

İTÜ



İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ İNŞAAT FAKÜLTESİ

Tarih ve sayı : 23.11.2020/860793

**İSTANBUL İLİ, TUZLA İLÇESİ, İÇMELER MAHALLESİ,
G22B17A1A PAFTA, 5981 ADA, 24 PARSEL NUMARALI ARSA
ÜZERİNDE YAPILACAK VEMA TUZLA KENTSEL DÖNÜŞÜM
PROJESİ KAPSAMINDAKİ BİNALARIN STATİK HESAPLARININ VE
BETONARME PROJELERİNİN KONTROLU HAKKINDA**

TEKNİK RAPOR

Istanbul Teknik Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Yönetmeliğine uygun olarak hazırlanmıştır.



Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Aralık 2020

İTÜ



İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ İNŞAAT FAKÜLTESİ

**İSTANBUL İLİ, TUZLA İLÇESİ, AYDINLI MAHALLESİ,
AYDINLI YOLU CADDESİ, ÇAĞDAŞ SOKAK, G22B17A1A PAFTA,
5981 ADA, 24 PARSEL NUMARALI ARSA ÜZERİNDE YAPILACAK
VEMA TUZLA KENTSEL DÖNÜŞÜM PROJESİ KAPSAMINDAKİ
BİNALARIN STATİK HESAPLARININ VE BETONARME
PROJELERİNİN KONTROLU HAKKINDA**

TEKNİK RAPOR

1. KONU

Tuzla Çevre Kentsel Dönüşüm İnşaat A.Ş. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi'ne müracaat ederek İstanbul İli, Tuzla İlçesi, Aydınli Mahallesi, Aydınli Yolu Caddesi, Çağdaş Sokak, G22B17A1A Pafta, 5981 Ada, 24 Parsel numaralı arsa üzerinde konut ve ticari kullanım amacı ile inşa edilen Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi kapsamındaki AB Blok ve C Blok Binasına ait 2E Teknik Dizayn Mühendislik İnşaat Proje Mimarlık Şti. tarafından yapılan statik hesapların ve betonarme projelerin kontrol edilmesi ve TBDY-2018 ve ilgili yönetmelikler açısından değerlendirilmesi hakkında bir teknik rapor hazırlanmasını istemiştir. Bu teknik rapor, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Dekanlığının 23.11.2020 tarih ve 860793 sayılı onayı ve İstanbul Teknik Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi ile Tuzla Çevre Kentsel Dönüşüm İnşaat A.Ş. arasında yapılan sözleşmeye uygun olarak hazırlanmıştır.

2. YAPININ GENEL TANIMI

İncelemeye konu olan binalar, İstanbul İli, Tuzla İlçesi, Aydınli Mahallesi, Aydınli Yolu Caddesi, Çağdaş Sokak, G22B17A1A Pafta, 5981 Ada, 24 Parsel numaralı arsa üzerinde konut ve ticari kullanım amacı ile yapılacak Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi kapsamındaki AB Blok ve C Blok olmak üzere 2 kısımdan oluşmaktadır.

Betonarme karkas taşıyıcı sisteme sahip olan bloklar konut ve ticari kullanım amacı ile tasarlanmıştır. AB Blok ve C Blok -31.6m kotuna kadar on kat, +3m kotu zemin kat, +6m kotu ile +39m kotu arası 1. normal kat ile 12. normal kat arası olarak, +42m kotu 13. normal kat, +45m kotu 14. normal kat ve +48m kotu teras kat olmak üzere toplam 26 kattan oluşan binalardır.

Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi AB Blok ve C Blok Statik ve Betonarme Hesaplarının, AB Blok ve C Blok Performans Analizi Raporlarının 2E Teknik Dizayn Mühendislik İnşaat Proje Mimarlık Şti. ise tarafından hazırlandığı anlaşılmaktadır. Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi

kapsamında yapılması planlanan binaların yapı taşıyıcı sistemleri üç boyutlu olarak modellenerek statik ve betonarme hesapları günümüz yönetmeliklerinin koşulları uyarınca yapılmış, elde edilen kesit tesirleri dikkate alınarak kesit donatı alanları belirlenmiş ve binanın projeleri hazırlanmıştır.

İ.T.Ü. Döner Sermaye İşletmesi Yönetmeliğine uygun olarak hazırlanan bu teknik raporla, 2E Teknik Dizayn Mühendislik İnşaat Proje Mimarlık Şti. tarafından yapının taşıyıcı sisteminin üç boyutlu analizleri ile günümüzde yürürlükte olan TS 500 (2000) ve Türkiye Deprem Bina Yönetmeliği (2018) şartnamelerine uygunluğu sorgulanmıştır. Sonuç olarak bu rapor, 2E Teknik Dizayn Mühendislik İnşaat Proje Mimarlık Şti. tarafından yapılan üç boyutlu modelleme sonucunda elde edilen değerler ve hesap dökümanları üzerinde yapılan incelemeler sonucunda hazırlanmıştır.

Raporun hazırlanması için Tuzla Çevre Kentsel Dönüşüm İnşaat A.Ş. tarafından verilen bilgi ve dokümanlar aşağıda görülmektedir.

1. Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi AB Blok Statik ve Betonarme Hesaplar, Tasarım Aşaması I Hesapları, 25.08.2020.
2. Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi C Blok Statik ve Betonarme Hesaplar, Tasarım Aşaması I Hesapları, 25.08.2020.
3. Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi AB Blok Performans Analizi, Tasarım Aşaması II Hesapları, 26.08.2020.
4. Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi C Blok Performans Analizi, Tasarım Aşaması II Hesapları, 25.08.2020.
5. Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi AB Blok ve C Blok Deprem Performans Analizi (Zaman Tanım Alanında Nonlineer Analiz Hesapları), Tasarım Aşaması III Hesapları, 25.08.2020.
6. Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi AB Blok Betonarme Donatı Paftaları, 25.08.2020.
7. Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi C Blok Betonarme Donatı Paftaları, 25.08.2020.

