

# BİVA TOWER İZMİR

Türk Yapısal Çelik Derneğinin düzenlediği 13. Ulusal Çelik Yapı Ödülleri'nde Yapı Kategorisi'nde Yapı Ödülü'nün yanında Avrupa Yapısal Çelik Birliği (ECCS) tarafından düzenlenen Avrupa Çelik Yapı Tasarım Ödülleri'nde de (ESDA 2023) ödül almaya hak kazanan Biva Tower projesi, 144m toplam yapı yüksekliğiyle ülkemizde yapımı tamamlandığı zaman itibarıyla en yüksek yapısal çelik bina projesi olma özelliğini taşıyor.

Yazı: İnş. Yük. Mühendisi Onur Güleç  
Meinhardt Group Türkiye Ülke Direktörü





13

ÇELİK YAPILAR  
ÖDÜLLERİ

YAPI KATEGORİSİ / YAPI ÖDÜLÜ

TUÇSA  
1992



EUROPEAN  
STEEL  
DESIGN  
AWARDS  
2023



**PROJE ADI**

Biva Tower İzmir

**DURUM**

Tamamlandı, 2022

**PROJENİN GENEL BOYUTLARI**

144 metre yüksekliğinde 22x28 metre plan ölçüsünde 32 katlı konut binası

**İNŞAAT ALANI**Taban oturma alanı 1.500m<sup>2</sup>, toplam inşaat alanı yaklaşık 20.000m<sup>2</sup>**YER**

Bayraklı, İzmir/ TÜRKİYE

**İŞVEREN / YATIRIMCI**

Biva Mimarlık Mühendislik İnşaat Taahhüt San. Tic.

**ANA YÜKLENİCİ**

Biva Mimarlık Mühendislik İnşaat Taahhüt San. Tic.

**ÇELİK YÜKLENİCİSİ**

Gülermak Çelik Konstrüksiyon San. ve Tic. A.Ş.

**ÇELİK TONAJI**

2460 ton

**MİMARİ PROJE**

Biva Mimarlık Mühendislik İnşaat Taahhüt San. Tic. (Konsept: Dome Mimarlık A.Ş.)

**STATİK PROJE**

Meinhardt Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti.

İzmir Biva Tower projesi, ülkemizin en güzel şehirlerinden İzmir'in Bayraklı ilçesinde yer almaktadır. Proje taban oturma alanı 1.500m<sup>2</sup>, toplam inşaat alanı ise yaklaşık 20.000m<sup>2</sup>'dir. Bina, bir bodrum kat olmak üzere toplamda 33 katlı bir yapıdır. Temel üstünden ölçülen 144m toplam yapı yüksekliği ile yapımının tamamlandığı an itibarıyla Türkiye'deki en yüksek yapısal çelik bina projesi olma özelliğini kazanmıştır.

**MİMARİ AÇIKLAMA**

Normal kat planları dikdörtgen formlu binanın plan ölçüleri 22x28m; betonarme çekirdek plan ölçüsü 9x17m'dir. Bu ölçülerle, çekirdek baz alındığında narinlik oranı 16, kat planı baz alındığında narinlik oranı ise 6,5 olmaktadır. Bu oranlar oldukça narin bir strüktüre işaret etmektedir. Mimari tasarım gereği kule iz düşümü alanının alt katlara doğru daralması, yapıya estetik görünüm kazandırsa da yapısal tasarım açısından zorlayıcı bir unsurdur. Proje sahasının yüksek deprensellik riskine ve zayıf zemin profiline sahip olması, binanın taşıyıcı sisteminin yapısal çelik ile kurgulanmasında belirleyici faktör olmuştur. Bu olumsuz şartlar ve mimari ihtiyaçlar ışığında ileri mühendislik hesaplamalarının yapılması ve yenilikçi çözümler üretilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir.

Yapısal tasarımı 2016 yılında başlayan, projelendirme çalışmaları yürürlükteki 2007 Deprem Yönetmeliği şartlarına uygun olarak yapılmış ve Bayraklı Belediyesi Yüksek Yapılar için Uyulması Gereken Teknik Şartlar belgesinde tavsiye edilen zemin - yapı etkileşimi analizleri ve performans dayalı tasarım ilkeleri uygulanmıştır. Binanın tasarımını yönlendiren bu ilkeler daha sonra 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY) yüksek binalar için zorunlu hale getirilmiştir.

