



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Betonarme Binalardaki Döşeme Boşluğu Konumu ve Büyüklüğünün Deprem Davranışı ve Kaba İnşaat Maliyetine Etkisi

 Şenol GÜRSOY^{a*},  Samet Oğuzhan DOĞAN^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sgursoy@karabuk.edu.tr

DOI : 10.29130/dubited.658286

ÖZET

Betonarme binalarda mimari ve mekanik nedenlerle farklı boyut ve konumlarda döşeme boşlukları bulunmaktadır. Ancak Türkiye’de meydana gelen depremler sonucu betonarme binalarda kabul sınırlarının ötesinde yapısal hasarların olduğu görülmüştür. Maruz kaldıkları depremlerde betonarme binalarda oluşan söz konusu yapısal hasarların çoğunun deprem yönetmeliğinde belirtilen yapı düzensizlikleri nedeniyle meydana geldiği görülmektedir. Bu çalışmada betonarme binalarda bulunan döşeme boşluklarının konularının ve büyüklüğünün bina deprem davranışı ve kaba inşaat maliyetine etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla örnek olarak seçilmiş betonarme bina modellerinde farklı konumlarındaki ve büyüklükteki döşeme boşluklarının söz konusu bina kaba inşaat maliyetine (beton ve demir metrajlarına) ve deprem performansına etkileri 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde önerilen zemin sınıflarına göre Sta4-CAD programı yardımıyla elde edilmiştir. Bina modellerinin yapısal çözümlerinden elde edilen bulgular irdelendiğinde, betonarme binalardaki döşeme boşluklarının, özellikle döşeme boşluğu oranı arttığında, bina deprem davranışını olumsuz olarak etkilediği ve kaba inşaat maliyetlerini artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Döşeme Boşluğu, Kaba İnşaat Maliyeti, Sta4-CAD

The Effect of Slab Gaps Position and Size in Reinforced Concrete Buildings on Earthquake Behavior and Rough Construction Cost

ABSTRACT

There are slab gaps in different sizes and positions in reinforced concrete buildings for architectural and mechanical reasons. However structural damages beyond the acceptable limits which are due to earthquakes have been observed in Turkey. Most of these structural damages in reinforced concrete buildings after earthquakes are the consequences of structural irregularities specified in the Turkish earthquake regulation. In this study, the effects of the position and size of slab gaps in reinforced concrete buildings on building earthquake behaviour and rough construction costs were investigated, comparatively. The impact of slab gaps in different sizes and positions on building’s earthquake performance and rough construction costs (i.e., concrete and reinforced concrete bar quantities) in selected reinforced concrete building models were calculated based on soil classes listed in 2007 Turkish Earthquake Regulation using Sta4-CAD software. Considering the results that were obtained from structural analyses of building models, it was found that the presence of slab gaps, especially at high gap ratio values, caused an increase in rough construction costs and negatively affects building’s earthquake performance.

Keywords: Earthquake Resistant Building Design, Slab Gap, Rough Construction Cost, Sta4-CAD

I. GİRİŞ

Türkiye'deki bugünkü mimari tasarım tercihleri genellikle mekânların estetik ve çok fonksiyonlu olarak kullanılması şeklindedir. Ancak bu tasarımların sonucu olarak asimetrik ve düzensiz geometriye sahip yapılar ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde tasarlanmış yapıların oluşan depremlere karşı yeterli emniyete sahip olmadıkları görülmüştür [1-5]. Diğer bir ifadeyle yapıların mimari tasarım safhasında yanlış geometri seçimleri, yanlış taşıyıcı sistem tercihleri, estetik ve görünüş kaygıları gibi nedenlerle yapılan hatalar maalesef yapıları depremlerde önemli ölçüde tehlikeye atmaktadır. Özellikle oluşan depremler sonrası hasar gören yapıların hasar nedenleri incelendiğinde, yapısal hasarların doğrudan mimari tasarımla ilişkili olduğu görülmektedir. Diğer taraftan mimari tasarımlarda olabildiğince özgür davranmak ve taşıyıcı sistem tercihleri ve/veya düzenlemesi, normal koşullarda bile emniyetli çözümü oldukça zorlaştırmaktadır [6-9]. Bu duruma deprem etkileri de eklendiğinde yapı taşıyıcı sistem davranışında belirsiz ve önemli sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle taşıyıcı sistemin tasarım ve düzenlenmesinin tekniğine uygun yapılması gerekmektedir.

Bugün Türkiye'de dünya mimarisinden esinlenerek farklı yapı tasarımları yapılmaktadır. Ancak bu mimari tasarımlar maalesef ülkemizin koşulları dikkate alınmadan yapılmakta ve simetrik ve/veya asimetrik büyük döşeme boşlukları bırakılmaktadır. Bu gibi yapı düzensizliklerinin önlenmesi için, birçok ülke yönetmeliğinde olduğu gibi, Türkiye'de de farklı zamanlarda yürürlükte olan deprem yönetmeliklerinde gerçekleştirilecek tasarımlar için bazı hüküm ve öneriler bulunmaktadır [10-12]. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelikte (TDY), brüt kat alanının 1/3'ünden büyük döşeme boşluklarından kaçınılması gerektiği belirtilmiştir [11]. Aksi halde döşeme süreksizliğinden dolayı planda A2-I türü yapısal düzensizlik oluşacağı ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı ifade edilmektedir. Bu tür yapısal düzensizliği bulunan betonarme binalarda 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı elemanlar arasında güvenle aktarabildiğinin hesapla doğrulanması istenmektedir. Diğer taraftan TDY'de döşeme boşluklarının plandaki yeri ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır.

Bu çalışmada betonarme binalarda planda farklı konumlardaki döşeme boşluğu ve büyüklüğündeki değişimin, TDY önerilen farklı yerel zemin sınıfları dikkate alınarak, söz konusu binaların deprem davranışlarına ve kaba inşaat maliyetlerine etkileri Sta4-CAD programıyla karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Bu amaçla, örnek olarak seçilen bina modellerinde farklı konumlarda ve büyüklüklerde döşeme boşlukları oluşturulmuş ve döşeme boşluklarının konum ve büyüklüklerindeki değişimin bina kaba inşaat maliyetine (özellikle donatı metrajı) ve deprem davranışına etkileri araştırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmanın sonunda seçilen bina modellerinin yapısal çözümlerinden elde edilen bulguların irdelenmesi ve karşılaştırılmasıyla döşeme boşluğu konumu ve büyüklüğüne bağlı olarak, daha emniyetli ve ekonomik tasarımlar için bazı sonuç ve öneriler sunulmaktadır.

