



Orta Doğu Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Gazbeton, Tuğla ve Bims Blok Kullanımının Bina Statik
Tasarımına ve Maliyetine olan Etkilerinin İncelenmesi**

**Yrd. Doç. Dr. Özgür Kurç
Engin Burak Anıl**

4 Mart 2008

Bu rapor Orta Doğu Teknik Üniversitesi
07-03-03-1-0069 kodlu danışmanlık projesi kapsamında hazırlanmıştır

GİRİŞ

Günümüzde artan inşaat maliyetleri göz önüne alındığında, yapı yüklerinde sağlanabilecek bir azalma, statik tasarım sırasında betonarme elemanların boyutlarının küçülmesine ya da demir donatı miktarından tasarruf edilmesini sağlayabilmektedir.

Binaya etkiyen sabit ve hareketli yükler ile olası deprem yüklerinin dikkate alınmasıyla yapılan yapı statik tasarımında, yapıda duvar malzemesi olarak gazbeton kullanılacağına dikkate alınması ile önemli avantajlar sağlanmaktadır.



Yapının hafiflemesi, yapı ağırlığı ile orantılı hesaplanan deprem yüklerinin de azalmasına yol açacağından ilave deprem güvenliği sağlar.

Yapının hafifletilmesi amacıyla daha hafif malzemeler kullanılması önemlidir. Gazbeton, diğer duvar malzemelerine göre önemli oranda daha hafiftir.

Buradan yola çıkılarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi, duvarlarda gazbeton kullanımının yapı hafiflemesine, dolayısıyla statik tasarıma ve maliyetlere etkisini araştıran bir çalışma yürütmüştür.

Çalışma; Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Yrd. Doç. Dr. Özgür Kurç tarafından hazırlanarak ekte sunulmuştur.

ÖZET

Ön Hazırlık:

- Çalışma kapsamında tabanı yaklaşık 400m² plan alanına sahip, sekiz katlı, betonarme bir bina modellenmiştir
- Statik tasarıma esas tüm diğer şartlar aynı kalmak kaydıyla yalnızca duvar malzemesi değiştirilerek yapı yeniden tasarlanmış, tasarım farklılıkları, ağırlık, maliyet gibi unsurlar karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar:

- **Bina Ağırlığı Hakkında:** Binalarda gazbeton kullanımı bina ağırlığını önemli bir miktarda azaltmaktadır. Gazbeton kullanılan binanın ağırlığı tuğla kullanılan binanın ağırlığından %22, bims blok kullanılan binanın ağırlığından %15 daha düşüktür.
- **Deprem Kuvvetleri Hakkında:** Bina ağırlıklarındaki farklılıklar deprem yüklerine de yansımıştır. Gazbeton kullanılan binaya etkiyen deprem kuvvetleri tuğla ve bimsblok kullanılan binalara göre %20 ve %13 daha azdır.
- **Döşeme-kiriş, kolon ve temel tasarım hakkında:** Bina ağırlığındaki azalma kiriş ve döşeme tasarımında etkisini fazla gösterememekle birlikte, asıl etkisi kolon tasarımı sırasında hissedilmiştir. Gazbeton kullanılan binaya gelen deprem yüklerinin daha az olması, diğer tasarımlara nazaran daha küçük kolon boyutları kullanılmasına yol açmıştır.
- **Temel Maliyeti hakkında:** Gazbeton kullanımının bina ağırlığında ve deprem yüklerinde sağladığı azalmanın avantajları temel tasarımında da hissedilmiştir. Tasarımı yapılan model binada gazbeton kullanımı temel yapımında 46 m³ (%20) beton ve 6 ton (%27) donatı tasarrufunu ve temel maliyetinde yaklaşık %22'lik bir azalma sağlanmıştır.
- **Betonarme Maliyeti Hakkında:** Bina maliyetleri incelendiğinde gazbeton kullanılan binanın betonarme yapım maliyeti tuğla kullanılan binadan %8,9, bims blok kullanılan binadan %7,9 daha ucuza gelmektedir.

Amaç

Bu çalışmada mimari projesi Şekil 1’de gösterilen sekiz katlı betonarme binanın tasarımı sırasında farklı duvar malzemelerin kullanımının yapısal tasarıma ve bina maliyetine etkileri incelenmiştir. Tip bina ilk olarak gazbeton duvar malzemesi kullanılarak tasarlanmış ve daha sonra duvar malzemesi tuğla ve bims blok olarak değiştirilerek tekrar tasarlanmıştır. Her bir durum için binanın yapısal elemanlarının boyutları ve gerekli donatıları hesaplanarak bir metraj çıkartılmış ve maliyet hesabı yapılmıştır.

Bina tasarımı sırasında iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Asıl tasarım olarak adlandırılan ilk yaklaşımda bina tasarımında TS 500’de belirtilen bütün kurallara ve sınırlamalara uyulmuş ve eleman boyutları belirlenmiştir. Sınır koşullarda tasarım olarak adlandırılan ikinci yaklaşımda ise TS 500’de verilen eleman boyutları sınırlamaları göz ardı edilmiş ancak sehim sınırlamalarına uyularak döşeme ve kirişler boyutlandırılmıştır. Bu sayede farklı duvar malzemesi kullanımının düşey taşıyıcı eleman boyutlarına ne gibi etkileri olacağı incelenmiş ve TS 500’deki boyut sınırlamalarının yetersiz olduğu yapılarda tasarımın ne ölçüde değişeceği hakkında bir öngöründe bulunma imkanına sahip olunmuştur.