3. STATİK VE BETONARME PROJESİNİN İNCELENMESİ

2E Teknik Dizayn Mühendislik İnşaat Proje Mimarlık Şti. tarafından hazırlanan statik hesaplar STA4-CAD v.14.1 bilgisayar programı ile üç boyutlu modellenerek yapılmıştır. STA4-CAD paket programı çok katlı betonarme yapıların üç boyutlu analizini ve çizimlerini yapan bir paket programdır.

Söz konusu binaların (AB Blok ve C Blok) deprem etkisi altında çözümü, TBDY-2018' e göre, binalar $DTS=1$ ve $H_N > 70m$ olduğu için süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem ve yüksek bina olarak düzenlenmelidir. Yüksek binaların tasarımı TBDY-2018' e göre üç aşamada yapılır. Performans hedefleri ve tasarım aşamaları aşağıdaki gibi alınmalıdır:

- 1) Tasarım Aşaması I: DD-2 Deprem Yer Hareketi Altında Ön Tasarım ve Boyutlandırma: Bu aşamada DD-2 Deprem Yer Hareketinin etkisi altında Kontrollü Hasar (KH) performans hedefini sağlamak üzere yüksek binanın Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile ön tasarımı ve boyutlandırması yapılacaktır.
- 2) Tasarım Aşaması II: DD-4 veya DD-3 Deprem Yer Hareketi Altında Kesintisiz Kullanım (KK) veya Sınırlı Hasar (SH) Performans Hedefi İçin Değerlendirme-İyileştirme. Değerlendirme sonucunda verilen sınır değerlere göre gerekli görülürse ön tasarım iyileştirilecek ve değerlendirme tekrarlanacaktır.
- 3) Tasarım Aşaması III: DD-1 Deprem Yer Hareketi Altında Göçmenin Önlenmesi veya Kontrollü Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme – İyileştirme – Son Tasarım. Bu aşamada ilk iki tasarım aşaması tamamlanmış olan yüksek binanın DD-1 deprem yer hareketi

altında normal performans hedefi olarak göçmenin önlenmesi (GÖ) performans hedefini sağlamak üzere Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile performans değerlendirmesi yapılacaktır.

2E Teknik Dizayn Mühendislik İnşaat Proje Mimarlık Şti. tarafından STA4-CAD programına göre elde edilen, binanın statik ve betonarme hesapları üzerinde yapılan incelemeler sonucunda her blok için konu ile ilgili olarak aşağıdaki hususlar belirlenmiştir.

3.1. AB BLOK

AB Blok, -31.6m kotu ile +48m kotu arasında tanımlı 26 kattan oluşan betonarme karkas bir yapıdır. Projede bina -31.6m kotuna kadar on kat, + 3m kotu zemin kat, +6m kotu ile +39m kotu arası 1. normal kat ile 12. normal kat arası olarak, +42m kotu 13. normal kat, +45m kotu 14. normal kat ve +48m kotu teras kat olarak adlandırılmıştır. AB Blok planda bir doğrultuda 101.10 m diğer doğrultuda ise katlara göre plan boyutları değişen açıklıkları 8.7m, 6.6m, 5.5m, 8.2m, 2.3m, 3.2m, 5.0m gibi değerlerde olan aks sistemi üzerinde dikdörtgen formda oluşturulmuş bir binadır. Bir katta kolon sayısı 130 olup, X yönündeki aks sayısı 99, Y yönündeki aks sayısı 43' dür. Binanın düşey ve yatay yükler için taşıyıcı sistemi; kirişli plak döşeme, kiriş, kolon ve perdelerden oluşan perde-çerçeve taşıyıcı sistemlerden teşkil edilmiştir.

3.1.1. Tasarım Aşaması I: DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi Kontrollü Hasar (KH) Performans Hedefi İçin Dayanıma Göre Tasarım (DGT) Aşaması:

BYS=1 ve $H_N=83.20m > 70m$ olması sebebi ile bina yüksek yapı grubuna girmekte ve TBDY-2018' e göre Bölüm 13'e göre yani üç aşamada tasarımı yapılmalıdır.

Hesap belgelerinde zemin cinsi ZB olarak, zemin yatak katsayısı $K_o=13000 t/m^3$, zemin içsel sürtünme açısı $\phi=45^\circ$ zemin birim hacim ağırlığı $1.8 t/m^3$, K_{as} katsayısı 0.172 ve K_{pd} katsayısı 1.707 olarak alınmıştır. Hesap belgelerinde, yapıda kullanılması düşünülen beton sınıfı C40 ve betonarme çelik sınıfı (BS420C) olarak verilmiştir.

Döşeme sistemi, genel olarak kalınlığı 15cm ve 20cm olan kirişli plak döşemelerden oluşan binada bazı döşemelerde kalınlık 30cm (D2663, D2664, D2665, D2666) olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Tasarım hesaplarında hareketli yük tüm döşemelerde $5.00KN/m^2$ olarak alınmış ve çözümleme bu değerlere göre yapılmıştır. Döşeme yükleri kirişlere aktarılarak üç boyutlu modellemede kiriş, kolon ve perdelerden oluşan sistem modellenmiştir.

Düşey taşıyıcı elemanlar olarak farklı boyutlarda bir katta 130 kolonla tasarım yapılmıştır. Tasarımda dikdörtgen kesitli kolonların yanı sıra poligon kolon olarak adlandırılan farklı kesit görünümlü kolonlar da kullanılmıştır. Düşey taşıyıcı sistem elemanı olarak mimari kullanıma uygun olacak şekilde yerleştirilen ve yatay deprem yüklerinin karşılanmasında genişliği 40cm, 50cm ve 60 cm olacak şekilde planlanmış süneklik düzeyi yüksek perdeler teşkil edilmiştir. Yatay taşıyıcı elemanlar yani kirişler 25x60, 30x60, 30x70, 40x60, 40x70, 50x60, 50x70 (cmxcm) boyutlarında oluşturulmuştur.

