edilmelidir. Aksi taktirde taşların homojen dağılamaması ve bir yerde toparlanmalar sonucunda elemanlarda tekrarlı sismik yükler altında, beklenmeyen stabilite problemleriyle karşılaşılır. Sistemden, beklenen süneklik elde edilemez [8].

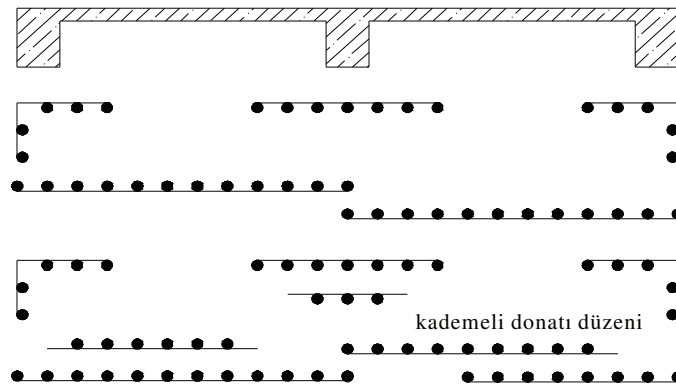
Kullanım yükleri altında kirişlerde büyük çatlaklar oluşmaması için, çapraz donatılara ek olarak, TS-500’de öngörülen minimum miktarda etriye ve yatay donatı konulacaktır [4].