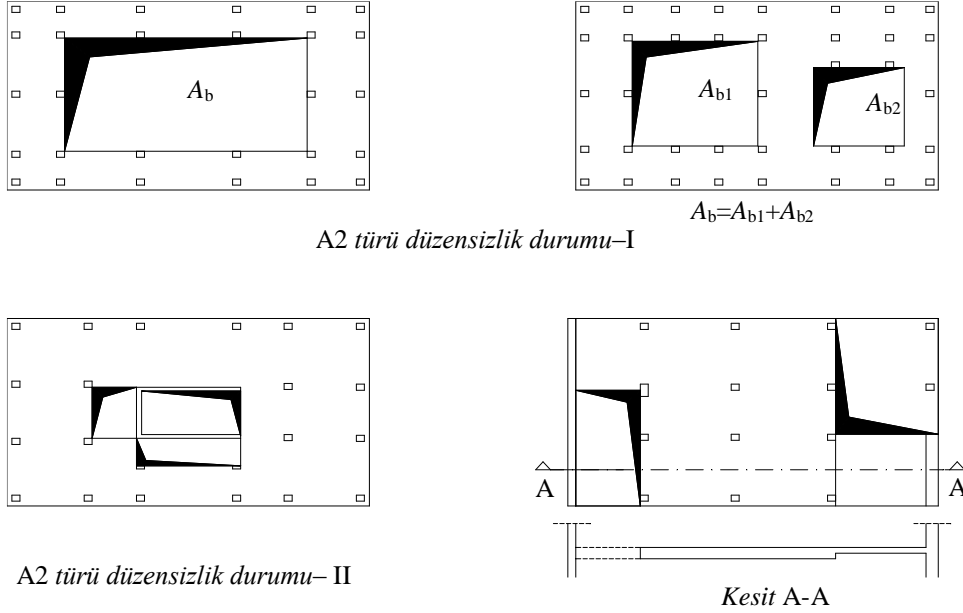
II. TDY'YE GÖRE A2 DÖŞEME SÜREKSİZLİKLERİ KRİTERİ

TDY'de betonarme döşemelerle ilgili olarak, "*Döşeme sistemleri, deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarılmasını sağlayacak düzeyde rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdır. Yeterli olmayan durumlarda, döşemelerde uygun aktarma elemanları düzenlenmelidir.*" denilmektedir [11]. Ayrıca söz konusu yönetmelikte, döşeme süreksizliğinden kaynaklanan A2 düzensizliği;

Herhangi bir kattaki döşemede (bkz. Şekil 1);

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

- Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,
 - Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu,
- şeklinde tanımlanmaktadır. Burada A_b , döşeme boşluğu alanları toplamını ve A ise brüt kat alanını göstermektedir.



Şekil 1. TDY'e göre döşeme süreksizliği durumları

A. DÖŞEMELERİ RİJİT DİYAFRAM OLARAK ÇALIŞAN YAPILAR

Deprem yükleri nedeniyle kat döşemelerinin düşey taşıyıcı elemanların birlikte ötelenmelerini sağlaması durumu rijit diyafram olarak adlandırılmaktadır. Bu hususun sağlanabilmesi için söz konusu kat döşemesinin düzlem içi eğilme rijitliğinin büyük olması gerekmektedir. Çeşitli nedenlerle kat döşemelerindeki boşlukların bu rijitliği azaltacağı açıktır.