2018 Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin hazırlanmasında görev üstlenmiş ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Ana Bilim Dalı'nda öğretim üyesi olan Emeritus Prof. Dr. Mehmet Nuray Aydınoğlu, Prof. Dr. Sinan Akkar ve Dr. Şeref Şamil Polat'ın danışmanlığında zemin - yapı etkileşim analizleri Prof. Dr. Yasin Fahjan tarafından yapılmıştır. Yapısal çelik üst yapıya ait statik projelendirme hizmetleri ve performans dayalı yapısal tasarımı Meinhardt Türkiye yapı mühendisliği ekibi ve statik proje müellifi İnşaat Yüksek Mühendisi Onur Güleç (Meinhardt Group Türkiye Ülke Direktörü) tarafından yürütülmüştür.

Yapının yanal yük taşıyıcı sistemi, İzmir Körfezi tarafındaki ön cephede yapısal çelik diagrid sistem

(kolonsuz çaprazlı sistem), merkezde süneklik düzeyi yüksek betonarme çekirdek perde ve çatı katında outrigger truss (dış destek makas) ve belt truss (kemer makas) sistemi olmak üzere kompleks bir sistemden teşkil edilmiştir. Diagrid sistem ülkemizde bu ölçekte ilk defa uygulanmış bir sistem olma özelliğini barındırmaktadır. Diagrid sistem, merkezci çaprazlardan oluşan, düşey taşıyıcı bulunmayan ve çaprazların hem düşey hem yatay yüklere göre tasarlandığı, mimariye uygun olarak 2 ve 3 kat geçen elemanlar ile oluşturulmuş bir taşıyıcı formudur. Diagrid sistemin yatay deprem yükünün karşılanmasına katkısının düşey yük alanı ile orantılı olduğu gözlenmiştir. Kat döşemeleri, yapısal çelik kirişlerin metal sac üzerindeki betonarme ile kompozit olarak tasarlanmıştır.

Yapıda etkin betonarme çekirdek perde sistemi ve diagrid sistem ile özellikle üst katlarda görelî kat ötelemelerinin kontrol altına alınması için outrigger makas sistemi kurgulanmıştır. Outrigger makaslar çekirdeğin dar yönünde kurgulanmış ve kenar cephelerdeki kolonlara bağlanmıştır. Tüm cephe etrafında dönen kemer makas (Belt Truss) ile outrigger makasların bağlandığı kenar kolonlar arasında oluşması muhtemel deformasyon farklılıkları asgariye indirilmiştir. Biva Tower, ülkemizde outrigger sistemin uygulandığı birkaç yüksek binadan biri olma özelliğini kazanmıştır. Yüksek deprem riski bulunan bölgelerde hem diagrid taşıyıcı sistem hem de outrigger makasların birlikte kullanıldığı dünyadaki çok nadir projelerden birisidir. Kat planı merkezindeki betonarme çekirdek perdelerin etkin bir şekilde çalışabilmesi, sahada uygulaması kolay detayların oluşması ve daha önemlisi, çekirdek perde içine bağlanan mekanik ekipmanların geniş geçiş açıklara sahip olmasını mümkün kılan gömülü yapısal çelik bağ kirişleri, yine yenilikçi bir uygulama olarak projede tercih edilmiştir.