**Şekil 6.3:** Bağ kirişinde çapraz donatı detayı [15].

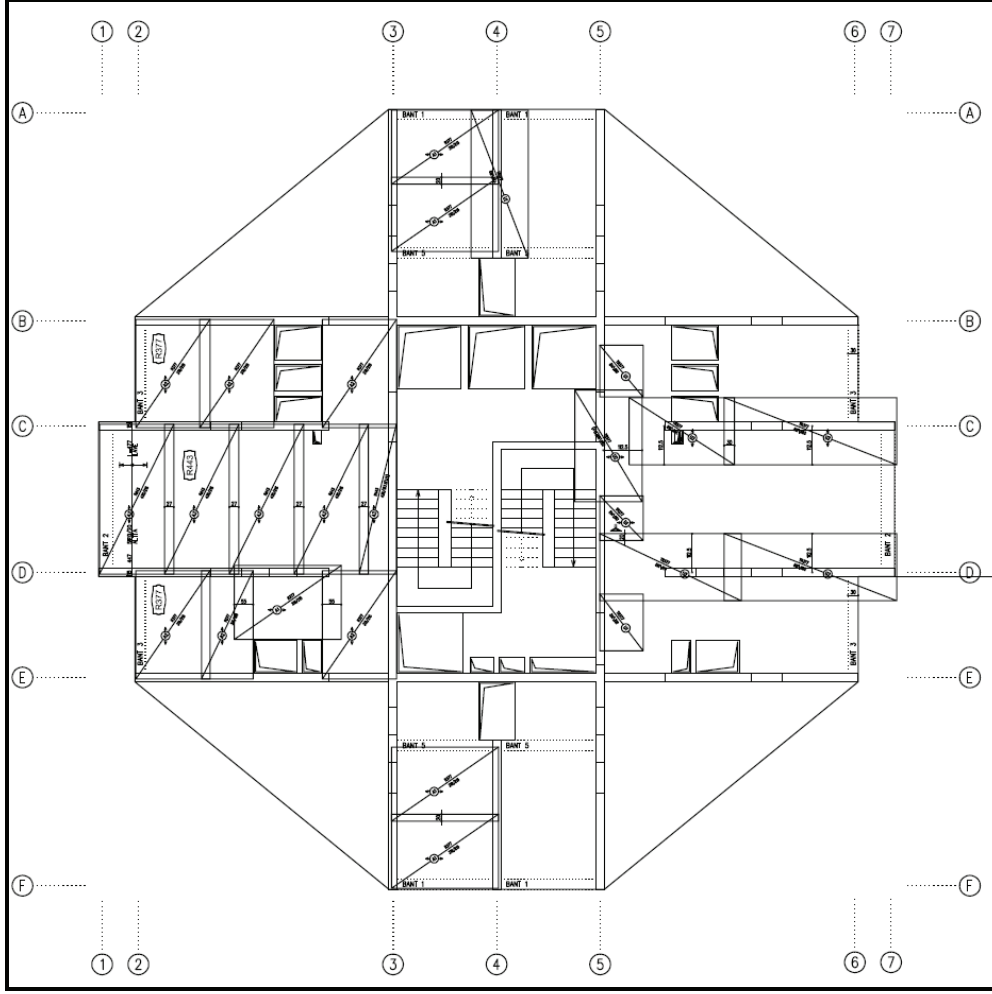
### Döşemeler

Tünel kalıpla inşa edilen binalarda perdelerde olduğu gibi döşemelerde de açıklık ve mesnet donatılarının hasır çelik kullanılarak düzenlenmesi yaygın bir uygulamadır. Döşemeler genellikle tek yönde çalıştığı için açıklıklarda R tipi hasırlar, mesnetlerde köşe birleşimleri için iki yönde donatı aralıkları eşit olan Q tipi hasırlar, kenarlarda R tipi hasırlar kullanılır. Aşağıda örnek döşeme kat planı ve çelik hasır yerleşimi gösterilmiştir. (Şekil 6.4, şekil 6.5).



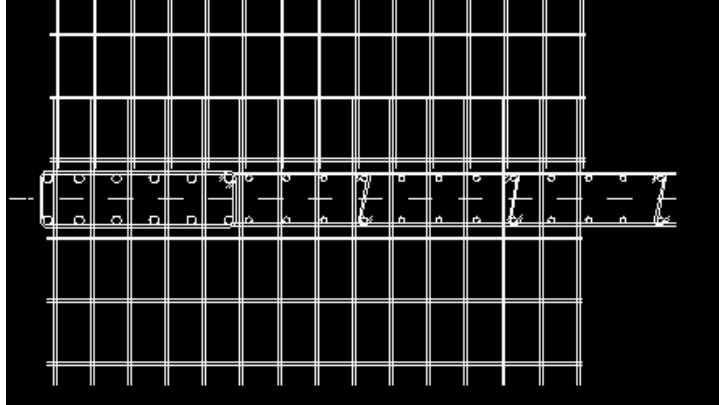
**Şekil 6.4:** Döşemede örnek çelik hasır yerleşimi





**Şekil 6.5:** İncelenen binada döşeme örnek çelik hasır yerleşim planı

Döşeme-perde birleşimleri deprem etkisiyle büyük moment ve kesme kuvvetlerine maruz kalacaktır. Bu bölgelerdeki döşeme kesitlerinde gevrek kesme kırılmaları veya büyük eğilme çatlaklarının meydana gelmemesi için mesnet donatılarının söz konusu kuvvetleri sünek bir şekilde karşılayabilmesi gereklidir.



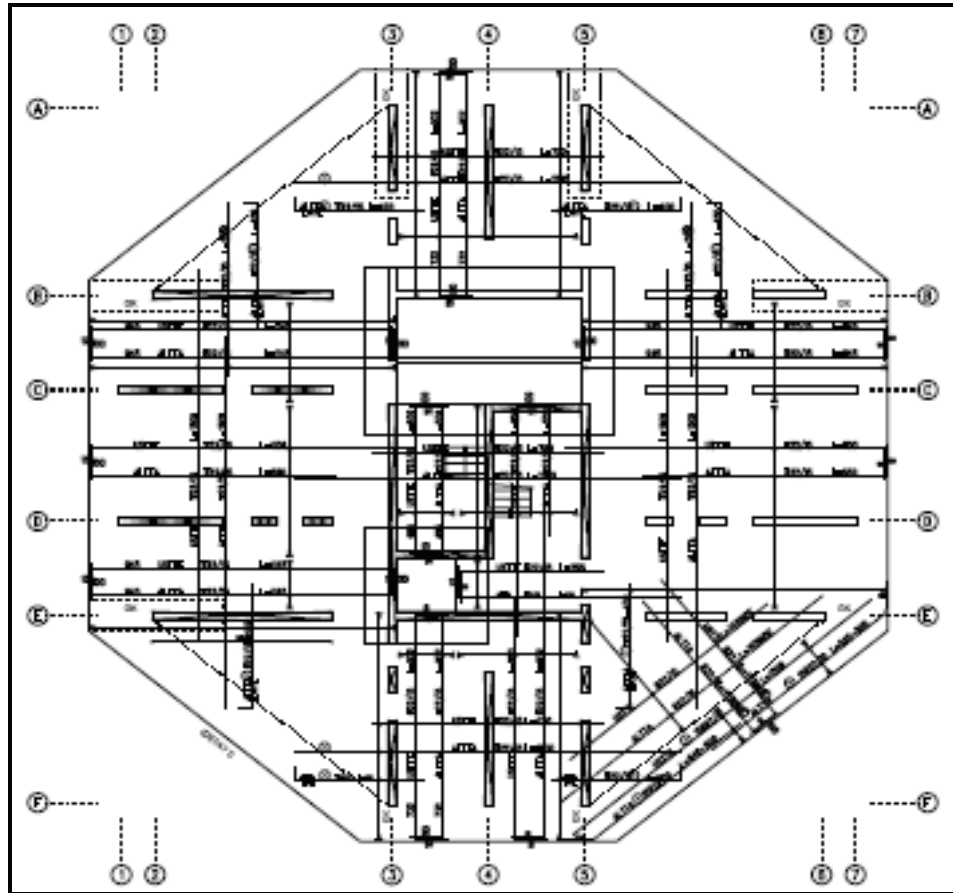
**Şekil 6.6:** Döşeme mesnet hasırları-perde donatısı birleşim detayı