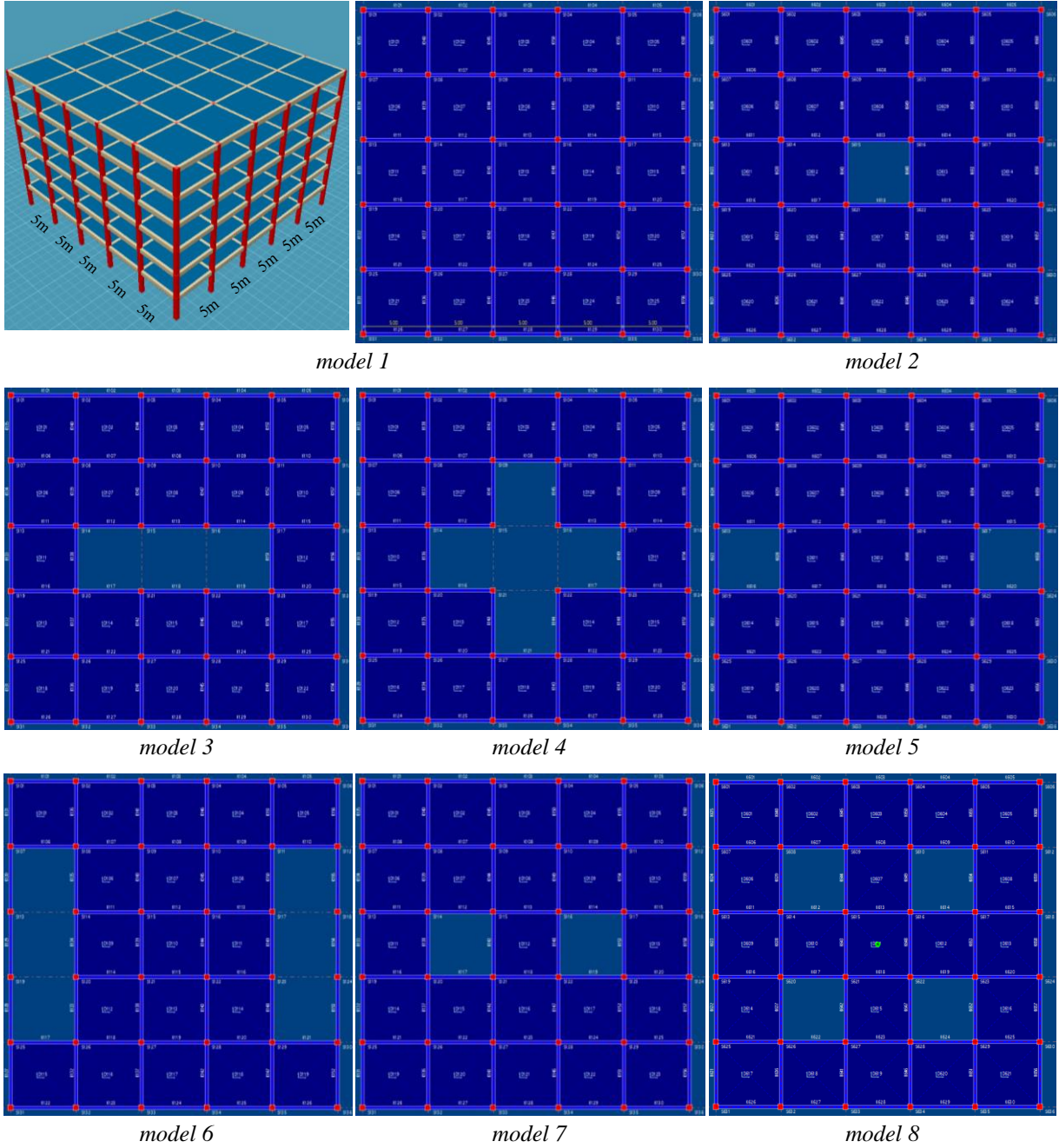
B. DÖŞEMELERİ RİJİT DİYAFRAM OLARAK ÇALIŞMAYAN YAPILAR

Kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde etkiyen deprem yüklerini düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktarmadığı diğer bir ifadeyle her bir çerçevenin ötelenmesinin farklı olması ve farklı ötelenmenin sonucu olarak da elemanlarda farklı kesme kuvvetlerinin oluşması durumunda kat döşemesi rijit diyafram olarak çalışmamaktadır. Rijit diyafram olarak çalışmayan döşemelerin statik hesabında, döşeme plağı yeterli sayıda üçboyutlu kabuk elemanlara bölünerek oluşturulan sonlu elemanlar modeli kullanılmaktadır [11].

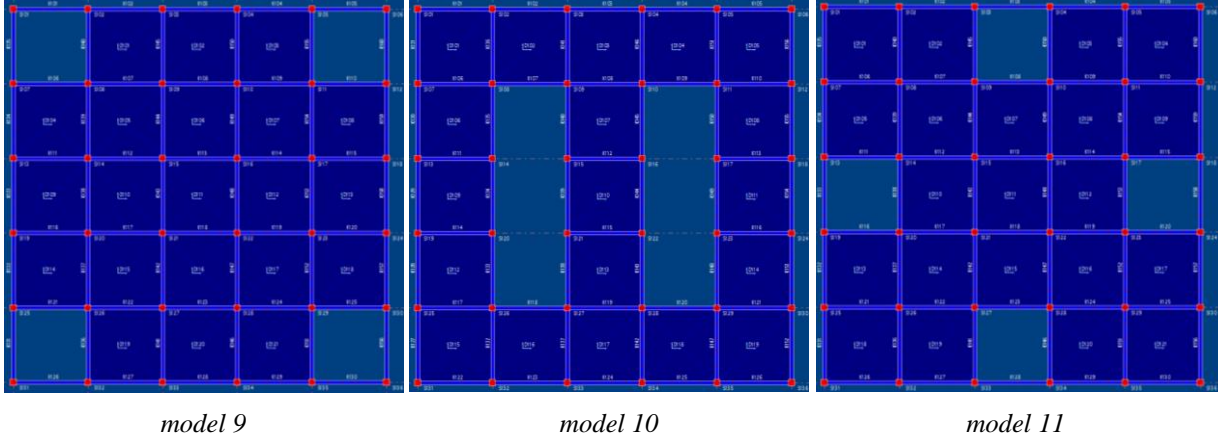
III. SAYISAL UYGULAMA, BULGULAR VE İRDELEMELER

Betonarme binalardaki döşeme boşluğunun bina kaba inşaat maliyeti ve taşıyıcı sistem davranışına etkilerini görebilmek için, döşeme boşluğu büyüklüğü ve konumu değiştirilerek farklı bina modelleri oluşturulmuştur. Bu çalışmanın sayısal uygulamasında örnek olarak seçilen bina modellerinde döşeme boşlukları farklı konumlarda ve büyüklüklerde dikkate alınarak yapısal çözümleri Sta4-CAD

programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sayısal uygulamada dikkate alınan betonarme modellerinin kat planları görünümü Şekil 2’de verilmektedir. Bu şekilde görülen bütün bina modellerinde aks açıklıkları (5 m) ve kat yükseklikleri (3 m) olarak alınmıştır.



Şekil 2. Yapısal çözümlenmeleri gerçekleştirilen betonarme bina modellerinin kat planlarından görünümü



Şekil 2 (devam). Yapısal çözümlenmeleri gerçekleştirilen betonarme bina modellerinin kat planlarından görünüşleri

Bugün yürürlükte bulunan “*Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*” yönetmeliğine göre [13], dikkate alınan bütün bina modellerinin C30 beton sınıfı ve S420 çelik sınıfına göre tasarlandığı kabul edilmektedir. Ayrıca, dikkate alınan tüm bina modellerinin bütün katlarında kolon, kiriş boyutları ve döşeme kalınlığı eşit olarak seçilmiştir. Diğer taraftan bütün modellerin TDY’ye göre 1. derece deprem bölgesinde inşa edileceği ve bina önem katsayısının 1 olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmanın sayısal uygulamasında dikkate alınan bina modellerinin yapısal çözümlenmelerinde kullanılan diğer tasarım parametreleri Tablo 1’de verilmektedir.