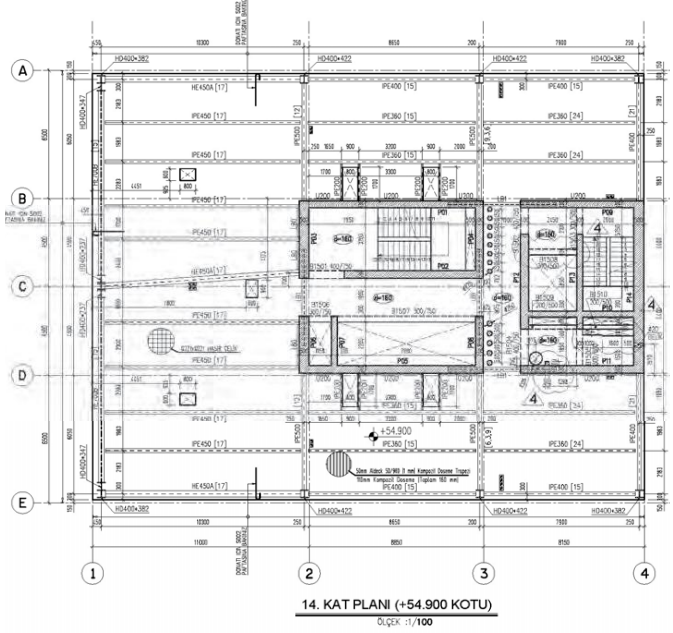
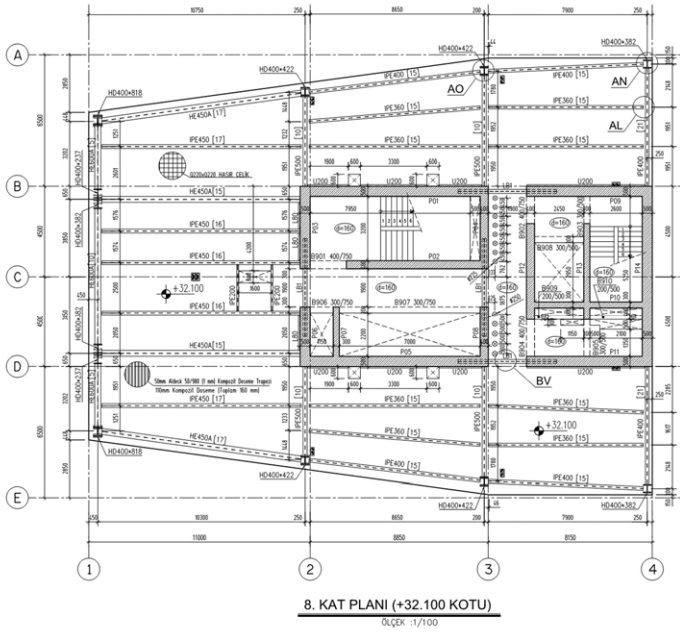
Proje genelinde, yapısal çelik birleşim detaylarında montajı kolaylaştıracak bulonlu (cıvatalı) detaylar tercih edilmiştir. Ancak, diagrid çaprazları, outrigger makas ekleri ile bina kolonlarının ekleri sahada tam nüfuziyetli kaynakla birleştirilmiştir. Sistem elemanlarında ve kolonlarda HiStar® yüksek malzeme sınıfı jumbo kesitler kullanılmıştır. Yüksek dayanım özellikleri, yeniden geri dönüştürülebilir bir malzeme olması, mimari tasarıma uygun ve fonksiyonel kullanımı gibi etkenler ile yapısal çelik malzemenin ön planda tutulduğu Biva Tower tamamıyla Türk inşaat mühendisleri ve mimarları tarafından tasarlanan, nitelikli mühendislik hizmetinin bir sonucu olarak yüksek performansa sahip bir yapı olarak hizmete girmiştir.

### MÜHENDİSLİK AÇIKLAMASI

**Taşıyıcı Sistem:** Yapının yatay yük taşıyıcı sistemi; betonarme çekirdek perde ve kenar aksta yapısal çelik diagrid sistem olarak kurgulanmıştır. Deprem yüklerinin karşılanmasında çekirdek perde ile birlikte diagrid sistemin oldukça efektif bir davranış sergilediği analizler neticesinde gözlenmiştir. Diagrid sistem elemanları haricindeki yapısal çelik elemanları yatay yük taşıyıcı sisteme yaslanan elemanlar olarak kurgulanarak üzerlerine tekabül eden yüklerde herhangi bir plastik deformasyon söz konusu olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Çatı katına yerleştirilen outrigger makas sistemi sayesinde yapının yatay rijitliği artırılmış, yapının yatay deplasmanları ve görelî öteleme değerleri azaltılmıştır.