Tasarımda kullanılan yük grupları zati yükler, hareketli yükler, rüzgâr yükleri, yatay doğrultularda deprem yükleri (X doğrultusunda deprem yükleri ve Y doğrultusunda deprem yükleri) ve düşey doğrultuda deprem yükleri olarak alınmıştır. Çözümlemede taşıyıcı sisteme etki ettirilen X ve Y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetleri en elverişsiz sonucu verecek şekilde elde edilmelidir. Bu yüzden 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde de verildiği şekli ile bir yönün hesabı yapılırken diğer yöndeki deprem kuvvetinin %30'u hesaba katılarak dikkate alınmıştır. Çözümlemede dikkate alınan söz konusu yük kombinasyonları AB Blok Binası Statik ve Betonarme Hesapları Raporunda verilmiştir.

Yapı taşıyıcı sistemi STA4-CAD v.14.1 Programında üç boyutlu olarak modellenmiş, yük kombinasyonları dikkate alınarak düşey yükler ve deprem yükleri altında statik çözümleme yapılmıştır. Modelleme bilgileri hesap belgeleri içinde her kat için verilmiştir. Ayrıca bina rüzgâr yükleri de dikkate alınarak çözümlenmiştir.

Standart tasarım deprem hareketi olarak, Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2) alınarak ZB zemin cinsi için AB Bloğun bina koordinatları (enlem/boylam) 40.8496° / 29.298° girilerek Türkiye Deprem Tehlike Haritasından $S_s=1.153sn$, $S_1=0.32sn$, $S_{ds}=1.038sn$, $S_{d1}=0.256sn$ olarak alınmıştır. Bu bilgilerle Türkiye Deprem Tehlike Haritasından hareketle Yatay Elastik Tasarım Spektrumu $S_{ae}(T)$ ve Düşey Elastik Tasarım Spektrumu $S_{ad}(T)$ belirlenmiştir. Bina taşıyıcı sistem katsayısı $R=7$, dayanım fazlalığı katsayısı $D=2.5$, hareketli yük katılım katsayısı $n=0.3$ olarak alınmıştır. Binanın özellikleri doğrultusunda bina kullanım sınıfı $BKS=3$, yapı önem katsayısı $I=1$, deprem tasarım sınıfı $DTS=1$ olarak belirlenmiştir. $DTS=1$ ve $H_N=83.2m$ olduğu için bina yükseklik sınırı $BYS=1$ olarak saptanmıştır. Bu aşamada Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile ön tasarım yapılmıştır. Mod Süperpozisyonu Yöntemi ile lineer analiz yapılmıştır.

AB Blok taşıyıcı sisteminin periyodunu bulmak için modal analiz yapılmış ve 48 mod dikkate alınarak binanın X ve Y yönündeki periyotları elde edilmiş, deprem hesabı üç boyutlu dinamik hesap yöntemi yani "Mod Birleştirme Yöntemi (deprem spektrumu ile hesaba dayalı lineer hesap)" ile yapılmıştır. Göz önüne alınacak mod sayısı, modlarla hesaba katılan kütleler toplamı yapı kütlelerinin yüzde doksandan fazla olacak şekilde seçilmiştir. Yapının modelleme bilgileri, eleman tanımlama bilgileri hesap belgeleri içinde verilmektedir. Yapının çözümlemesi yapılmış ve elverişsiz yüklemeler göz önüne alınarak taşıyıcı eleman (kiriş, kolon ve perde) kesit tesirleri bulunmuştur.

Hesap belgelerinden STA4-CAD programı ile yapılan modellemede, deprem yüklemesinde aşağıdaki bilgilerin hesaplandığı ve esas alındığı gözlenmiştir.

Deprem kuvvetlerinin hesabına esas yapı ağırlığı $W=G+nQ=84190.336$ ton olarak hesaplanmıştır. Hareketli yük katılım katsayısı, TBDY-2018' de verilen yapının kullanım amacına uygun olarak $n=0.30$ olarak alınmıştır. Yapının periyotları 48 mod dikkate alınarak ve dinamik analiz yapılarak sırası ile $T_x = 2.264sn$ ve $T_y = 2.14sn$ olarak elde edildiği görülmüştür. Periyot hesabında kütle oranı X yönünde %97.03, Y yönünde %97.02 olacak şekilde yeterli seviyede olduğu görülmektedir. T_x ve $T_y < 1.4T_{PA} = 2.69sn$ koşulunu sağlamaktadır. Bu bilgilerden hareketle toplam yapı ağırlığı $W_t=84190.336$ ton, toplam taban kesme kuvvetleri modal analizle, $V_{tx}=2253.23$ ton ve $V_{ty}=2393.06$ ton olarak, eşdeğer deprem yükü yöntemine göre ise $V_{tx}=4092.617$ ton ve $V_{ty}=4092.617$ ton elde edilmiştir. Deprem ek tasarım yükü ise her iki yön için 798.06 ton olarak bulunmuştur. Toplam taban kesme kuvvetleri için minimum taban kesme kuvveti $V_{tmin}=0.04\alpha_n S_{ds} W = 3495.58$ ton hesaplanarak $V_{te} \geq V_{tmin}$ kontrolü yapılmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)_x=R_a(T)_y=R/I=7(T > T_b)$ alınmıştır. Çözümlemede 2018 Türkiye Deprem Bina Yönetmeliğinde verilen hesap esaslarına uyulduğu ve Yönetmelik 'deki kontrollerin yapıldığı görülmüştür.

Düşey yük ve deprem etkisi altında yapılan çözümlemelerde bulunan sonuçlar değerlendirilerek gerekli kontroller yapılmıştır. Deprem perdeleri taban moment kontrolü yapılmış, perde taban moment oranı X yönü için $\alpha_m=0.24$, Y yönü için $\alpha_m=0.29$ olarak bulunmuştur. Deprem perde taban devrilme oranı $M_{dev} / M_o = 0.24$ değeri yönetmelikte verilen 0.4 koşulunu sağlamadığı için $M_{dev} / M_o > 0.4$ olacak şekilde perdeler artırılarak hesaba devam edilmiştir.