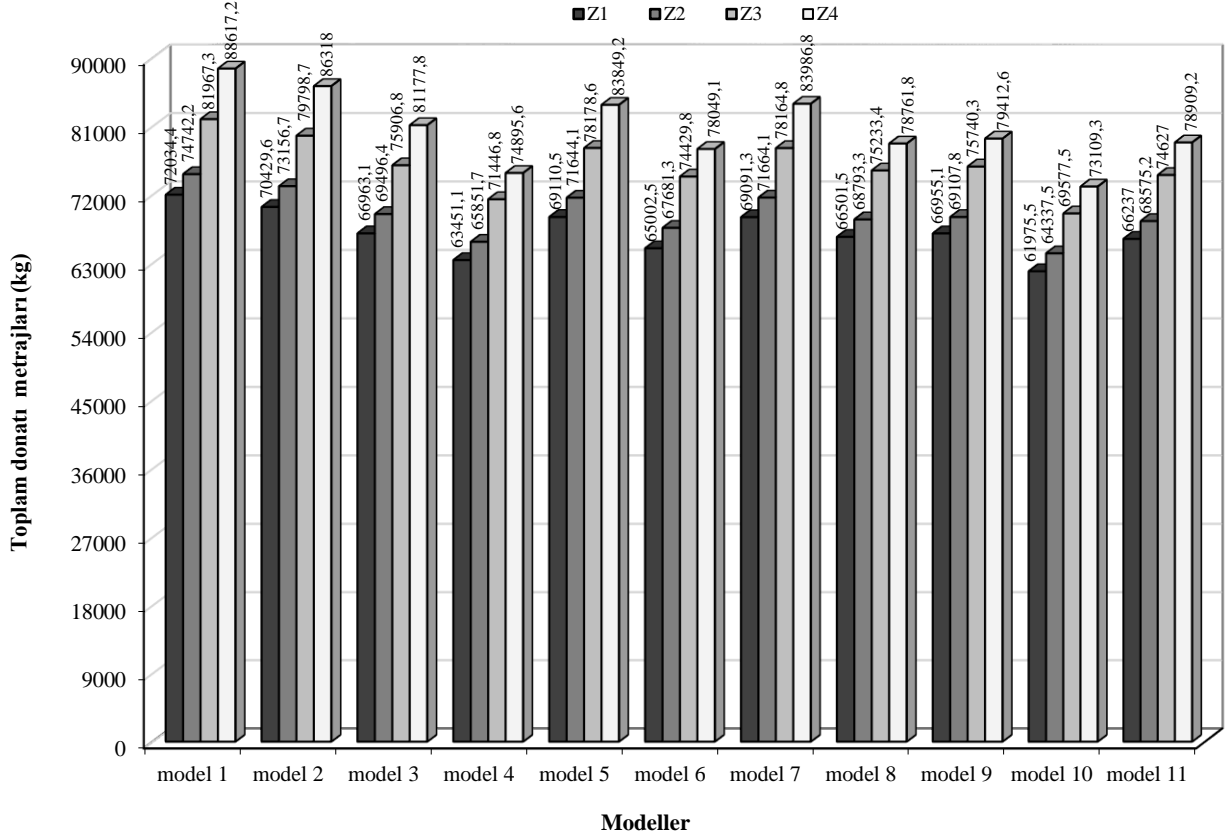
Tablo 1. Bina modellerinin yapısal çözümlenmelerinde dikkate alınan diğer tasarım parametreleri

Taşıyıcı sistem davranış (süneklik) katsayısı (R)	4
Yerel zemin sınıfları için spektrum karakteristik periyotları (s)	Z1 zemin sınıfı için $T_A=0,10$ $T_B=0,30$
	Z2 zemin sınıfı için $T_A=0,15$ $T_B=0,40$
	Z3 zemin sınıfı için $T_A=0,15$ $T_B=0,60$
	Z4 zemin sınıfı için $T_A=0,20$ $T_B=0,90$
Temel zemini emniyet gerilmeleri (kN/m^2)	Z1 zemin sınıfı için 1750
	Z2 zemin sınıfı için 500
	Z3 zemin sınıfı için 250
	Z4 zemin sınıfı için 150
Temel zemini yatak katsayıları (kN/m^3)	Z1 zemin sınıfı için 350000
	Z2 zemin sınıfı için 100000
	Z3 zemin sınıfı için 50000
	Z4 zemin sınıfı için 15000
Kirişlerin en kesit boyutları (cm)	30x50
Kolonların en kesit boyutları (cm)	40x40
Döşeme kalınlıkları (cm)	15
Hareketli yük (kN/m^2)	2

Bu çalışma kapsamında dikkate alınan betonarme bina modellerinin TDY’de önerilen farklı yerel zemin sınıflarına göre Sta4-CAD programıyla, gerçekleştirilen yapısal çözümlenmelerinden elde edilen toplam donatı (demir) metrajlarının değişimleri grafik olarak Şekil 3’te verilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi yerel zemin sınıfı Z1’den Z4’e arttıkça elde edilen toplam demir metrajı değerlerinin arttığı ve toplam demir metrajı değerlerinin döşeme boşluğu büyüklüğü ve konumuna bağlı olarak değişiklik gösterdiği görülmektedir.

Bu çalışmada dikkate alınan bina modellerinin Sta4-CAD programıyla TDY’de önerilen farklı zemin sınıfları için gerçekleştirilen yapısal çözümlenmelerinden elde edilen 1 m²’ye düşen donatı (demir)

miktarları Tablo 2’de verilmektedir. Bu çizelgeden dikkate alınan bütün zemin sınıfları için 1 m²’ye düşen en düşük donatı miktarı değerlerinin model 1’den buna karşın en yüksek donatı miktarı değerlerinin ise model 6’dan elde edildiği görülmektedir. Ayrıca çalışma kapsamında dikkate alınan bina modellerinde boşluk oranı arttıkça 1 m²’ye düşen donatı miktarı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu bulgu beklenilenin aksine döşeme boşluğu bulunan bina modellerinin m²’sinin azalmasına karşın 1 m²’ye düşen donatı miktarının arttığını göstermektedir. Yapısal çözümlerden elde edilen bu bulgular model 1’in dikkate alınan diğer bina modellerinden daha ekonomik olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. TDY’de önerilen farklı zemin sınıflarına göre bina modellerinin toplam donatı miktarlarının değişimleri.

Tablo 2. TDY’de önerilen farklı zemin sınıflarına göre bina modellerinin 1m²’ye düşen donatı miktarı değerleri

Modeller	Döşeme Boşluğu	Boşluk Oranı	1 m ² ’ye düşen donatı (demir) miktarı (kg)			
			Z1	Z2	Z3	Z4
model 1	Yok	-	18,756	19,461	21,343	23,074
model 2	Simetrik	0,0345	18,994	19,729	21,521	23,279
model 3	Simetrik Değil	0,1079	19,546	20,285	22,156	23,695
model 4	Simetrik	0,1792	20,127	20,889	22,664	23,758
model 5	Simetrik Değil	0,0690	19,329	20,038	21,865	23,451
model 6	Simetrik Değil	0,2159	21,585	22,475	24,716	25,917
model 7	Simetrik Değil	0,0690	19,324	20,043	21,861	23,490
model 8	Simetrik	0,1380	20,089	20,781	22,727	23,792
model 9	Simetrik	0,1380	20,226	20,876	22,880	23,989
model 10	Simetrik Değil	0,2159	20,580	21,364	23,104	24,277
model 11	Simetrik	0,1380	20,009	20,715	22,543	23,837