**Temel:** Biva Tower projesi baret kazıklı radye temel üzerine konumlandırılmıştır. Hem sürtünme alanının artırılması hem de yüksek taşıma kapasitesi nedeniyle baret tipi kazık uygulanarak zeminde oluşabilecek farklı oturma ve dönmelerin önüne geçilmiştir. Kazıklı radye temel için yeterli taşıma



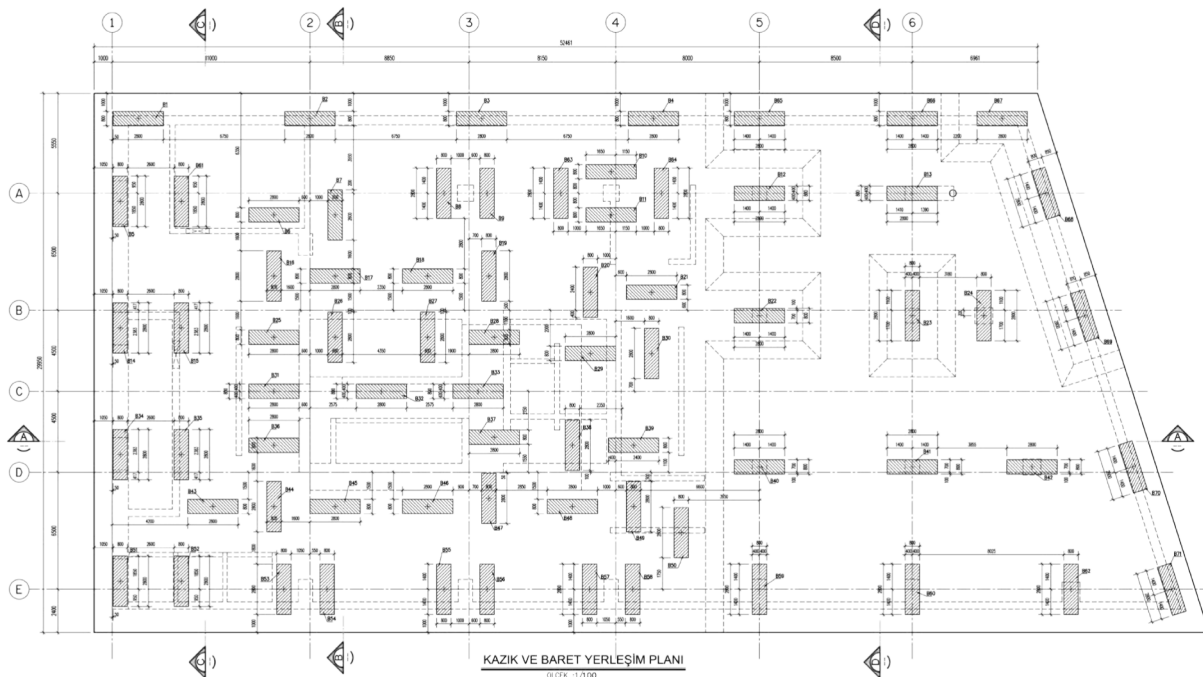


Tipik kat planları

gücünün sağlanması adına, 200m derinlikte dahi sert bir kaya zeminine rastlanılmayan alüvyon dolgu içerisinde sürtünme direnci ile çalışma prensibine dayalı olarak 80x280cm dikdörtgen boyutlu 55m uzunluğundaki 71 adet baret kazık uygulaması ile zemin seviyesinden 64m aşağıya ulaşan derin temel sistemi tasarlanmıştır. Kule çekirdeği iz düşümü altındaki bölgelerde 350cm kalınlığında rijit bir radye temel ile düşey ve yatay yükler baretlere aktarılmaktadır. Kule iz düşümü dışında kalan podyum kısımlarında ise 200cm kalınlığında baret kazıklı radye temel uygulanmıştır.