Yapılan kontroller sonucunda;

Yapıda A1 burulma düzensizliği kontrolü yapılmış ve $1.2 < \eta_{bi} = 1.8 < 2$ olması sebebi ile ayrıca B2 türü düzensizliğin bulunması sebebi ile deprem hesabı "Mod Süperpozisyonu Yöntemi (deprem spektrumu ile hesaba dayalı lineer hesap)" ile yapılmıştır. Binada B1 türü düzensizliğinin olmadığı ve etkin görelî kat ötelemesi kontrolünün sağlandığı görülmektedir. İkinci merteye gösterge değeri

$\theta_i=0.026 < \theta_{max}=0.086$ olması sebebi ile bu koşulun sağlanmış olduğu görülmektedir. Binaın X yönünde ve Y yönünde görelî kat ötelemesi sınırlandırılması koşulunun sağlandığı görülmektedir.

Güçlü kolon zayıf kiriş kontrolü, güçlü kolonların kat kesme güvenliği kontrolleri, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin kontrolü, kolonların kesme dayanım kontrolü, kolonların kesme güvenlik kontrolü, kirişlerin kesme tasarım kontrolü, kirişlerin kesme güvenlik kontrolü, kiriş sehim ve çatlak kontrolü, kiriş askı donatısı kesme kontrolü, perdelerin kesme güvenlik kontrolleri de yapılmıştır.

Döşemelerin statik ve betonarme hesabı yapılmış, ayrıca döşemelerde sehim kontrolü de yapılmıştır. Döşeme donatıları belirlenirken yönetmeliklerde verilen konstrüktif kurallara uyulduğu görülmüştür. Elverişsiz durumdaki hesap momentleri ve hesap kesme kuvvetleri dikkate alınarak kiriş, kolon ve perdelerin betonarme hesabı yapılmıştır. Ayrıca elverişsiz durumdaki hesap momentleri ve hesap kesme kuvvetleri dikkate alınarak panellerin betonarme hesabı da yapılmıştır. Panel moment ve kesme kapasite kontrolü yapılmıştır. Boyutlandırma yapılırken TS498-Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TS500-Betonarme Yapıların Boyutlandırılmasında Hesap ve Yapım Kuralları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 esaslarına uyulduğu ve Yönetmeliklerde belirtilen konstrüktif esaslara uyulduğu hesap raporlarından ve paftalardan gözlenmektedir.

Yapının temel sistemi, 250 cm yüksekliğe sahip plak (radye) temel sistemi ile teşkil edilmiştir. Temelin planda boyutları $L_x=101.10m$ ve $L_y=30.80m$ olarak planlanmıştır. Temel oluşturulurken zımbalama güvenliği sağlanacak şekilde oluşturulmuştur. Radye temelin kayma kontrolü yapılmış ve kayma güvenliğinin sağlandığı gösterilmiştir. Çözümleme yapılırken hesap belgelerinde verildiği şekli ile zemin cinsi ZB olarak, zemin taşıma gücü tasarım gerilmesi $q_t = 110 t/m^2$, zemin yatak katsayısı $K_o=13000 t/m^3$, zemin içsel sürtünme açısı $\phi=45^\circ$ zemin birim hacim ağırlığı $1.8 t/m^3$, K_{as} katsayısı 0.172 olarak alınmıştır.

Temel hesabında, temel sisteminin modelleme bilgileri AB Blok Binası Statik ve Betonarme Hesaplarında görülmektedir. Modelleme üst yapıdan ayrı olarak yapılmış, eleman düğüm noktalarında kolon aksel yükü (düşey yük), Moment-X ve Moment-Y yükleri girilmiştir. Bu yükler altında statik çözümleme yapılmış ve oluşan kesit tesirleri hem düşey yük altında ve hem de depremlî durumda söz konusu yük kombinasyonları için verilmiştir. Bu tesirler altında temel betonarme hesapları yapılmış ve kesit tesirleri ile birlikte AB Blok Binası, Statik ve Betonarme Hesaplarında verilmiştir. Temel donatılarının yönetmeliklere uygun seçildiği ve konstrüktif kurallara dikkat edilerek yerleştirildiği donatı paftalarından görülmektedir.

3.1.2.Tasarım Aşaması II: DD-4 veya DD-3 Deprem Yer Hareketi Altında Kesintisiz Kullanım (KK) veya Sınırlı Hasar (SH) Performans Hedefi İçin Değerlendirme-İyileştirme Aşaması.

AB Blok II. aşama deprem hesabı kapsamında, sınırlı hasar performans hedefi için modal hesap yöntemleri ile nonlineer hesap yapılmıştır. Bina, nonlineer kapasite hesabında çatlama kesit rijitlikleri ile çözümlenmiştir. İç kuvvetlerin hesabında $R=1$, $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınmıştır. I. Aşamada uygulanan minimum taban kesme kuvveti ($V_{tmin} = 0.04\alpha_n S_{ds} W$) $V_{te} \geq V_{tmin}$ koşulu uygulanmamıştır.

AB Blok Bina Performans Raporunda, kirişlerin ve kolonların kesme dayanım (sünek ya da gevrek davranış göstermesi) kontrolleri yapılmış, taşıyıcı elemanların sünek davranış yaptığı belirtilmiştir. Kirişlerin plastik mafsallık şekil değiştirme kapasiteleri hasar durumu sınırlı hasar olarak saptanmıştır. Benzer biçimde kolonların, panellerin ve perdelerin plastik mafsallık şekil değiştirme kapasiteleri hasar durumu sınırlı hasar olarak saptanmıştır.