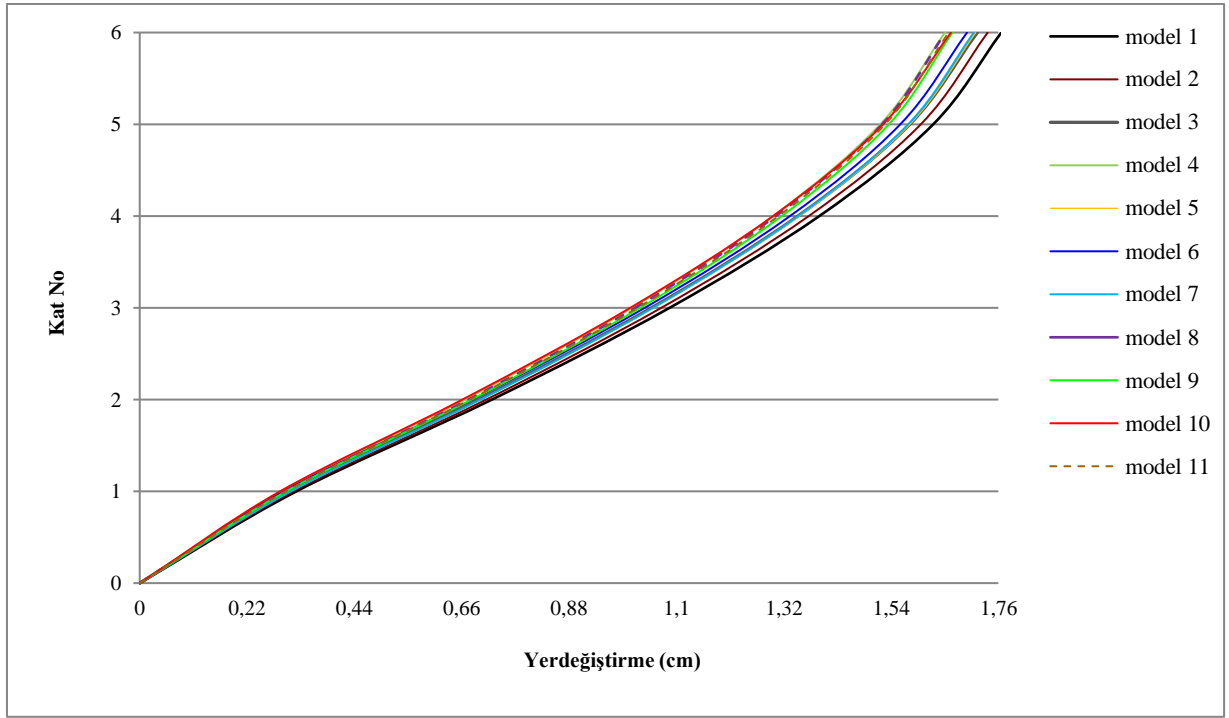
Burada Tabloda görülen gri renkli tonlamanın yetersiz yapısal elemanlara sahip bina modelini temsil ettiğini dolayısıyla yetersiz olan söz konusu yapısal elemanların boyutlarını artırmak gerektiğini, bu hususun ise söz konusu bina modelinin donatı miktarının daha da artacağını belirtmek yararlı olacaktır.

Bina modellerinin Sta4-CAD programıyla TDY’de önerilen yerel zemin sınıfları için gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden elde edilen taban kesme kuvvetleri ve 1. doğal titreşim periyotları (T1) Tablo 3’te verilmektedir. Bu tablodan görüldüğü gibi en büyük periyot değeri model 1’den elde edilmektedir. Diğer bir ifadeyle bina modellerinin boşluk oranı arttıkça periyot değerleri model 1’e (boşluksuz modele) göre azalmaktadır. Ayrıca, boşluk oranına ve boşluğun konumuna bağlı olarak bina modellerinde taban kesme kuvveti değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu bulgu da döşeme boşluğu varlığının betonarme binaların deprem güvenliği bakımından oldukça önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

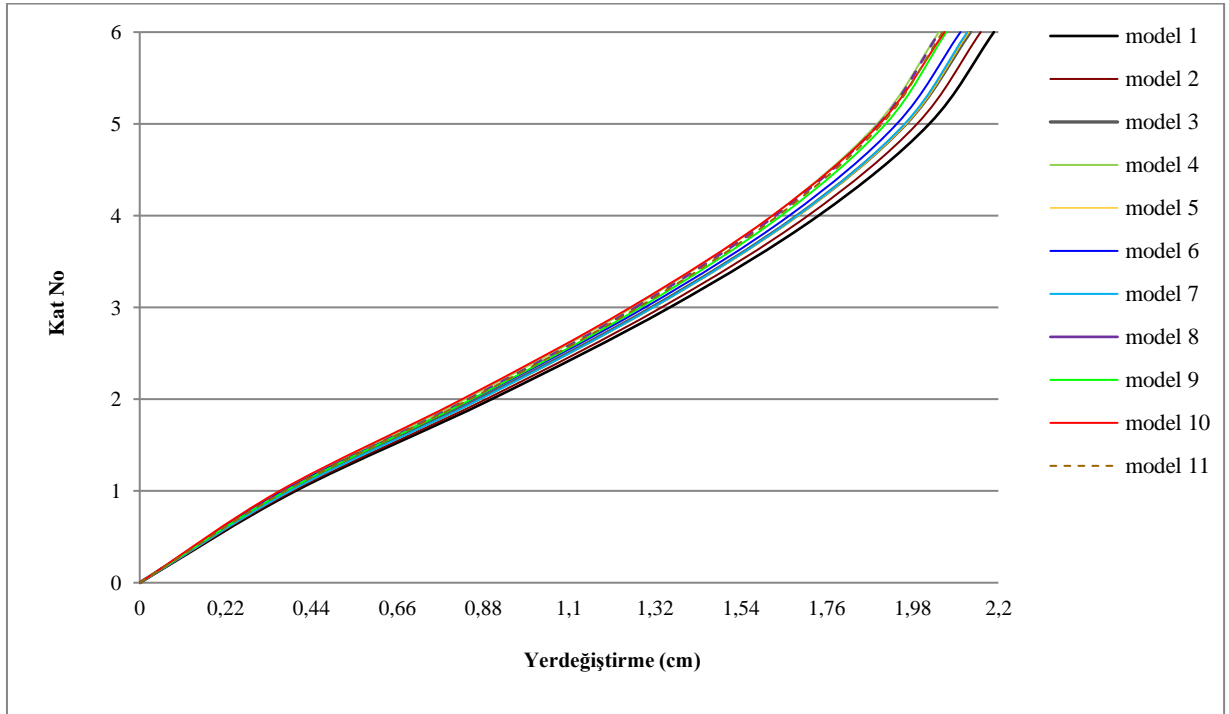
Tablo 3. Bina modellerinin maksimum taban kesme kuvvetleri ve 1. doğal titreşim periyotları