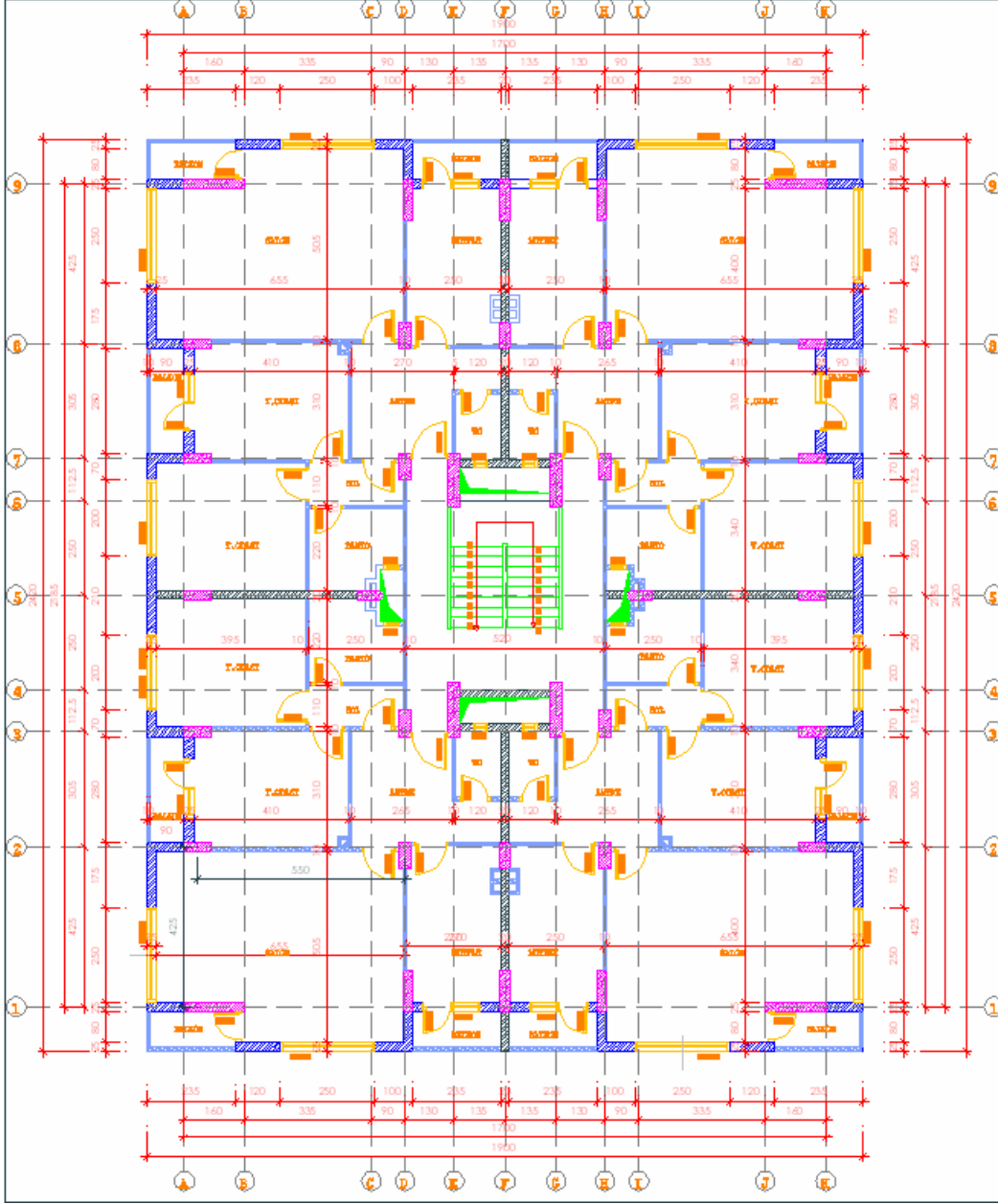
Yükler

Bina tasarımında aşağıda belirtilen yükler kullanılmıştır. Yüklemeler TS 498 (1987)’den alınmıştır.

Ölü Yük: Bütün tasarımlarda döşemelerin üzerinde 5 cm kalınlığında şap betonu ve üzerine 2 cm kalınlığında seramik olacağı varsayılmıştır.

$$\begin{array}{ll} 5 \text{ cm şap} & : 0,05 * 22 = 1,10 \text{ kN/m}^2 \quad (TS 498 - 1987) \\ \underline{2 \text{ cm seramik}} & : \underline{0,02 * 22 = 0,44 \text{ kN/m}^2} \quad (TS 498 - 1987) \end{array}$$

$$\text{Ölü Yük} \quad : 1,54 \text{ kN/m}^2$$



Şekil 1: Tip Kat Mimari Plan

Hareketli Yük: Bütün tasarımlar için TS498'de konutlar için belirtilen yüklemeler kullanılmıştır.

Hareketli Yük : $2,00 \text{ kN/m}^2$

Duvar Ağırlıkları: Şekil 1’de gösterilen mimari projede üç farklı duvar tipi kullanılmıştır:

- Odalar arası 10 cm kalınlığındaki duvarlar
- Daireler arası 20 cm kalınlığındaki duvarlar
- Bina dış yüzeyinde 25 cm kalınlığındaki duvarlar

Yukarıda belirtilen duvar tiplerinin üç farklı malzeme için ağırlıkları sırasıyla Tablo 1- Tablo 9’da gösterilmiştir. Bu tablolarda duvar tipleri için kullanılan sıva miktarları, malzeme yoğunlukları da ayrıca gösterilmiştir. Tablolarda hesaplanan ağırlıklar net kat yükseklikleriyle çarpılarak döşemeye etkileyen duvar yükleri hesaplanmıştır.

Tablo 1: Gazbeton Dış Duvar Ağırlığı

Gazbeton (25 cm dış duvar)	Yoğunluk (kN/m³)	Ağırlık (kN/m²)
Gazbeton blok (25cm)	4,00	1,00
Dış sıva (2 cm)	18,00	0,36
İç sıva (1cm)	12,00	0,12
Toplam Ağırlık (kN/m²)		1,48

Tablo 2: Gazbeton 20 cm İç Duvar Ağırlığı

Gazbeton (20 cm iç duvar)	Yoğunluk (kN/m³)	Ağırlık (kN/m²)
Gazbeton blok (20cm)	4,00	0,80
İç sıva (1cm)	12,00	0,12
İç sıva (1cm)	12,00	0,12
Toplam Ağırlık (kN/m²)		1,04

Tablo 3: Gazbeton 10 cm İç Duvar Ağırlığı

Gazbeton (10 cm iç duvar)	Yoğunluk (kN/m³)	Ağırlık (kN/m²)
Gazbeton blok (10cm)	4,00	0,40
İç sıva (1cm)	12,00	0,12
İç sıva (1cm)	12,00	0,12
Toplam Ağırlık (kN/m²)		0,64

Tablo 4: Tuğla Dış Duvar Ağırlığı

Tuğla dış duvar	Yoğunluk (kN/m³)	Ağırlık (kN/m²)
Tuğla (13.5 cm)	8,00	1,08
Izolasyon (3 cm)	0,15	0,0045
İç Tuğla Blok (8.5 cm)	8,00	0,68
Dış Sıva (4 cm)	20,00	0,80
İç Sıva (3 cm)	18,00	0,54
Toplam Ağırlık (kN/m²)		3,10