Zeminden 9m aşağıda teşkil edilmiş radye temel

altında yaklaşık olarak 15m kalınlığındaki denizel çökeller (alüvyon) mevcut olan arazide, içinde sıkı karela ile yerleştirilmiş 18m uzunluğunda  $\varnothing 80$ cm çapında 640 adet yüksek basınçlı zemine enjeksiyon kolonları (Jet-Grout) uygulanarak, temel altında olası sıvılaşma tehlikesini bertaraf etmek amacıyla iyileştirme yapılmıştır. Bu geoteknik çalışmalara ek olarak, deprem etkisi altında Zemin – Yapı Etkileşiminin (Soil – Structure Interaction) etkisinin irdelenmesi amacıyla sofistike zemin modellemesi ve analizi yapılmıştır. Yapı-zemin etkileşim analizi sonucunda, sahaya özel gerçek deprem tasarım ivmeleri belirlenmiş ve üst yapı tasarımında bu bilgiler kullanılmıştır.



Baret yerleşim planı

**Döşeme Sistemi:** Zemin kat üzerinde yükselen kuledeki normal kat döşemesi, taşıyıcı çelik kirişlerle kompozit şekilde çalışan 50mm hadve yüksekliğindeki kompozit metal trapez üzerinde 110mm kalınlığında beton bulunan normal kat döşemeleri (toplam 160mm kalınlığında döşeme), merkezde betonarme çekirdek perde duvarlar ve cephede yapısal çelik kolonlar tarafından taşınmaktadır. Yapısal çelik kirişlerin betonarme perdeye bağlantılarında gömülü plakalar kullanılmış ve kiriş bağlantı bayrak plakaları sahada yapım toleransını da dikkate alarak kaynaklı olarak birleştirilmiştir. Yapısal çelik kiriş birleşimleri bulonlu birleşimlerden oluşturularak, uygulama sahasında kaynaklı imalatlardan mümkün mertebe kaçınılmıştır.

**Kolonlar:** Zemin üzerindeki bina kolonları HiStar® yüksek dayanımlı malzeme sınıfı HD400 serisi jumbo kesitli çelik olarak seçilmiştir. Çelik kolon profilleri tüm bina boyunca kullanılmış, zemin kat altında ise hem basınç hem de çekme yükünü temele aktaracak şekilde kompozit kolon olarak tasarlanmıştır. Bodrum katındaki kompozit kolonlar 90x90cm ve 80x80cm ölçüsünde tasarlanmış, olası zamana bağlı sünme etkileri azaltılmıştır.

**Perdeler:** Yapıya etkileyen deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklerin çok büyük bir kısmı betonarme çekirdek perdeler ile karşılanmaktadır. Birbirinden bağımsız perdeler yapısal çelik bağ kirişleri ile bağlanarak yapının genel rijitliğinin artırılması hedeflenmiştir.

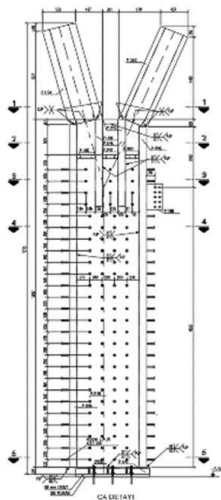
**Diagrid:** Binanın yatay yük taşıyıcı sistemi, betonarme çekirdek ve batı cephesinde çelik çaprazlardan oluşan "Diagrid" sistemden oluşmaktadır. Diagrid sistem uygulanan cephede kolon bulunmamaktadır. Merkezi çapraz elemanlar hem düşey yükleri hem de yatay yükleri taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Diagrid elemanlar için HiStar® S450 malzeme sınıfı HD400 serisi profil grubu

içinde en büyük kesitten en küçük kesite kadar geniş bir yelpazeden profil seçimi ile titiz bir şekilde malzeme optimizasyonu yapılmıştır.