Bina modelleri	Farklı yerel zemin sınıflarına göre taban kesme kuvvetleri (t)								1. Doğal titreşim periyodu
	Z1		Z2		Z3		Z4		
	V_{tx}	V_{ty}	V_{tx}	V_{ty}	V_{tx}	V_{ty}	V_{tx}	V_{ty}	
model 1	268,892	268,892	334,390	334,390	457,742	457,742	534,692	534,692	0,73
model 2	263,560	263,560	327,83	327,83	448,842	448,842	519,136	519,136	0,72
model 3	251,645	247,815	313,164	308,211	428,938	421,932	484,556	483,546	0,71
model 4	235,608	235,608	293,187	293,187	401,545	401,545	449,079	449,079	0,69
model 5	257,984	257,858	320,966	320,793	439,525	439,268	503,715	503,604	0,71
model 6	223,645	232,993	278,192	290,133	380,88	397,594	433,240	434,550	0,71
model 7	258,195	258,190	321,223	321,220	439,872	439,871	503,562	503,585	0,71
model 8	247,338	247,338	307,852	307,852	421,716	421,716	472,455	472,455	0,69
model 9	246,139	246,139	306,341	306,341	419,624	419,624	472,826	472,826	0,70
model 10	226,584	233,953	281,803	291,368	385,766	399,333	432,253	434,472	0,69
model 11	246,815	246,815	307,194	307,194	420,805	420,805	472,649	472,649	0,70

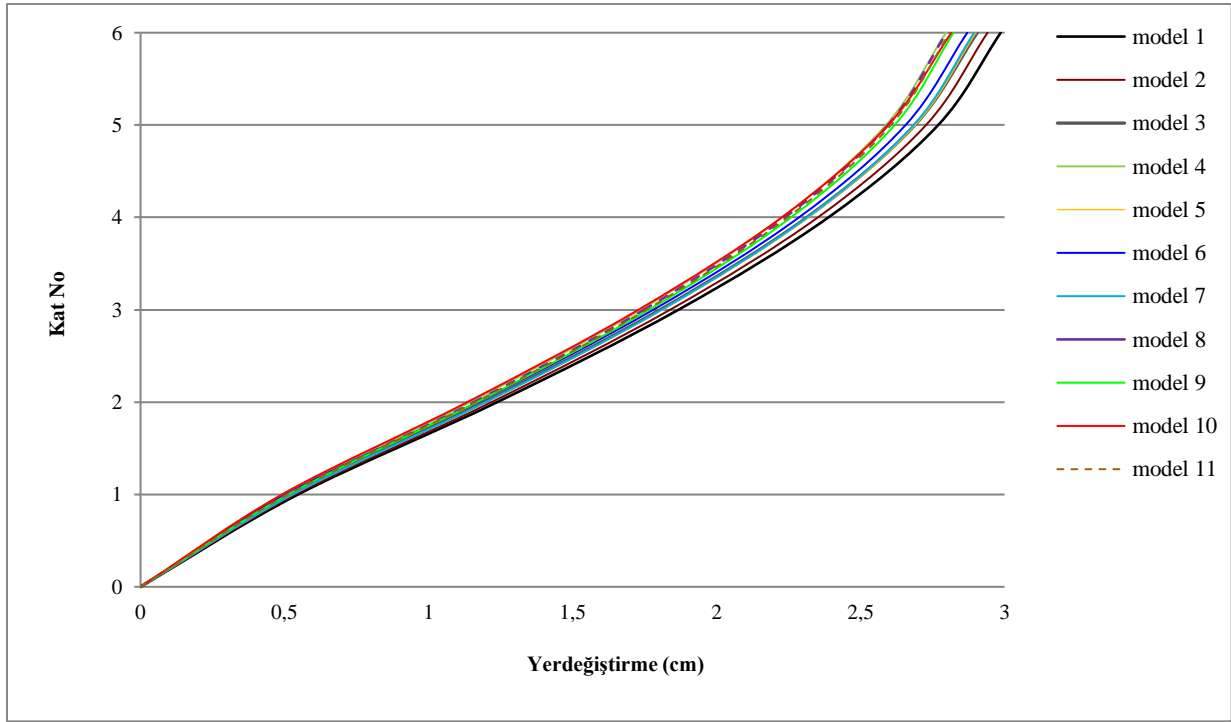
Bu çalışma kapsamında dikkate alınan bina modellerinin Sta4-CAD programı yardımıyla TDY’deki farklı yerel zemin sınıflarına göre yapılan yapısal çözümlerinden bina yükseklikleri boyunca kat seviyelerindeki yer değiştirme dağılımları sırasıyla Şekil 4-7’de verilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi model 1’den (döşeme boşluğu olmayan bina modelinden) elde edilen yer değiştirme değerleri diğer bina modellerinden daha büyük olmaktadır. Buna karşın boşluk oranı arttıkça bina modellerinin yer değiştirme değerlerinin azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan, dikkate alınan bina modellerinde zemin sınıfı Z1’den Z4’e arttıkça yani zemin esneklikçe kat seviyelerinde elde edilen yer değiştirme değerlerinin arttığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle en büyük yer değiştirme değerleri Z4 yerel zemin sınıfı için elde edilmektedir. Özetle, planda döşeme süreksizliğinin simetrik olmaması ve döşeme boşluk oranının artması, taşıyıcı sistem davranışını olumsuz şekilde etkilemektedir. Bu bulgular model 1’in diğer bina modellerinden daha iyi davrandığını ve zemin türünün binaların deprem performansını önemli derecede etkilediğini ortaya koymaktadır.