Tablo 5: Tuğla 20 cm İç Duvar Ağırlığı

Tuğla iç duvar (20 cm)	Yoğunluk (kN/m³)	Ağırlık (kN/m²)
Tuğla (19 cm)	8,00	1,52
İç Sıva (3 cm)	18,00	0,54
İç Sıva (3 cm)	18,00	0,54
Toplam Ağırlık (kN/m²)		2,60

Tablo 6: Tuğla 10 cm İç Duvar Ağırlığı

Tuğla iç duvar (10 cm)	Yoğunluk (kN/m³)	Ağırlık (kN/m²)
Tuğla (8.5 cm)	8,00	0,68
İç Sıva (3 cm)	18,00	0,54
İç Sıva (3 cm)	18,00	0,54
Toplam Ağırlık (kN/m²)		1,76

Tablo 7: Bims Blok Dış Duvar Ağırlığı

Bims Dış Duvar (25 cm)	Yoğunluk (kN/m³)	Ağırlık (kN/m²)
Bims blok (25 cm)	9,00	2,25
İzolasyon (3 cm)	0,15	0,0045
Özel manto sıvası (2 cm)	20,00	0,40
Dış Sıva (0,5 cm)	20,00	0,10
İç Sıva (2 cm)	18,00	0,36
Toplam Ağırlık (kN/m²)		3,11

Tablo 8: Bims Blok 20 cm İç Duvar Ağırlığı

Bims İç Duvar (20 cm)	Yoğunluk (kN/m³)	Ağırlık (kN/m²)
Bims blok (20 cm)	9,00	1,80
İç Sıva (2 cm)	18,00	0,36
İç Sıva (2 cm)	18,00	0,36
Toplam Ağırlık (kN/m²)		2,52

Tablo 9: Bims Blok 10 cm İç Duvar Ağırlığı

Bims İç Duvar (10 cm)	Yoğunluk (kN/m³)	Ağırlık (kN/m²)
Bims blok (10 cm)	9,00	0,90
İç Sıva (2 cm)	18,00	0,36
İç Sıva (2 cm)	18,00	0,36
Toplam Ağırlık (kN/m²)		1,62

Deprem Yükleri: Bütün tasarımlar binanın 1. derece deprem bölgesinde inşa edileceği varsayılarak yapılmıştır. Türk Deprem Yönetmeliği'ne (2007) göre deprem yüklerinin hesabında kullanılan değerler aşağıda gösterilmiştir.

- Deprem Bölgesi 1
- Etkin Yer İvme Katsayısı, $[A_0]$ 0,4
- Bina Önem Katsayısı, $[I]$ 1,0
- Yerel Zemin Sınıfı Z2
- Spektrum Karakteristik Periyotları $T_A=0,15$ s, $T_B=0,4$ s
- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı $R=4$
- Hareketli Yük Katılım Katsayısı $n=0,3$

Yukarıdaki değerlerden de anlaşılacağı gibi bina normal konut binası olarak tasarlanmış ve taşıyıcı sistemin normal süneklik düzeyine sahip olacağı varsayılmıştır. Binanın katı kil zemin üzerine oturacağı düşünülerek deprem yükleri Z2 zemin tipine göre hesaplanmıştır.

Deprem Etkisi

Bu bölümde verilen sonuçlar bina boyutları TS500'deki bütün sınırlamalara uyulup sonlandırıldıktan sonra hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 10'da bina ağırlıkları ve sırasıyla Tablo 11-Tablo 13'de binaların deprem hesabında kullanılan kütlesi, periyodu, taban kesme kuvveti ve deprem kuvvetlerinin yarattığı toplam taban momenti gösterilmiştir. Periyotların her iki eksen için birbirlerine çok yakın olmasından dolayı aşağıdaki tablolarda en küçük periyot değerine göre hesaplanmış değerler gösterilmiştir.

Tablo 10: Bina Ağırlıkları

Gazbeton	3512,22 ton
Tuğla	4276,79 ton
Bims Blok	4027,12 ton

Tablo 11: Gazbeton Kullanılan Binadaki Deprem Yükleri

Gazbeton	
Yapı Kütlesi (G+0.3Q)	3779,62 ton
Periyot	0,919 saniye
Taban Kesme Kuvveti	485,71 ton
Taban Momenti	8186,32 ton.m

Tablo 12: Tuğla Kullanılan Binadaki Deprem Yükleri

Tuğla	
Yapı Kütlesi (G+0.3Q)	4544,19 ton
Periyot	0,956 saniye
Taban Kesme Kuvveti	565,82 ton
Taban Momenti	9537,11 ton.m

Tablo 13: Bims Blok Kullanılan Binadaki Deprem Yükleri

Bims Blok	
Yapı Kütlesi (G+0.3Q)	4294,52 ton
Periyot	0,943 saniye
Taban Kesme Kuvveti	540,62 ton
Taban Momenti	9111,69 ton.m

Yukarıdaki tablolardan da görüleceği gibi gazbeton kullanımı binayı hafifletmiş ve depremin yarattığı taban kesme kuvvetini ve momenti azaltmıştır (Tuğla duvarlı binaya göre %20, bims blok duvarlı binaya göre %13).