AB Blok için $EKO=Md/Mr$ oranı kirişler ve kolonlar için belirlenmiştir. AB Blok Performans Analizi Raporunda belirtildiği gibi kirişler ve kolonlar için kat $EKO = \Sigma(V_i * EKO_i) / \Sigma V_i$ oranı kontrolünde kirişler için ($EKO < 5$), kolonlar için ($EKO < 3$) sınır koşullarının sağlandığı gösterilmiştir. Kirişler, kolonlar, paneller ve perdeler için nonlineer analiz ile statik hesaplar yapılarak iç kuvvetler elde

edilmiştir. Kiriş, kolon ve perdeler için mevcut donatılar dikkate alınarak eğilme momenti kapasitesi ve kesme kuvveti kapasitesi saptanmıştır. Ayrıca panel moment ve kesme kapasite kontrolü de yapılmıştır. Hesap raporlarında kolon kapasite kontrolü detaylı olarak verilmiştir. Kontrollerin uygun olduğu görülmektedir.

3.1.3.Tasarım Aşaması III: DD-1 Deprem Yer Hareketi Altında Göçmenin Önlenmesi veya Kontrollü Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme–İyileştirme–Son Tasarım.

AB Blok için Tasarım Aşaması III' de yapılan çalışma ve kontroller Bölüm 3.3' de verilmiştir.

3.2. C BLOK BİNASI

C Blok -31.6m kotu ile +48m kotu arasında tanımlı 26 kattan oluşan betonarme karkas bir yapıdır. Projede bina -31.6m kotuna kadar on kat, + 3m kotu zemin kat, +6m kotu ile +39m kotu arası 1. normal kat ile 12. normal kat arası olarak, +42m kotu 13. normal kat , +45m kotu 14. normal kat ve +48m kotu teras kat olarak adlandırılmıştır. C Blok planda bir doğrultuda 101.10 m diğer doğrultuda ise katlara göre plan boyutları değişen ve kısmen yarım daire formunda oluşturulmuş bir binadır. Bir katta kolon sayısı 126 olup, X yönündeki aks sayısı 239, Y yönündeki aks sayısı 182'dir. Binanın düşey ve yatay yükler için taşıyıcı sistemi; kirişli plak döşeme, kiriş, kolon ve perdelerden oluşan perde-çerçeve taşıyıcı sistemlerden teşkil edilmiştir.

3.2.1.Tasarım Aşaması I: DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi Kontrollü Hasar (KH) Performans Hedefi İçin Dayanıma Göre Tasarım (DGT) Aşaması:

BYS=1 ve $H_N = 83.2m > 70m$ olması sebebi ile bina yüksek yapı grubuna girmekte ve TBDY-2018' e göre Bölüm 13'e göre yani üç aşamada tasarımı yapılmalıdır.

Hesap belgelerinde zemin cinsi ZB olarak, zemin yatak katsayısı $K_o=13000 t/m^3$, zemin içsel sürtünme açısı $\varphi=45^\circ$, zemin birim hacim ağırlığı $1.8 t/m^3$, K_{as} katsayısı 0.172 ve K_{pd} katsayısı 1.707 olarak alınmıştır. Hesap belgelerinde, yapıda kullanılması düşünülen beton sınıfı C40 ve betonarme çelik sınıfı (BS420C) olarak verilmiştir.

Döşeme sistemi, genel olarak kalınlığı 15cm olan kirişli plak döşemelerden oluşan binada bazı döşemelerde kalınlık 20cm ve 16cm olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Tasarım hesaplarında hareketli yük tüm döşemelerde $5.00KN/m^2$ olarak alınmış ve çözümleme bu değerlere göre yapılmıştır. Döşeme yükleri kirişlere aktarılarak üç boyutlu modellemede kiriş, kolon ve perdelerden oluşan sistem modellenmiştir.

Düşey taşıyıcı elemanlar olarak farklı boyutlarda bir katta 126 kolonla tasarım yapılmıştır. Tasarımda dikdörtgen kesitli kolonların yanı sıra poligon kolon olarak adlandırılan farklı kesit görünümü kolonlar da kullanılmıştır. Düşey taşıyıcı sistem elemanı olarak mimari kullanıma uygun olacak şekilde yerleştirilen ve yatay deprem yüklerinin karşılanmasında genişliği 40cm, 50cm olacak şekilde planlanmış süneklik düzeyi yüksek perdeler teşkil edilmiştir. Yatay taşıyıcı elemanlar yani kirişler 25x60, 30x60, 30x70, 30x110, 30x140, 40x60, 40x70, 40x50, 40x140 (cmxcm) boyutlarında oluşturulmuştur.

Tasarımda kullanılan yük grupları zati yükler, hareketli yükler, rüzgâr yükleri, yatay doğrultularda deprem yükleri (X doğrultusunda deprem yükleri ve Y doğrultusunda deprem yükleri) ve düşey doğrultuda deprem yükleri olarak alınmıştır. Çözümlemede taşıyıcı sisteme etki ettirilen X ve Y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetleri en elverişsiz sonucu verecek şekilde elde edilmelidir. Bu yüzden 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde de verildiği şekli ile bir yönün hesabı yapılırken diğer yöndeki

deprem kuvvetinin %30'u hesaba katılarak dikkate alınmıştır. Çözümlemede dikkate alınan söz konusu yük kombinasyonları C Blok Binası Statik ve Betonarme Hesapları Raporunda verilmiştir.

Yapı taşıyıcı sistemi STA4-CAD v.14.1 Programında üç boyutlu olarak modellenmiş, yük kombinasyonları dikkate alınarak düşey yükler ve deprem yükleri altında statik çözümleme yapılmıştır. Modelleme bilgileri hesap belgeleri içinde her kat için verilmiştir. Ayrıca bina rüzgâr yükleri de dikkate alınarak çözümlenmiştir.