Tünel kalıp sisteminde, uygulamadaki kolaylık nedeniyle, döşemelerde hasır donatı tercih edilir. Bu tür donatılandırmada mesnet donatılarının perde elemanlarıyla birleşim yerlerinde zorluklarla karşılaşilmektedir. Betonarme perdelerin alt kattan gelen donatı filizleri döşemenin mesnet donatısının önünü keser.

İstenen sünekliğin sağlanabilmesi için mesnet hasırı ile perde donatıları kenetlenip bir bütün olarak çalışmalıdır. Şekil 6.6’da örnek birleşim bölgesi detayı verilmiştir: Açıklığın bir tarafından gelen çelik hasırın perdeye paralel iki sırası çıkarılarak mesnetin içinden geçirilir ve komşu açıklığa kenetlenme mesafesi kadar uzatılır. Mesnetin diğer tarafından gelen hasır donatı asıl uçlarıyla komşu açıklıktan gelen donatılar bağlanarak kenetlenme sağlanır. Döşeme donatılarının mesnet bölgesi dışında bağlanması uygulama kolaylığı sağlamaktadır.

### Temeller

Yapı ağırlığının büyük veya zeminin taşıma gücü çok düşük ise, bütün yapının altına tek bir plak temel yapılması uygundur. Temeli planda biraz üst yapının dışına aşırarak zemin gerilmelerini küçültmek uygun olabilir.



Şekil 6.7: İncelenen planda örnek temel donatı planı

Boyutlandırma için en önemli husus zemin gerilmelerinin bulunmasıdır. Çok katlı düzgün çerçeve sisteminde eğer düşey yüklerin ağırlık merkezi temel plağının ağırlık merkezine yakın oluşuyorsa ve özellikle temel plağı kalın ise, zemin gerilmelerini kolon momentlerine bakılmaksızın sadece düşey kuvvetleri temel alanına bölerek hesaplanabilir [16]. Plağa konulacak üst ve alt eğilme donatılarından ayrı ayrı olarak zımbalama donatısı düzenlemekten kaçınmak için zımbalama kuvvetleri dikkate alınarak plak kalınlığı belirlenir. Donatı düzeninde iki doğrultuda çalışan döşemelerdeki kurallara uyularak belirlenir.



## 7. SONUÇLAR

Yapılan çalışmamızda tünel kalıp kullanılarak inşa edilen 5, 10 ve 15 katlı yapıların TDY 2007'ye göre düzensizlik kontrolleri yapılmıştır. Ayrıca deprem yükleri altında farklı zemin sınıflarında ve deprem bölgelerindeki deplasman değerleri ile iç kuvvetlerin değişimleri değerlendirilmiştir.

### Kontroller

- Yapılan çalışma sonucunda A1 düzensizliğinin tüm modellerde mevcut olduğu görülmüştür. Bu düzensizliği gidermek üzere deprem hesabı modal analize göre yapılarak ve  $\beta$  katsayısı kullanılarak modal analizle düzensizlikler tüm modellerde giderilmiştir.
- İkinci mertebe kontrolleri yapılmıştır ve seçilen boyutların yapının lineer olmayan hesabı için yeterli olduğu görülmüştür.
- Deplasman ve sehim kontrolleri deprem ve rüzgar yükleri için tüm modellerde kontrol edilmiş ve ilgili yönetmeliklerdeki koşullar sağlanmıştır. Özellikle 5 katlı binalarda seçilen kesitlerin TDY 2007'de verilen minimum kesitler olduğu görülmüştür.