Malzeme

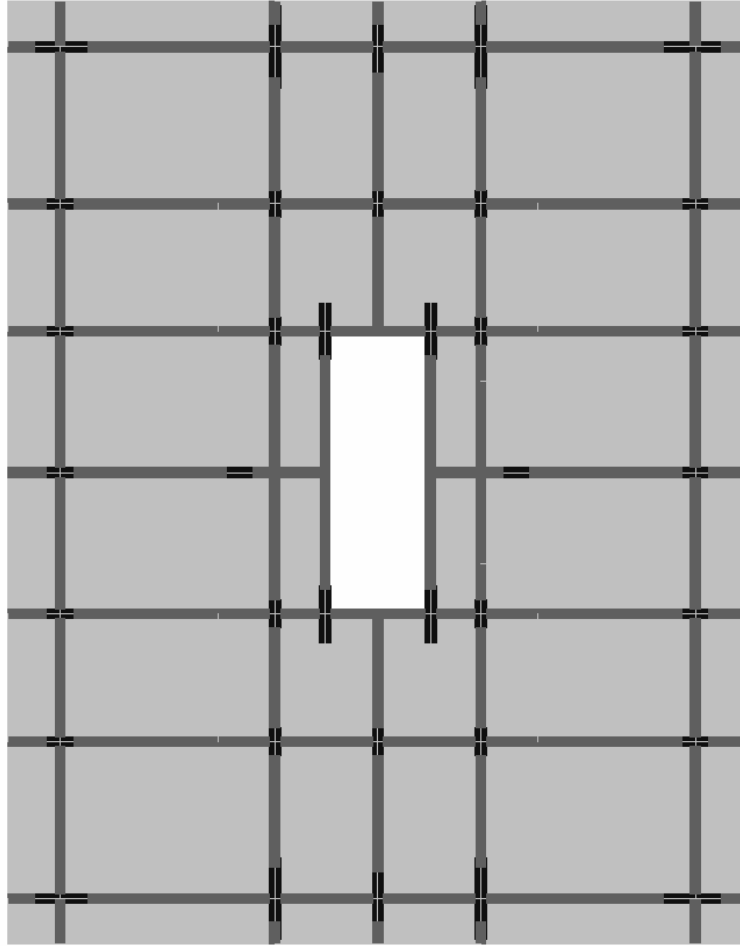
Bina betonarme yapı olarak tasarlanmıştır. Bütün yapısal elemanlarda S420a sınıfı donatı kullanılmıştır. Çeşitli yapısal elemanların tasarımında kullanılan beton sınıfları da aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Aşağıda adı geçen beton sınıflarının tasarım sırasında kullanılan bütün malzeme özellikleri TS500'den alınmıştır.

Tablo 14: Yapısal Eleman Tasarımında Kullanılan Beton Sınıfları

Yapısal Eleman	Beton Sınıfı
Kiriş ve döşemeler	C25
Kolonlar	C25
Temeller	C20

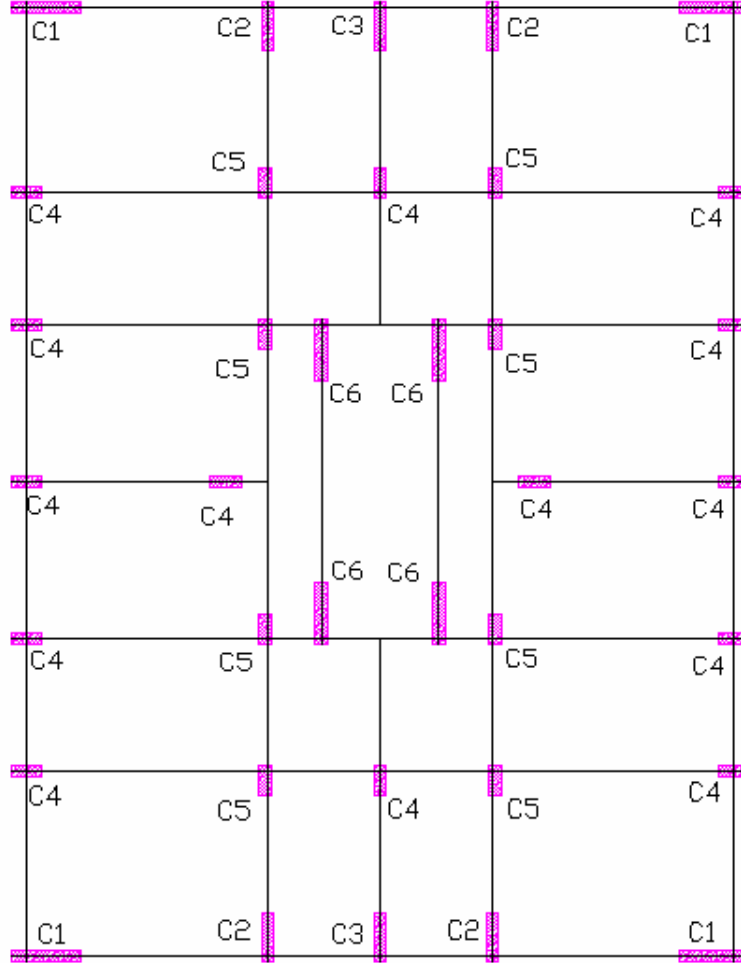
Yapısal Elemanların Tasarımı

Şekil 2’de binanın tasarımında kullanılan çerçeve sistemi gösterilmiştir. Siyah renkli elemanlar kolonları, koyu gri renkli elemanlar kirişleri ve açık gri renkli elemanlar da döşemeleri temsil etmektedir. Kiriş genişlikleri bütün tasarımlar için 25 cm olarak kullanılmıştır.



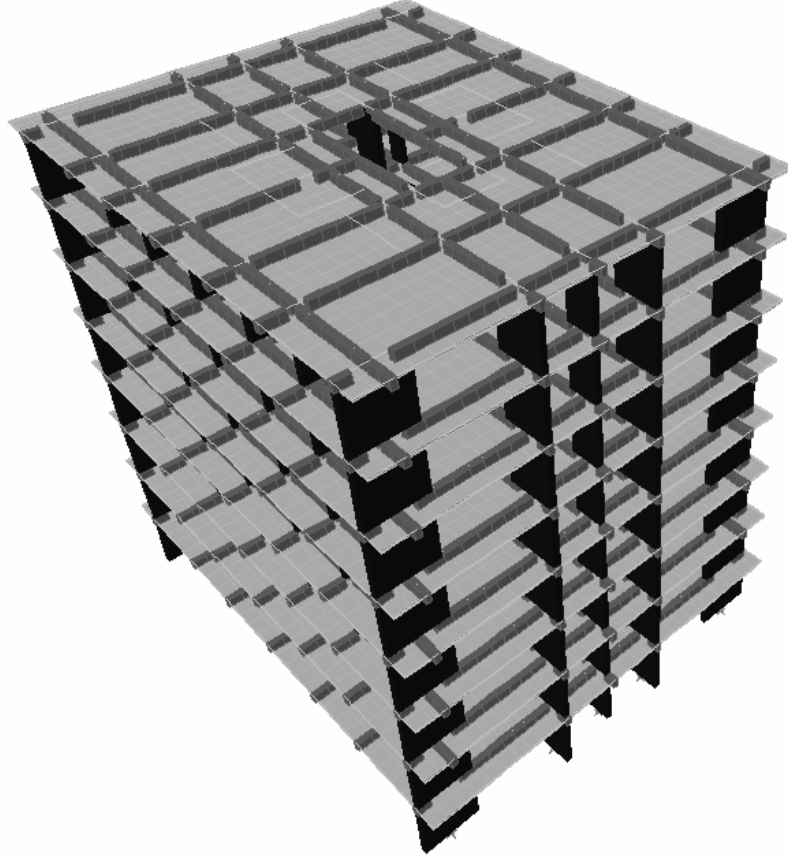
Şekil 2: Tip Kat Yapısal Plan

Kolon tasarımı için ilk olarak binadaki kolonlar gruplanmış ve kolon boyutları her bir grup için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kolonlar bina boyunca boyutlarının aynı kalacağı varsayılarak tasarlanmıştır. Kolon gruplarının isimleri ve yerleri Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3: Kolon Grupları ve Yerleri