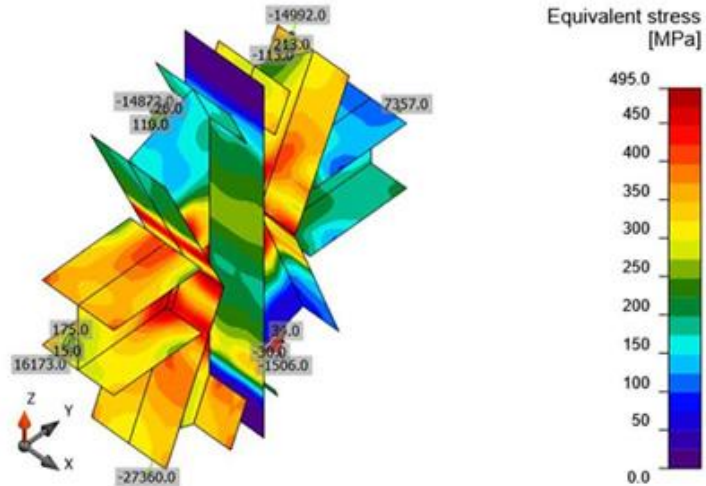
Betonarme çekirdeğin yapının merkezine yakın olmaması yapının kütle ve rijitlik merkezlerinin arasının açılmasına sebep olmuş ve burulma etkileri ön plana çıkmaya başlamıştır. Çekirdek perdelerinden en uzak cephe olan İzmir Körfezi manzaralı batı cephesinde kolonsuz düşey çapraz sistemi (diagrid) ile yapı zayıf yönünde rijitleştirilmeye çalışılmıştır. Böylece burulma etkilerinin azaltılması sağlanmıştır.

**Çelik Bağ Kirişi:** Bağ kirişlerinin yeterli yüksek sünekliliği sağlaması için betonarme tasarımında yüksek miktarda donatı yerleşimi gerekmekte ve buna bağlı olarak büyük eleman boyutları ortaya çıkmakta ve inşai olarak yavaşlatıcı etkisi olmaktadır. Bunun yerine, istenilen şekil değiştirmelere çok daha küçük tek bir eleman ile karşı koyabilmek için yapısal çelik bağ kirişi uygulamak alternatif olarak düşünülmüştür.

Günümüzde, yüksek yapılarda en yaygın kullanılan sistemlerden bir tanesi de birbirlerine bağ kirişleri ile bağlı betonarme perde duvarlı sistemlerdir. Bağ kirişleri, bu kirişler ile bağlı perde duvarların rijitliğini, bağlı olmayan duvarlara göre önemli miktarda artırır. Deprem bölgelerinde sünek bağ kirişleri kullanılarak yapının bu kirişler ile enerji sönümlenmesi de hedeflenir. Bağ kirişlerinde, perde duvarların arasındaki etkileşime bağlı olarak düşük seviyelerdeki yanal kuvvetler altında bile doğrusal olmayan kesme ve buna bağlı olarak eğilme şekil değiştirmeleri beklenebilir. Bu yüzden, tipik betonarme yüksek yapılarda bağ kirişlerindeki enerji sönümleniminin genelde perde duvarlardan daha fazla olması ve şiddetli bir deprem sonrası bu kirişlerdeki hasarın kalıcı olması beklenebilir.



Bodrum kattaki kompozit kolon ve üstündeki diagrid bağlantı detayı



Tipik diagrid birleşim nodu hesap modeli stres diyagramı



**Outrigger Makas:** Çatı katında yapısal sistem içerisine dâhil edilen outrigger (dış çapraz) makaslar, betonarme çekirdek ile cephe kolonlarını ilişkilendirmek suretiyle teşkil edilmiştir. Outrigger makasların kullanılmasındaki başlıca nedenler şöyledir: yapının rijitliğini artırarak yer değiştirmeleri azaltmak, betonarme çekirdek altında elde edilecek tasarım tesirlerini azaltmak, yapının burulma rijitliğini artırmak, yapı içerisinde alternatif bir yük yolu oluşturarak yapının olası "aşamalı göçme" (progressive collapse) durumuna direnç kazandırmaktır.

Outrigger makaslar bina çeperindeki kolonlar arasında teşkil edilen kemer makaslar (Belt Truss) ile birbirine bağlanmıştır. Böylece, makaslar arasındaki ve makasların bağlandığı kenar kolonlar arasındaki farklı oturmalar ve deformasyonlar kontrol altına alınıp cephe boyunca uniform hale getirilmiştir. Outrigger tasarımı, doğrusal olmayan analizlerden elde edilen maksimum kuvvetlere göre yapılarak elemanlarda gerçekleşebilecek doğrusal olmayan davranışın önüne geçilmiştir.