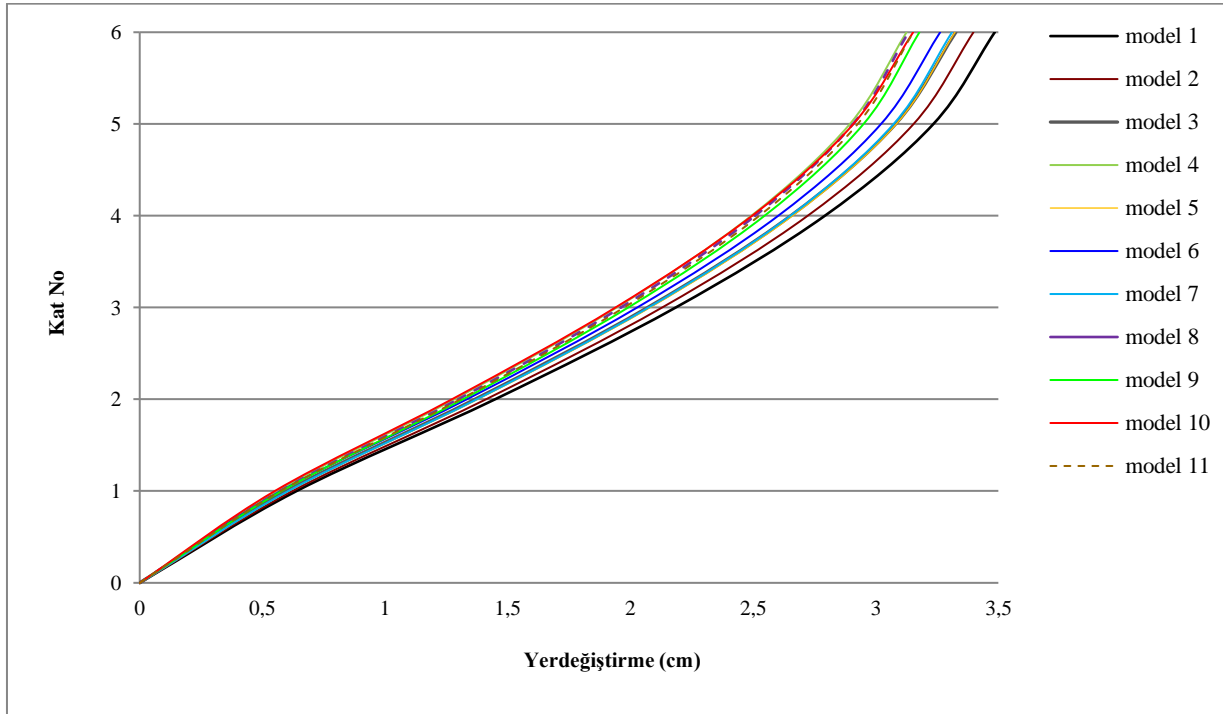
Şekil 4. Z1 yerel zemin sınıfı için bina modellerinin kat seviyelerindeki maksimum yer değiştirme değerleri



Şekil 5. Z2 yerel zemin sınıfı için bina modellerinin kat seviyelerindeki maksimum yer değiştirme değerleri



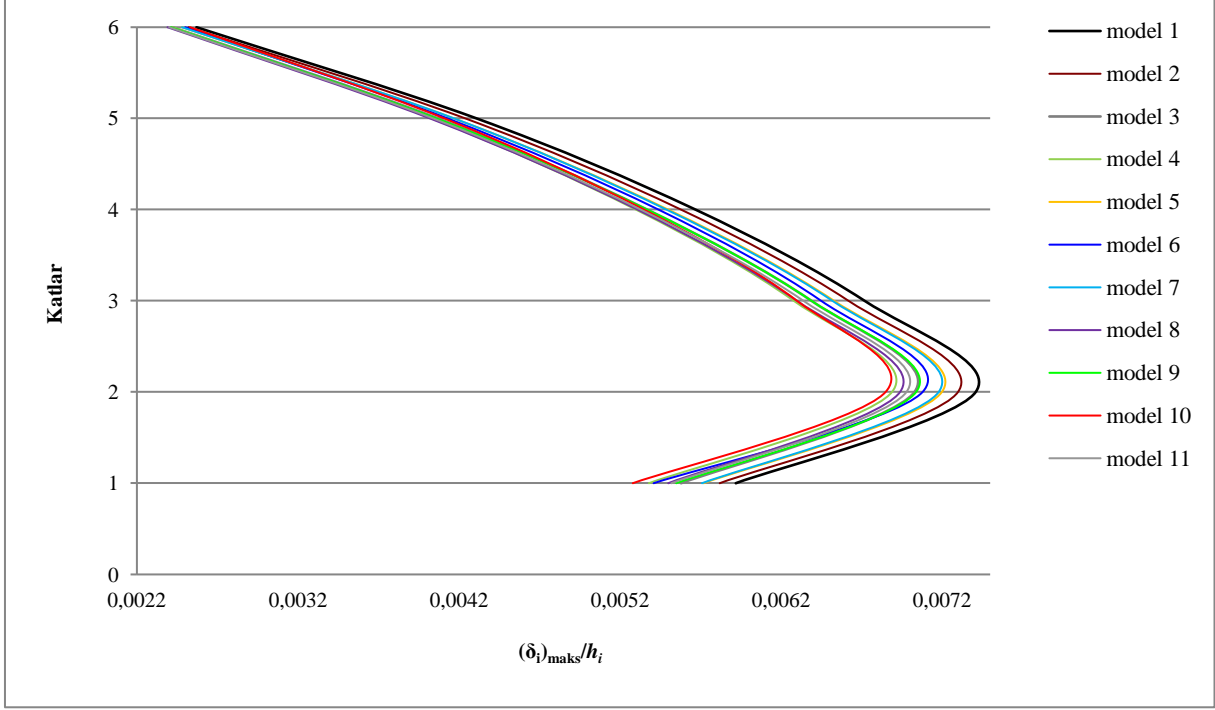
Şekil 6. Z3 yerel zemin sınıfı için bina modellerinin kat seviyelerindeki maksimum yerdeğiştirme değerleri