Binanın yanal yükler altındaki davranışını incelemek amacıyla bina Şekil 4’de gösterildiği şekilde üç boyutlu olarak modellenmiştir.



Şekil 4: Binanın Üç Boyutlu Modeli

Binaların ne tip temelin üzerine oturacağını belirleyen ana etmen genel olarak zemin özellikleridir. Bu çalışmada temel hesabında zemin emniyet gerilmesi 400 kPa ve yatak katsayısı 30,000 kN/m³ olarak alınmıştır. İlk olarak kolonların altına tekil temel konulup konulamayacağı test edilmiş ancak deprem momentlerinin yüksekliği bu seçeneği geçersiz kılmıştır. Dolayısıyla bina radye temelli olarak tasarlanmıştır.

Daha önceden de belirtildiği gibi bina iki farklı yaklaşım kullanılarak tasarlanmıştır: Asıl Tasarım ve Sınır Koşullarda Tasarım. Her iki yaklaşımla ilgili tasarım detayları, boyutlar ve maliyetler aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır.

Asıl Tasarım

Kirişler ve Döşemeler

Çalışmanın bu aşamasında farklı duvar malzemesi kullanımının döşeme ve kiriş boyutlarına nasıl bir etki yapacağı incelenmiştir. İlk olarak döşeme ve kirişler TS500 denklem 11.1 ve TS500 şekil 7.1’de belirtilen minimum kalınlık sınırlamaları kullanılarak boyutlandırılmıştır. TS500’de belirtilen sınırlamalar daha çok bina mimarisine ve açıklık uzunluklarına ve genişliklerine bağlıdır. Bu denklemlere göre hesaplanan minimum döşeme kalınlığı 14 cm ve kiriş derinliği ise 42 cm olmaktadır. Bu sebepten dolayı da her üç tasarımda duvar yüklerinden bağımsız olarak bu boyutlar kullanılmıştır.

Döşeme donatıları akma çizgileri yöntemiyle hesaplanmıştır. Kirişlerin hem düşey hem de deprem yüklerini taşıyacağı göz önünde bulundurularak kiriş donatıları kirişlerin dikdörtgen kesit olarak çalışacağı varsayılarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda her bir duvar yükü için asıl tasarımda kullanılan döşeme ve kiriş boyutları, kullanılması gereken toplam beton ve donatı miktarları gösterilmiştir:

Tablo 15: Asıl Tasarım Boyutları ve Malzeme Miktarları

Duvar Malzemesi	Döşeme Kalınlığı	Kiriş Derinliği	Beton Miktarı (m ³)	Donatı Miktarı (ton)
Gazbeton	14 cm	42 cm	649,6	65,68
Tuğla	14 cm	42 cm	649,6	72,72
Bims Blok	14 cm	42 cm	649,6	72,72

Tablodan da görülebileceği gibi döşeme ve kiriş hesabında duvar yüklerindeki farklılıklar kullanılan beton miktarında herhangi bir değişikliğe yol açmamış ancak donatı miktarında 7 tonluk (%11) bir azalma yaratmıştır.

Kolonlar

Kolon boyutları belirlenirken C1, C2 ve C6 kolonlarının boyutları kat ötelenmelerini ve bina burulmasını azaltacak şekilde boyutlandırılmıştır. C3, C4 ve C5 kolonlarının boyutlarının belirlenmesinde düşey yükler etkili olmuştur. Kolon boyutları Tablo 16’da gösterilmiştir.

Tablo 16: Asıl Tasarım için Gerekli Kolon Boyutları

Duvar Malzemesi	C1 (cm)	C2 (cm)	C3 (cm)	C4 (cm)	C5 (cm)	C6 (cm)
Gazbeton	25x260	25x210	25x50	25x50	25x50	30x145
Tuğla	25x260	25x210	25x70	25x70	25x70	30x145
Bims Blok	25x260	25x210	25x65	24x65	25x65	30x145

Gazbeton kullanılan tasarımda düşey yükleri taşımak için 25x40 cm’lik kolon boyutları yeterli olmuş ancak kolonların kirişlerden daha rijit olmasını sağlamak amacıyla 25x50 cm’lik boyutlar kullanılmıştır. Asıl tasarım sonrasında kullanılması gereken malzeme miktarları da Tablo 17’de sunulmuştur. Bu tasarım yaklaşımında gazbeton kullanımı kolonlarda 27 m³ (%13) beton ve 7 ton (%9) donatı tasarrufu sağlamıştır.

Tablo 17: Kolonlar için Gerekli Malzeme Miktarı

Duvar Malzemesi	Beton Miktarı (m ³)	Donatı Miktarı (ton)
Gazbeton	203,52	75,03
Tuğla	230,00	82,08
Bims Blok	223,44	80,07

Temel

Asıl tasarım için hesaplanan boyutlar ve yükler kullanılarak her bir duvar tipi için temeller tasarlanmıştır. Tablo 18’de asıl tasarım için temel kalınlıkları, beton ve donatı miktarları gösterilmiştir.

Tablo 18: Temeller için Gerekli Malzeme Miktarı

Duvar Malzemesi	Temel Kalınlığı	Beton Miktarı (m ³)	Donatı Miktarı (ton)
Gazbeton	50 cm	230,0	15,8
Tuğla	60 cm	275,9	20,1
Bims Blok	60 cm	275,9	19,5

Radye kalınlığının belirlenmesinde zımbalama direnci etkili olmuş ve tuğla ve bims blok kullanılan tasarımlarda gazbeton kullanılan tasarıma nazaran artmış olan bina ağırlığını ve kolon momentlerini taşıyabilmek için 10 cm ek kalınlığa ihtiyaç olmuştur. Bu durum temeldeki beton ve donatı miktarını arttırmıştır. Özet olarak gazbeton kullanımı temelde 46 m³ (%20) beton ve 6 ton (%27) donatı tasarrufunu sağlamıştır.