**Rüzgâr Tüneli Testi:** Proje için Almanya'da rüzgâr tüneli testi yapılmıştır. Test sonucu elde edilen veriler yapısal analiz modeline aktarılmıştır. Deprem yükleri rüzgâr yüklerine göre çok yüksek olduğu için rüzgâr yüklemesi tasarımı kontrol etmemektedir. Binanın rüzgâr altındaki ivmelenmesi ve köşe hızı değerleri konut binaları için kabul edilebilir değerler içinde kaldığı için konfor şartları sağlanmıştır.

## ANALİZ YÖNTEMİ

Yapı analizlerinde; malzemenin, doğrusal elastik sınırlar

içerisinde kaldığı lineer analiz yöntemleri ile doğrusal ötesi davranışın dikkate alındığı doğrusal olmayan analiz yöntemleri farklı yük durumlarında kullanılmıştır.

Yapı geometrisi 3 boyutlu olarak modellenmiş ve farklı yüklem durumları için plak ve çubuk eleman etkileri model üzerinde değerlendirilmiştir. Lineer analiz hesap aşamalarında, düşey yükler (yapı zati ağırlığı, kaplama ağırlığı) ve yatay yükler (rüzgâr yükleri ve toprak itkileri) dikkate alınmış, bu yüklerin etkisi altında yapısal çözümle ile elementer bazda kesit tesirleri elde edilmiştir. Deprem analizleri, Bayraklı Belediyesi sınırları içerisinde geçerli olan "Teknik Önermeler" ile uyumlu yöntemlerle yapılmıştır. Performans hedefi olarak "Can Güvenliği" (Kontrollü Hasar) performans düzeyi hedeflenmiştir.

Yapının rüzgâr yükleri, toprak yükleri gibi diğer yatay yükler altında yapacağı yer değiştirme ve şekil değiştirmelerin elastik sınırlar içinde kalması hedeflenmiştir. Bu yükler etkisi altındaki taşıyıcı elemanlar ETABS® programı yardımıyla boyutlandırılmıştır.

## DEPREM ETKİSİ

Proje sahası, Türkiye'de sismik aktivitenin yüksek olduğu Ege Bölgesi'nde yer almaktadır. Bu bağlamda, bölgede yer alan graben sistemleri (Gediz, Büyük Menderes, Küçük Menderes Grabenleri) İzmir için yapılacak sismik tehlike hesaplarında ana çizgisel sismik kaynağını temsil eder (Akkar vd., 2015). Aletsel dönemde kaydedilen depremler İzmir ve çevresinde sismik hareketliliğin çok olduğuna işaret etmektedir.

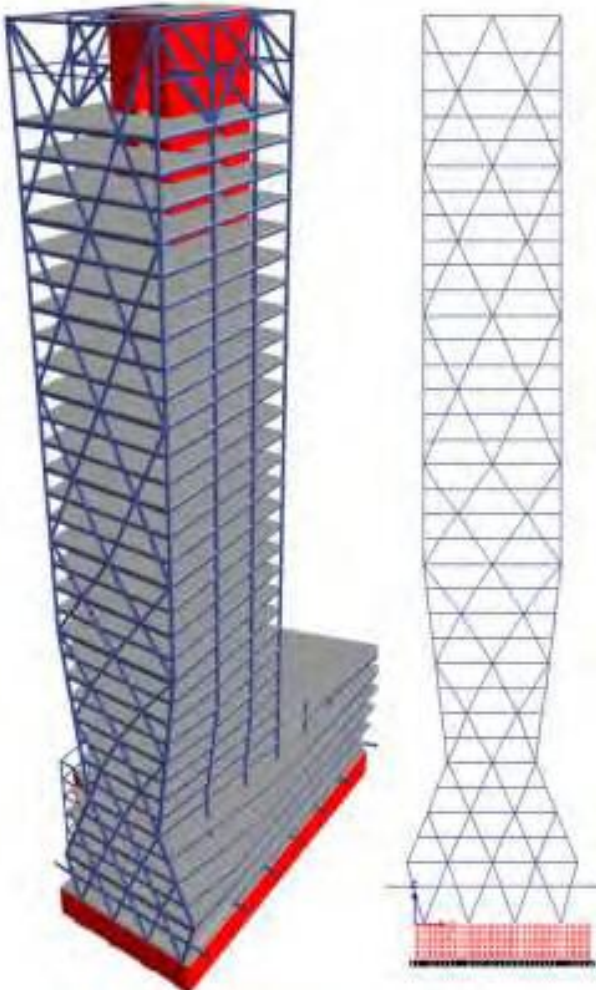
Bu proje için Akkar vd. tarafından, deprem ile uyumlu olan aday kayıtları seçilmiş, bu aday kayıtlar hedef spektral değerlere göre ölçeklendirilmiş ve bunlar arasından hedef spektruma yakın deprem kayıtları belirlenmiştir.