Standart tasarım deprem hareketi olarak, Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2) alınarak ZB zemin cinsi için C Bloğun bina koordinatları (enlem/boylam) 40.8496° / 29.298° girilerek Türkiye Deprem Tehlike Haritasından $S_s=1.153s_n$, $S_1=0.32s_n$, $S_{ds}=1.038s_n$, $S_{d1}=0.256s_n$ olarak alınmıştır. Bu bilgilerle Türkiye Deprem Tehlike Haritasından hareketle yatay elastik tasarım spektrumu $S_{ae}(T)$ ve düşey elastik tasarım spektrumu $S_{ad}(T)$ belirlenmiştir. Bina taşıyıcı sistem katsayısı $R=7$, dayanım fazlalığı katsayısı $D=2.5$, hareketli yük katılım katsayısı $n=0.3$ olarak alınmıştır. Binanın özellikleri doğrultusunda bina kullanım sınıfı $BKS=3$, yapı önem katsayısı $I=1$, deprem tasarım sınıfı $DTS=1$ olarak belirlenmiştir. $DTS=1$ ve $H_N=83.2m$ olduğu için bina yükseklik sınırı $BYS=1$ olarak saptanmıştır. Bu aşamada Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile ön tasarım yapılmıştır. Mod süperpozisyonu yöntemi ile lineer analiz yapılmıştır.

C Blok taşıyıcı sisteminin periyodunu bulmak için modal analiz yapılmış ve 48 mod dikkate alınarak binanın X ve Y yönündeki periyotları elde edilmiş, deprem hesabı üç boyutlu dinamik hesap yöntemi yani "Mod Birleştirme Yöntemi (deprem spektrumu ile hesaba dayalı lineer hesap)" ile yapılmıştır. Göz önüne alınacak mod sayısı modlarla hesaba katılan kütleler toplamı yapı kütesinin yüzde doksandan fazla olacak şekilde seçilmiştir. Yapının modelleme bilgileri, eleman tanımlama bilgileri hesap belgeleri içinde verilmektedir. Yapının çözülmesi yapılmış ve elverişsiz yüklemeler göz önüne alınarak taşıyıcı eleman (kiriş, kolon ve perde) kesit tesirleri bulunmuştur.

2E Teknik Dizayn Mühendislik İnşaat Proje Mimarlık Şti. tarafından STA4-CAD programı ile yapılan modellemede, deprem yüklemesinde aşağıdaki bilgilerin hesaplandığı ve esas alındığı gözlenmiştir.

Deprem kuvvetlerinin hesabına esas yapı ağırlığı $W=G+nQ=74713.545$ ton olarak hesaplanmıştır. Hareketli yük katılım katsayısı, TBDY-2018' de verilen yapının kullanım amacına uygun olarak $n=0.30$ olarak alınmıştır. Yapının periyotları 48 mod dikkate alınarak dinamik analiz yapılarak sırası ile $T_x=1.7386s_n$ ve $T_y=1.9561s_n$ olarak elde edildiği görülmüştür. Periyot hesabında kütle oranı X yönünde %95.73, Y yönünde %95.72 olacak şekilde yeterli seviyede olduğu görülmektedir. T_x ve $T_y < 1.4T_{PA}=2.69s_n$ koşulunu sağlamaktadır. Bu bilgilerden hareketle toplam yapı ağırlığı $W_f=74713.545$ ton, toplam taban kesme kuvvetleri modal analizle, $V_{tx}=1941.99$ ton ve $V_{ty}=2013.513$ ton olarak, eşdeğer deprem yükü yöntemine göre ise $V_{tx}=3357.734$ ton ve $V_{ty}=3357.74$ ton elde edilmiştir. Deprem ek tasarım yükü ise her iki yön için 654.76 ton olarak bulunmuştur. Toplam taban kesme kuvvetleri için minimum taban kesme kuvveti $V_{tmin} = 0.04 \alpha_n S_{ds} W = 3102.11$ ton hesaplanarak $V_{te} \geq V_{tmin}$ kontrolü yapılmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)_x = R_a(T)_y = R/I = 7 (T > T_b)$ alınmıştır.

Çözümlemede 2018 Türkiye Deprem Bina Yönetmeliğinde verilen hesap esaslarına uyulduğu ve Yönetmelik 'deki kontrollerin yapıldığı görülmüştür. Düşey yük ve deprem etkisi altında yapılan çözümlenelerde bulunan sonuçlar değerlendirilerek gerekli kontroller yapılmıştır. Deprem perdeleri taban moment kontrolü yapılmış, perde taban moment oranı X yönü için $\alpha_m=0.11$, Y yönü için $\alpha_m=0.12$ olarak bulunmuştur. Deprem perde taban devrilme oranı $M_{dev}/M_o=0.11 < 0.4$ koşulunu sağlamadığı için $M_{dev}/M_o > 0.4$ olacak şekilde perdeler artırılarak hesaba devam edilmiştir. Yapılan kontroller sonucunda;

Yapıda A1 burulma düzensizliği kontrolü yapılmış ve $1.2 < \eta_{bi} = 1.8 < 2$ olması sebebi ile ayrıca B2 türü düzensizliğinin bulunması sebebi ile deprem hesabı "Mod Süperpozisyonu Yöntemi (deprem spektrumu ile hesaba dayalı lineer hesap)" ile yapılmıştır. Binada B1 türü düzensizliğin olmadığı ve etkin görelî kat ötelemesi kontrolünün sağlandığı görülmektedir. İkinci mertbe gösterge değeri $\theta_i =$

$0.023 < \theta_{\max} = 0.0857$ olması sebebi ile bu koşulun sağlanmış olduğu görülmektedir. Bina'nın X yönünde ve Y yönünde görece kat ötelemesi sınırlandırılması koşulunun sağlandığı görülmektedir.

Güçlü kolon zayıf kiriş kontrolü, güçlü kolonların kat kesme güvenliği kontrolleri, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin kontrolü, kolonların kesme dayanım kontrolü, kolonların kesme güvenlik kontrolü, kirişlerin kesme tasarım kontrolü, kirişlerin kesme güvenlik kontrolü, kiriş sehim ve çatlak kontrolü, kiriş askı donatısı kesme kontrolü, perdelerin kesme güvenlik kontrolleri de yapılmıştır.