Maliyet Hesabı

Tablo 19 - Tablo 22 asıl tasarım için kalem kalem ve toplam yapı maliyetini göstermektedir. Maliyet hesabında sadece malzeme ve işçilik maliyetleri hesaba katılmıştır.

Tablo 19: Asıl Tasarım için Beton Maliyeti (KDV Hariç)

Duvar Malzemesi	Kolon (m ³)	Kiriş + Döşeme (m ³)	Temel (m ³)	Birim Maliyet (C20)	Birim Maliyet (C25)	Toplam Maliyet
Gazbeton	203,5	649,6	230,0	62 YTL	65 YTL	69.712 YTL
Tuğla	230,0	649,6	275,9	62 YTL	65 YTL	74.278 YTL
Bims Blok	223,4	649,6	275,9	62 YTL	65 YTL	73.852 YTL

Tablo 20: Asıl Tasarım için Donatı Maliyeti (KDV Hariç)

Duvar Malzemesi	Kolon (ton)	Kiriş + Döşeme (ton)	Temel (ton)	Birim Maliyet	Toplam Maliyet
Gazbeton	75,0	65,7	15,8	720 YTL	112.680 YTL
Tuğla	82,1	72,7	20,1	720 YTL	125.928 YTL
Bims Blok	80,3	72,7	19,5	720 YTL	124.200 YTL

Tablo 21: Asıl Tasarım için İşçilik Maliyeti (KDV Hariç)

Duvar Malzemesi	Kolon (m ³)	Kiriş + Döşeme (m ³)	Temel (m ³)	Dolu Kalıp Birim Maliyet	Toplam Maliyet
Gazbeton	203,5	649,6	230,0	65 YTL	70.402 YTL
Tuğla	230,0	649,6	275,9	65 YTL	75.106 YTL
Bims Blok	223,4	649,6	275,9	65 YTL	74.679 YTL

Tablo 22: Asıl Tasarım için Toplam Maliyet (KDV Hariç)

Duvar Malzemesi	Üst Yapı Maliyeti	Temel Maliyeti	Toplam Maliyet	% Fark
Gazbeton	212.186 YTL	40.586 YTL	252.772 YTL	-
Tuğla	225.800 YTL	49.511 YTL	275.311 YTL	+ %8,9
Bims Blok	223.663 YTL	49.079 YTL	272.742 YTL	+ %7,9

Asıl tasarımda üst yapı maliyetindeki tasarımlar arasındaki farklılık yaklaşık %6,5 civarındadır. Üst yapı maliyetine temel maliyeti de eklendiği zaman gazbeton kullanımı bina maliyetini tuğla kullanımından %8,9, bims blok kullanımından ise %7,9 oranında azaltmıştır.

Sınır Koşullarda Tasarım

Kirişler ve Döşemeler

Çalışmanın bu aşamasında ise TS500'de belirtilen minimum kiriş ve döşeme kalınlıkları sınırlamaları göz ardı edilmiş ve boyutlandırma, anlık ve uzun vadeli sehim değerleri TS500 Bölüm 13'de belirtilen ve aşağıda özetlenen değerlerin altında kalacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

- Hareketli yükten kaynaklanan anlık sehim $\Delta_i < l_n / 360$
- Uzun vadeli sehim $\Delta_1 < l_n / 480$

Düşey yükler altındaki tasarım $1,4 * \text{Ölü Yük} + 1,6 * \text{Hareketli Yük}$ kombinasyonu kullanılarak eşdeğer çerçeve yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu sayede kirişler T-kesit

olarak tasarlanmış ve boyutlar olabilecek en küçük değerlere çekilmiştir. Daha sonra binanın üç boyutlu modelinin sonuçları kullanılarak kolon boyutları hesaplanmış ve binanın deprem yüklerinden kaynaklanan kat ötelenmeleri hesaplanmıştır. Kiriş boyutları ise kat ötelenmeleri Deprem Yönetmeliği (2007) bölüm 2.10.1.3 denklem 2.19’da belirtilen sınır değerinin altında olacak şekilde ayarlanmıştır.

Bahsi geçen yaklaşımlarla her bir duvar çeşidi için hesaplanan düşey ve deprem yükleri altındaki minimum döşeme ve kiriş boyutları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu değerler TS 500’deki minimum değerlerden küçüktür.

Tablo 23: Düşey ve Deprem Yükleri Altında Döşeme ve Kiriş Boyutları

Duvar Malzemesi	Döşeme Kalınlığı	Kiriş Derinliği (Düşey Yükler)	Kiriş Derinliği (Deprem Yükleri)
Gazbeton	10 cm	32 cm	35 cm
Tuğla	10 cm	34 cm	37 cm
Bims Blok	10 cm	34 cm	37 cm

Tablo 23’de belirtilen değerler bu bina tipi için olabilecek sınır değerlerdir. Deprem yüklerinin çerçeve sistemi dışında perdelerle taşındığı durumlarda döşeme ve kiriş boyutlarını düşey yükler belirleyecektir. Deprem yükleri çerçeve sistemiyle taşındığı durumlarda da kiriş derinlikleri deprem yükleri kullanılarak hesaplanan şekilde olacaktır. Tablo 24’de ise döşeme ve kirişler için kullanılması gereken toplam malzeme miktarları gösterilmiştir. Tablo 23’den görüleceği üzere gerek düşey yüklerden kaynaklanan sehimlere gerekse deprem yüklerinin yarattığı kat ötelenmelerine göre yapılan boyutlandırmalarda duvar malzemesi olarak gazbeton kullanılması kiriş boyutlarında diğer malzemelerin kullanıldığı duruma göre 2 cm’lik bir azalmaya yol açmıştır. Bu 2 cm’lik azalma binada 27 m³ (%6) daha az beton kullanımını sağlamıştır (Tablo 24). Benzer şekilde deprem yüklerine göre hesaplanan boyutlar için de gazbeton kullanımı döşeme ve kiriş donatısı miktarlarında 3,23 (%7) tonluk bir azalma sağlamıştır.