### PERFORMANS KRİTERLERİ

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve bu performans tanımları farklı yönetmelikler için değişiklik göstermektedir. Bu projede Türk yönetmelikleri (DBYBHY - 2007, İYBDY - 2008) dışında kritik yapı elemanlarının hasar sınırları değerlendirilmesinde FEMA 356 ve ASCE41-13 yönetmeliği de kullanılmıştır.

### ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

**Görelî Kat Öteleme Değerleri:** Dinamik analizler sonrası elde edilen x ve y yönü görelî kat ötemelerinde her iki yönde elde edilen değerlerin, 2500 yıllık tasarım depremi için verilen ve görelî kat öteleme sınır değeri olan, %2,5 değerinden küçük oldukları gözlemlenmiştir.



3D bilgisayar modelleri ve kesit görünüşleri

**Perde Eksenel Şekil Değişiklikleri:** Perde duvarların eğilme etkisi altındaki performansı, perde duvarların uç bölgelerindeki birim uzama – kısalma değerleri ile ölçülebilmektedir. Betonun çekme dayanımının ihmal edilmesiyle birlikte, perde uç noktasındaki birim uzama değeri donatı uzaması olarak kabul edilir ve donatı birim uzaması ile ilgili performans kıstası ile kıyaslanabilir. Perde duvar kesitinin tamamı veya bir kısmı basınç etkisi altında olup kısalmaya uğradığında, o bölgedeki beton ve donatıda da teorik olarak aynı kısalma değeri beklenir. Fakat çeliğin basınç dayanımının ve şekil değiştirme kapasitesinin betona göre çok daha yüksek olmasından dolayı, perde uç kısmındaki kısalma değeri beton birim kısalması ile ilgili performans kıstası ile kıyaslanabilir.

**Perde Kesme Kuvvet Kontrolleri:** Bu bölümde perde duvarların deprem performansını belirleyen ikinci unsur olan kesme etkisi, elastik kesme davranışı tanımlanarak irdelenmiştir. Betonarme kesitlerde olası kesme güç tükenmesi mekanizmalarından birisi de asal basınç güç tükenmesidir. Bu tür güç tükenmesinin önlenmesi için kesit üzerindeki en büyük kesme gerilmeleri sınırlandırılmıştır.



### Sonuç

İzmir Biva Tower projesi için Meinhardt Türkiye tarafından Biva Mimarlık için yapılan yapısal mühendislik hesaplarında, çelik bağ kirişleri ile bağlı betonarme perde duvarlı ve diagrid sistemli yüksek bina "Can Güvenliği/Kontrollü Hasar" performans seviyesini sağlamıştır. Bunun için ulusal ve uluslararası yönetmelikler ile tasarım kılavuzları göz önüne alınarak yapının doğrusal olmayan sistemsel analiz modeli oluşturulmuştur. Kinematik etkileşim hesaplarından elde edilen ivme verilerinin kullanılması sonucu yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizlerinde, her bir yapısal eleman ve genel olarak yapı sistemi incelenerek yapının performansının yerli ve yabancı yönetmeliklerde verilen sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür.