Döşemelerin statik ve betonarme hesabı yapılmış, ayrıca döşemelerde sehim kontrolü de yapılmıştır. Döşeme donatıları belirlenirken yönetmeliklerde verilen konstrüktif kurallara uyulduğu görülmüştür. Elverişsiz durumdaki hesap momentleri ve hesap kesme kuvvetleri dikkate alınarak kiriş, kolon ve perdelerin betonarme hesabı yapılmıştır. Ayrıca elverişsiz durumdaki hesap momentleri ve hesap kesme kuvvetleri dikkate alınarak panellerin betonarme hesabı da yapılmıştır. Panel moment ve kesme kapasite kontrolü yapılmıştır. Detaylar hesap belgeleri içinde, C Blok Binası Statik ve Betonarme Hesaplarında görülmektedir. Boyutlandırma yapılırken TS498-Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TS500-Betonarme Yapıların Boyutlandırılmasında Hesap ve Yapım Kuralları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 esaslarına uyulduğu ve Yönetmeliklerde belirtilen konstrüktif esaslara uyulduğu hesap raporlarından ve paftalardan gözlenmektedir.

Yapının temel sistemi, 120cm-180cm-250cm olmak üzere üç farklı yüksekliğe sahip plak (radye) temel sistemi ile teşkil edilmiştir. Temelin planda boyutları $L_x=101.10m$ ve $L_y=41.88m$ olarak planlanmıştır. Temeller oluşturulurken zımbalama güvenliği sağlanacak şekilde oluşturulmuştur. Radye temelin kayma kontrolü yapılmış ve kayma güvenliğinin sağlandığı gösterilmiştir. Çözümleme yapılırken hesap belgelerinde verildiği şekli ile zemin cinsi ZB olarak, zemin yatak katsayısı $K_0=13000 t/m^3$, zemin içsel sürtünme açısı $\phi=45^\circ$ zemin birim hacim ağırlığı $1.8 t/m^3$, K_{as} katsayısı 0.172 olarak alınmıştır. Temel hesabında, temel sisteminin modelleme bilgileri, C Blok Binası Statik ve Betonarme Hesaplarında görülmektedir. Modelleme üst yapıdan ayrı olarak yapılmış, eleman düğüm noktalarında kolon aksel yükü (düşey yük), Moment-X ve Moment-Y yükleri girilmiştir. Bu yükler altında statik çözümleme yapılmış ve oluşan kesit tesirleri hem düşey yük altında ve hem de depremlilikte söz konusu yük kombinasyonları için verilmiştir. Bu tesirler altında temel betonarme hesapları yapılmış ve kesit tesirleri ile birlikte C Blok Binası, Statik ve Betonarme Hesaplarında verilmiştir. Temel donatılarının yönetmeliklere uygun seçildiği ve konstrüktif kurallara dikkat edilerek yerleştirildiği donatı paftalarından görülmektedir.

3.2.2.Tasarım Aşaması II: DD-4 veya DD-3 Deprem Yer Hareketi Altında Kesintisiz Kullanım (KK) veya Sınırlı Hasar (SH) Performans Hedefi İçin Değerlendirme-İyileştirme Aşaması.

C Blok II. aşama deprem hesabı kapsamında, sınırlı hasar performans hedefi için modal hesap yöntemleri ile nonlineer hesap yapılmıştır. Bina, nonlineer kapasite hesabında çatlamış kesit rijitlikleri ile çözümlenmiştir. İç kuvvetlerin hesabında $R=1$, $R/I=1$ ve $D=1$ alınmıştır. I. Aşamada uygulanan minimum taban kesme kuvveti ($V_{\min}=0.04\alpha_n S_{ds} W$) $V_{te} \geq V_{\min}$ koşulu uygulanmamıştır.

C Blok Bina Performans Raporunda, kirişlerin plastik mafsalsal şekil değiştirme kapasiteleri hasar durumu sınırlı hasar olarak saptanmıştır. Kirişlerin iç kuvvetleri için (Etki/Kapasite) oranı $=EKO=M_d/M_r$ belirlenmiştir. Kirişlerde Etki/Kapasite oranı için sınır koşullarının sağlandığı gösterilmiştir. Benzer biçimde kolonların plastik mafsalsal şekil değiştirme kapasiteleri hasar durumu sınırlı hasar olarak saptanmıştır. Kolonların kesme kuvveti dağılımı da sınırlı hasar olarak saptanmıştır. Kolonlar için (Etki/Kapasite) oranı koşulunun sağlandığı gösterilmiştir.

Kirişler, kolonlar, paneller ve perdeler için nonlineer analiz ile statik hesaplar yapılarak iç kuvvetler elde edilmiştir. Kiriş, kolon ve perdeler için mevcut donatılar dikkate alınarak eğilme momenti kapasitesi ve kesme kuvveti kapasitesi saptanmıştır. Ayrıca panel moment ve kesme kapasite kontrolü

de yapılmıştır. Hesap raporlarında kolon kapasite kontrolü detaylı olarak verilmiştir. Kontrollerin uygun olduğu görülmektedir.

3.2.3.Tasarım Aşaması III: DD-1 Deprem Yer Hareketi Altında Göçmenin Önlenmesi veya Kontrollü Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme-İyileştirme-Son Tasarım.

C Blok için Tasarım Aşaması III' de yapılan çalışma ve kontroller Bölüm 3.3' de verilmiştir.