Tablo 24: Sınır Koşullardaki Tasarım için Malzeme Miktarları

Duvar Malzemesi	Beton Miktarı (m³)	Donatı Miktarı (ton)
Gazbeton	481,60	44,90
Tuğla	508,96	48,13
Bims Blok	507,12	48,13

Kolonlar

Daha önceden de belirtildiği gibi çalışmanın bu aşamasında döşeme ve kirişler için TS500’de verilen minimum boyut sınırlaması göz ardı edilmiş ve Tablo 23’de verilen boyutlar kullanılmıştır. Kolonların boyutlandırılması sırasında ilk olarak C1 kolonlarının boyutları bina mimarisinin izin verdiği ölçüde arttırılarak hem deprem yükünden kaynaklanan kat ötelenmeleri sınırlandırılmış, hem de binanın burulma rijitliği olabildiğince arttırılmıştır. Binanın Y-doğrultusundaki rijitliği arttırmak için C2 ve C6 kolonlarının boyutları değiştirilmiştir. Binada deprem yüklerini karşılamak için yeterli rijitliği sağladıktan sonra bütün kolon boyutlarının önce 1,4 Ölü Yük + 1,6 Hareketli Yük kombinasyonu kullanılarak TS500’de verilen denklem 7.7’yi ve daha sonra 1,0 Ölü Yük + 1,0 Hareketli Yük + 1,0 Deprem Yüğü kombinasyonu kullanılarak Deprem Yönetmeliği’nde belirtilen madde 3.3.1.2’yi sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiş ve gerekli kolon boyutları belirlenmiştir. Bu yöntemle hesaplanmış kolon boyutları her bir duvar malzemesi tipi için Tablo 25’de gösterilmiştir.

Tablo 25: Sınır Koşullarda Tasarım için Gerekli Kolon Boyutları

Duvar Malzemesi	C1 (cm)	C2 (cm)	C3 (cm)	C4 (cm)	C5 (cm)	C6 (cm)
Gazbeton	25x260	25x210	25x135	25x70	30x70	30x145
Tuğla	25x260	25x210	25x175	25x120	30x95	30x145
Bims Blok	25x260	25x210	25x175	25x115	30x95	30x145

Tablo 25’den de görülebileceği gibi C1, C2 ve C6 kolonlarının boyutları her bir durum için aynıdır. Bu durumun sebebi bu kolonların boyutlarını kat ötelenmelerinin belirlemesidir. C3, C4 ve C5 kolonlarının boyutları belirleyici etmen genelde kat

ötelenmesi olmuş ve gazbeton malzemesi kullanımının deprem yükünü azaltıcı etkisi kolon boyutlarına önemli ölçüde yansımıştır.

Aşağıdaki Tablo 26 kolonlar için gereken beton ve donatı miktarını göstermektedir. Kolonlara konulacak minimum donatı, üzerlerine gelen düşey yükleri ve momentleri taşımak için yeterli olmuştur. Kolon tasarımında binanın hafiflemesi önemli etki yaratmıştır. Gazbeton kullanımı yaklaşık 38 m^3 (%15) daha az beton ve 16 ton (%32) daha az inşaat demiri kullanılmasını sağlamıştır.

Tablo 26: Kolonlar için Gerekli Malzeme Miktarı

Duvar Malzemesi	Beton Miktarı (m^3)	Donatı Miktarı (ton)
Gazbeton	252,00	48,70
Tuğla	290,56	64,28
Bims Blok	286,80	64,28

Temel

Sınır koşullar için hesaplanan boyutlar ve yükler kullanılarak her bir duvar tipi için temeller tasarlanmıştır. Tablo 27’de temel kalınlıkları, beton ve donatı miktarları gösterilmiştir. Gazbeton kullanımının binayı hafifletmesi ve dolayısıyla deprem yüklerini azaltması nedeniyle 50 cm radye temel kalınlığı yeterli olmuş ve bu durum 46 m^3 (%20) ve yaklaşık 5 ton (%33) donatı tasarrufu sağlamıştır.

Tablo 27: Temeller için Gerekli Malzeme Miktarı

Duvar Malzemesi	Temel Kalınlığı	Beton Miktarı (m^3)	Donatı Miktarı (ton)
Gazbeton	50 cm	230,0	15,60
Tuğla	60 cm	275,9	20,75
Bims Blok	60 cm	275,9	19,75

Maliyet Hesabı

Tablo 28-Tablo 31 sınır koşullardaki tasarım için kalem kalem ve toplam yapı maliyetini göstermektedir. Maliyet hesabında sadece malzeme ve işçilik maliyetleri hesaba katılmıştır.

Tablo 28: Sınır Koşullardaki Tasarım için Beton Maliyeti (KDV Hariç)

Duvar Malzemesi	Kolon (m ³)	Kiriş + Döşeme (m ³)	Temel (m ³)	Birim Maliyet (C20)	Birim Maliyet (C25)	Toplam Maliyet
Gazbeton	252,0	481,6	230,0	62 YTL	65 YTL	61.944 YTL
Tuğla	290,6	508,9	275,9	62 YTL	65 YTL	69.073 YTL
Bims Blok	286,8	507,1	275,9	62 YTL	65 YTL	68.711 YTL

Tablo 29: Sınır Koşullardaki Tasarım için Donatı Maliyeti (KDV Hariç)

Duvar Malzemesi	Kolon (ton)	Kiriş + Döşeme (ton)	Temel (ton)	Birim Maliyet	Toplam Maliyet
Gazbeton	48,7	44,9	15,60	720 YTL	78.624 YTL
Tuğla	64,3	48,1	20,75	720 YTL	95.875 YTL
Bims Blok	64,3	48,1	19,75	720 YTL	95.155 YTL

Tablo 30: Sınır Koşullardaki Tasarım için İşçilik Maliyeti (KDV Hariç)

Duvar Malzemesi	Kolon (m ³)	Kiriş + Döşeme (m ³)	Temel (m ³)	Dolu Kalıp Birim Maliyet	Toplam Maliyet
Gazbeton	252,0	481,6	230,0	65 YTL	62.634 YTL
Tuğla	290,6	508,9	275,9	65 YTL	69.901 YTL
Bims Blok	286,8	507,1	275,9	65 YTL	69.538 YTL

Tablo 31: Sınır Koşullardaki Tasarım için Toplam Maliyet (KDV Hariç)

Duvar Malzemesi	Üst Yapı Maliyeti	Temel Maliyeti	Toplam Maliyet	% Fark
Gazbeton	162.760 YTL	40.442 YTL	203.202 YTL	-
Tuğla	184.871 YTL	49.979 YTL	234.850 YTL	+ %15,6
Bims Blok	184.145 YTL	49.259 YTL	233.404 YTL	+ %15,4

Yukarıdaki tablolardan görülebileceği gibi duvar malzemesi olarak gazbeton kullanımı sınır koşullardaki tasarımda maliyette önemli bir tasarruf sağlamıştır. Duvar malzemesi olarak gazbeton kullanımı üst yapı maliyetinde tuğla ve bims blok kullanımına nazaran yaklaşık %13'lük, toplam maliyette ise %15'lik bir azalma sağlamıştır.