### Deplasmanlar

- 5 katlı binalarımızdaki deplasmanları kontrol ettiğimizde sistemimizin çok rijit olduğundan dolayı deplasmanların çok küçük olduğunu görüyoruz. 10 ve 15 katlı binalarımızın aksine zemin sınıfının ve deprem bölgesinin değişiklikleri bu binalarda deplasmanları çok fazla etkilemediği de gözlemlenmiştir. 10 Kattan sonra özellikle 1.derece deprem bölgelerinde zemin sınıflarının değişiminde deplasman değerleri hızla artmaktadır.
- Daha önceden öngörüldüğü gibi, analizleri yapılan 5, 10 ve 15 katlı binalarımızda 4. derece deprem bölgesinden 1. derece deprem bölgesine giderken kat deplasmanlarının arttığını görüyoruz..
- İncelenen binaların hepsinin depreme karşı oldukça rijit oldukları açıktır.

- Binalarımız planda sekizgen ve iki yönde rijitlikleri bir birine yakındır. Rüzgar yüklemelerine bakıldığında tahmin edildiği gibi kat deplasmanlarının çok küçük olduğu görülmüştür

#### **İç kuvvetlerin değişimi**

- Zemin sınıfları arasındaki geçişler kontrol edildiğinde Z1'den Z2 zemin sınıfına geçişler ve Z3'den Z4 zemin sınıfına geçişler benzerlik gösterirken Z2'den Z3 zemin sınıflarına geçişlerin daha farklı olduğu gözlemlenmiştir.
- Kötü zemin koşullarında deprem bölgesinin değişiminde değerler katlanarak artmaktadır. 1.derece deprem bölgelerinde iyi zemin koşulları olan bölgeleri tercih etmek daha ekonomik olacaktır.

Genelde ilk modun burulma etkisinde kaldığı bu yapılarda, bu etkiler kesinlikle göz önünde bulundurulmalıdır.

Tünel kalıp sistemi kullanılırken düşük katlı binalara karşı yüksek katlı binaların yapılması daha avantajlı olarak görülmektedir. Ayrıca binalarda iki yönde de aynı rijitliği sağlayabilmek ve düzensizlik olmaması daha olumlu sonuçlar verecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Öztürk, T.**, 2005. Betonarme Binalarda Deprem Perdelerinin Yerleşimi ve Tasarımı,, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Nasvik, J.**, Copyright©2003, Building With Tunnel, [www.outinord-americas.com](http://www.outinord-americas.com), Publication #C03J032 Hanley-Wood, LLC.
- [3] **Blakeley**, 1975, Siesmic Shear Loading at Flexural Capacity in Cantilever Wall Structures
- [4] **Özden, K. Ve Kumbasar, N**, 2005. Betonarme Yüksek Binalar,, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- [5] **Balkaya, C. ve Kalkan, E.**, 2002. Tünel Kalıp İle İnşa Edilen Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Davranışı, ECAS2002, ODTÜ, Ankara.
- [6] **Mesa İmalat**, Tünel Kalıp, [www.mesakalip.com](http://www.mesakalip.com)
- [7] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2005. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [8] **Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee**, 1991, Cast-in-Place Concrete in Tall Building Design and Costruction, Mc Graw-Hill New York, INC
- [9] **Altan, M., Aka, İ.**, 1993, Betonarme Yüksek Yapılar, İ.T.Ü. Yayınları
- [10] **SANZ 3101**, 1982, Code of Practice for the Design of Concrete Structures
- [11] **High Performance Buildings Using Tunnel Form Construction**, 2004, [www.concretecentre.com](http://www.concretecentre.com), © The Concrete Centre
- [12] **Balkaya, C. ve Kalkan, E.**, 2002. Nonlinear Seismic Response Evaluation of Tunnel Form Building Structures, ODTÜ, Ankara.
- [13] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik(TDY )**, 2007, Bayındırlık Bakanlığı

- [14] **TS 500**, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
- [15] **TS 498**, 1987, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
- [16] **Celep Z., Kumbasar N.**, 2000, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul



**VESİKALIK  
FOTO**

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Ender Sarıçay

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Bilecik 09.09.1983

**Adres:** Ümraniye Mh. Gülnihal Sk. Polat Deniz Sitesi D:9 Yeşilköy, İstanbul

**Lisans Üniversitesi:** Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

**Yayın Listesi:**