3.3. AB Blok ve C Blok için Tasarım Aşaması III: DD-1 Deprem Yer Hareketi Altında Göçmenin Önlenmesi veya Kontrollü Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme

Bu aşamada ilk iki tasarım aşaması tamamlanmış olan AB Blok' da ve C Blok' da, DD-1 deprem yer hareketi altında normal performans hedefi olarak göçmenin önlenmesi (GÖ) performans hedefini sağlamak üzere Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile performans değerlendirmesi yapılmıştır. Performansa göre tasarım hesap adımlarında TBDY-2018'e göre DD-1 deprem yer hareketi altında zaman tanım alanında lineer olmayan üç boyutlu analiz yöntemi kullanılarak göçme öncesi performans seviyesinin sağlandığı kontrol edilmiştir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı TBDY-2018' de taşıyıcı sistemi A13 olarak tanımlanan süneklik düzeyi yüksek perde + süneklik düzeyi normal çerçeve betonarme bina için $R=6$ alınmıştır. Zaman tanım alanında çözüm için gerçek deprem kayıtları alınmış, tasarım spektrumu ve deprem kayıtları arasında aritmetik ortalaması kıyaslaması da yapılmıştır.

Performans analizi için Perform 3D Programı kullanılmıştır. Perform 3D modeline altlık olması için Etabs 9.7.4 Programında AB Blok ve C Blok hesap modelleri oluşturulmuştur. Etabs 9.7.4' de AB Blok ve C Blok için oluşturulan hesap modelleri SAP2000 v14.2.4. Programına aktarılmıştır. SAP2000 Programında oluşturulan modelleme bilgileri Perform 3D Programına aktarılarak bütün nonlineer tanımlamalar Perform 3D Programında yapılmıştır. Üç boyutlu modellemede döşemeler kullanılmamış, döşeme yükleri kirişlere aktarılarak kiriş, kolon ve perdeden oluşan taşıyıcı sistem elemanları ile modelleme yapılmıştır. Sargılı beton gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin hesabı için Mander tarafından verilen bağıntılar kullanılmıştır. Donatı malzemesi için birim şekil değiştirmeler TBDY-2018' de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır. Zaman tanım alanında lineer olmayan analiz için TBDY-2018' de belirtildiği gibi sönüm oranı % 2.5 olarak alınmıştır. Perform 3D modellemesinde taşıyıcı sistem elemanları fiber elemanlarla modellenmiştir.

Analiz sonuçları değerlendirilmiş, en fazla enerji tüketiminin betonarme kirişlerde olduğu gözlenmiştir. Göreli kat öteleme kontrolleri de yapılmıştır. Perform 3D Programından alınan maksimum kesme kuvveti değerleri kolon, perde ve kiriş elemanlar için hesaplanan kesme kapasiteleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca taşıyıcı sistem elemanlarındaki maksimum uzama (donatıdaki şekil değiştirme) ve kısalma değerleri (betondaki şekil değiştirme) TBDY-2018' e göre belirlenen sınırlar ile kıyaslanmıştır.

AB Blok kolon, kiriş ve perdelerin birim şekil değiştirme değerleri incelendiğinde göçmenin önlenmesi hasar sınırını aşan eleman bulunmamaktadır. Kolon kiriş ve perdelerin tamamı sınırlı veya belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır. Ayrıca kesme kontrolleri yapılmış kesme kapasitesini aşan eleman da bulunmamaktadır.

C Blok için kolon, kiriş ve perdelerin birim şekil değiştirme değerleri incelendiğinde göçmenin önlenmesi hasar sınırını aşan eleman bulunmamaktadır. Kolon kiriş ve perdelerin tamamı sınırlı veya belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır. Ayrıca kesme kontrolleri yapılmış kesme kapasitesini aşan eleman da bulunmamaktadır.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

İstanbul İli, Tuzla İlçesi, Aydınlı Mahallesi, Aydınlı Yolu Caddesi, Çağdaş Sokak, G22B17A1A Pafta, 5981 Ada, 24 Parsel' de uygulanması planlanan Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi kapsamındaki AB Blok ve C Blok binalarına ait 2E Teknik Dizayn Mühendislik İnşaat Proje Mimarlık Şti. tarafından yapılan çözümlenmeye göre hazırlanan statik hesapların ve betonarme projelerin kontrolü yapılmış ve bu çalışmanın detayları yukarıda verilmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'e göre, söz konusu binalar yüksek yapı grubuna girmekte ve Bölüm 13'e göre yani üç aşamada tasarımı yapılmalıdır. Bu teknik rapor kapsamında yapılan kontroller; AB Blok ve C Blok Tasarım Aşaması I-Statik ve Betonarme Hesaplar, AB Blok ve C Blok Tasarım Aşaması II-Performans Analizi Hesapları, AB Blok ve C Blok Tasarım Aşaması III-Deprem Performansı Analizi Hesapları (Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz), AB Blok Betonarme Donatı Paftaları ile C Blok Betonarme Donatı Paftaları üzerinde yapılmıştır.

Yukarıda verilen değerlendirmeler çerçevesinde, inceleme konusu İstanbul İli, Tuzla İlçesi, Aydınlı Mahallesi, Aydınlı Yolu Caddesi, Çağdaş Sokak, G22B17A1A Pafta, 5981 Ada, 24 Parsel' de Vema Tuzla Kentsel Dönüşüm Projesi kapsamında uygulanması planlanan AB Blok ve C Blok Binaları Tasarım Aşaması I-Statik ve Betonarme Hesaplarının, AB Blok ve C Blok Tasarım Aşaması II-Performans Analizi Hesaplarının, AB Blok ve C Blok Tasarım Aşaması III-Deprem Performansı Analizi Hesaplarının (Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz), AB Blok Betonarme Donatı Paftalarının ve C Blok Betonarme Donatı Paftalarının, şu anda yürürlükte olan TS500 Betonarme Yapıların Boyutlandırılmasında Hesap ve Yapım Kuralları (2000) ve Türkiye Deprem Bina Yönetmeliği (2018) teknik şartnamelerine uygun olarak hazırlandığı görüş ve kanaatine varılmıştır.

Durumu bilgilerinize sunarım. Saygılarımla.

8.12.2020

Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
34469 Maslak/İstanbul