Sonuçlar

Bu çalışmada sekiz katlı betonarme bir binanın üç farklı duvar malzemesi kullanılarak tasarımı yapılmış ve farklı duvar malzemelerinin yapısal tasarıma ve bina maliyetlerine olan etkileri incelenmiştir. Bina tasarımında iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. İlk yaklaşımda bina farklı duvar malzemeleri için TS500'de belirtilen bütün sınırlamalara ve kurallara uyularaktan tasarlanmıştır. Daha sonra TS500'de verilen döşeme ve kiriş derinlikleriyle ilgili sınırlamalar göz ardı edilmiş ancak sehim ve kat ötelenmeleri koşullarına uyularak sınır döşeme ve kiriş boyutları belirlenmiştir. Bu sayede TS500'deki sınırlamaların geçerli olmadığı yapılarda ne gibi farklılıklar görüleceği hakkında fikir sahibi olunmuştur. Elde edilen sonuçlar ışığında şu çıkarımlarda bulunulabilir:

- Binalarda gazbeton kullanımı bina ağırlığını önemli bir miktarda azaltmaktadır. Gazbeton kullanılan binanın ağırlığı tuğla kullanılan binanın ağırlığından %22, bims blok kullanılan binanın ağırlığından %15 daha hafiftir.
- Bina ağırlıklarındaki farklılıklar deprem yüklerine de yansımıştır. Gazbeton kullanılan binaya etkiyen deprem taban kesme kuvveti ve momenti tuğla ve bims blok kullanılan binaya etkiyen deprem kesme kuvveti ve momentinden sırasıyla %20 ve %13 daha azdır.
- Bina ağırlığındaki azalmanın etkisi kiriş ve döşeme tasarımında etkisini fazla gösterememiştir. Sınır koşullarda yapılan tasarımda kiriş derinliğinde 2 cm'lik bir azalmaya ve döşeme ve kiriş donatısında kat başına 0,23 tonluk bir azalmaya yol açmıştır. Asıl tasarımda ise TS500'de belirtilen minimum boyutlar kullanıldığı için bütün duvar yükleri için aynı miktarda malzeme kullanılmıştır. Ancak döşeme ve kiriş boyutlarında minimum sınırlamaların hakim olmadığı bina mimarileri için gazbeton kullanımı kiriş ve döşeme tasarımında bir tasarruf

sağlayacağı görülmüştür. Özellikle çift yönlü çalışan kirişsiz plak döşemeli yapılarda gazbeton kullanımının döşeme boyut ve donatısı azaltması olasıdır. Bunlara ek olarak yanıl yüklerin sadece perdelerle taşındığı sistemlerde de gazbeton kullanımını düşey yük taşıyan elemanların boyutlarını sınırlı da olsa azaltacaktır.

- Gazbeton kullanımının asıl etkisi kolon tasarımı sırasında hissedilmiştir. Sınır koşullarda yapılan tasarımda kolon boyutlarını genel olarak kat ötelenmeleri belirlemiş ve gazbeton kullanılan binaya gelen deprem yüklerinin daha az olması, diğer tasarımlara nazaran daha küçük kolon boyutları kullanılmasına yol açmıştır. Asıl tasarımda kirişler deprem yükü taşınmasında daha etkin bir hale gelmiş ve bu sefer kolon boyutlarının belirlenmesinde daha çok düşey yükler etkili hale gelmiştir. Düşey yükler altında da gazbeton kullanılan binanın ağırlığının az olması sebebiyle daha küçük kolonlar kullanılarak binanın tasarlanması mümkün olabilmektedir. Benzer şekilde yanıl yüklerin sadece perdelerle taşındığı sistemlerde kolon tasarımını düşey yükler belirleyecek ve dolayısıyla kolonların tuğla ve bims blok kullanılan yapılara nazaran daha küçük boyutlara sahip olması mümkün olacaktır.
- Gazbeton kullanımının bina ağırlığında ve deprem yüklerinde sağladığı azalmanın avantajları temel tasarımında da hissedilmiştir. Tasarımı yapılan binada gazbeton kullanımını temel malzemesinde 46 m³ (%20) beton ve 6 ton (%27) donatı tasarrufunu ve temel maliyetinde yaklaşık %22'lik bir azalma sağlamıştır. Farklı bina ve temel tipleri için de benzer bir azalma beklenmelidir.
- Bina maliyetleri incelendiğinde gazbeton kullanılan binanın maliyeti tuğla kullanılan binadan %8,9, bims blok kullanılan binadan %7,9 daha ucuza gelmektedir. Ancak bina maliyetlerindeki farklılıklara üst yapı maliyetinin etkisi sınırlı olmuştur (%6,5). Bu durumun en önemli nedeni üst yapı tasarımında genelde minimum boyutların etkili olmasıdır. Minimum boyutlar kullanılmadan yapılan tasarımda üst yapı maliyetleri arasındaki fark yaklaşık %13'e, toplam maliyetleri arasındaki fark ise %15.5'e yükselmiştir. Dolayısıyla benzer bina tiplerinde, eleman boyutlandırılmasında hangi sınırlamanın etkin olduğuna bağlı olarak gazbeton kullanımının bina maliyetinde bu çalışmada incelenen diğer duvar

malzemesi kullanımlarına oranla %15'lere varan bir azaltma sağlayacağını söylemek mümkündür.

Engin Burak Anıl

Yrd.Doç.Dr. Özgür Kurç

Araştırma Görevlisi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Yapı Mekaniği Laboratuvarı
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Ortadoğu Teknik Üniversitesi