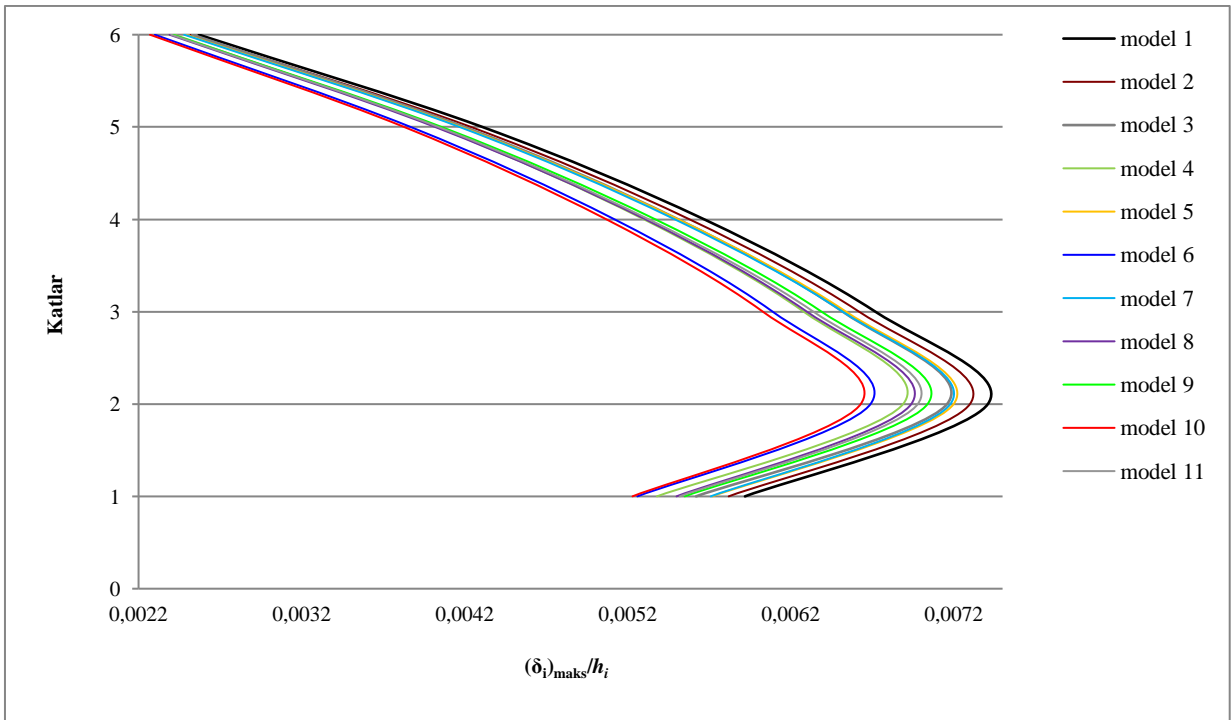
Şekil 7. Z4 yerel zemin sınıfı için bina modellerinin kat seviyelerindeki maksimum yerdeğiştirme değerleri

Bina modellerinin Sta4-CAD programıyla TDY’de önerilen farklı zemin sınıfları için gerçekleştirilen yapısal çözümlerden x ve y doğrultularında kat seviyelerindeki etkin görelî kat ötelemeleri dağılımları sırasıyla Şekil 8-15’te verilmektedir. Bu şekillerden de kat seviyelerinde hesaplanan en büyük etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin model 1’den elde edildiği görülmektedir. Ayrıca boşluk oranı fazla olan simetrik olmayan bina modelinden (model 10’dan) elde edilen etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin

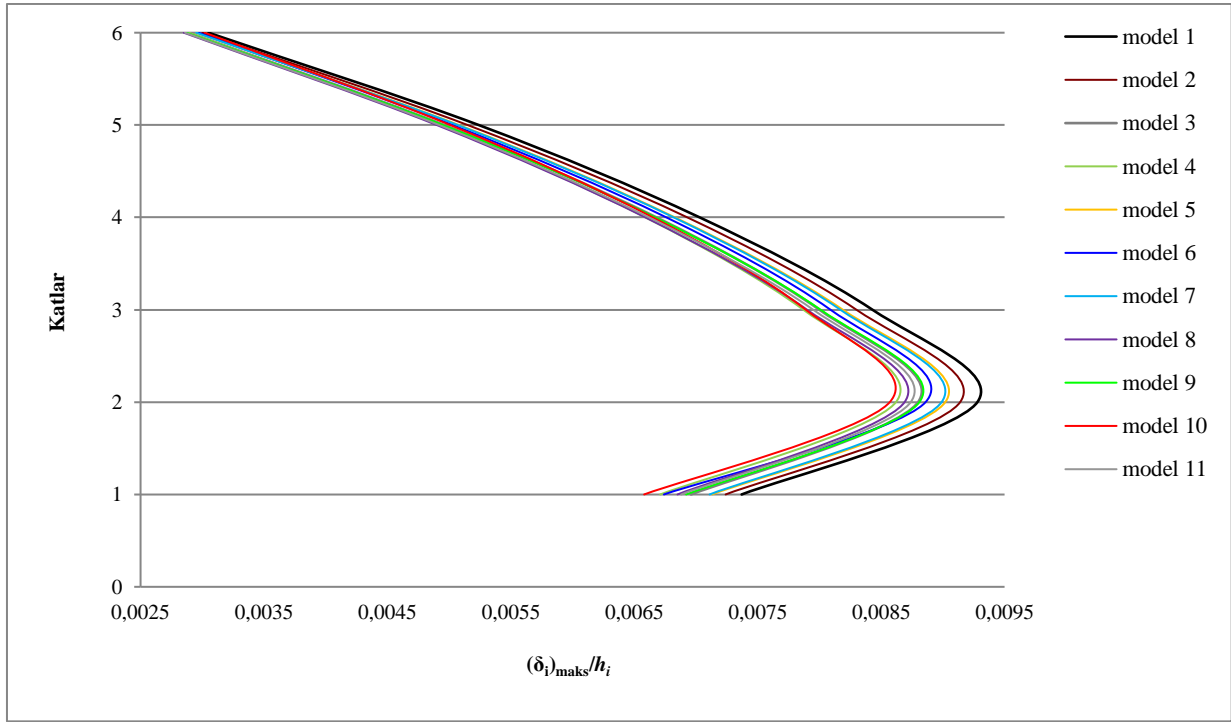
en küçük olduğu ve bütün yerel zemin sınıfları için en büyük etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin 2. kat seviyesinde olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, yerel zemin sınıfı esnekleştikçe dikkate alınan tüm bina modellerinde kat seviyelerindeki (hem x hem de y doğrultusunda) etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin arttığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle bütün bina modellerinde hem x hem de y doğrultusunda kat seviyelerindeki en büyük etkin görelî kat ötelemeleri değerleri Z4 yerel zemin sınıfı için 2. kat seviyesinde elde edilmektedir. Bu bulgular da döşeme boşluğunun ve yerel zemin sınıfının binaların deprem performansını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır.



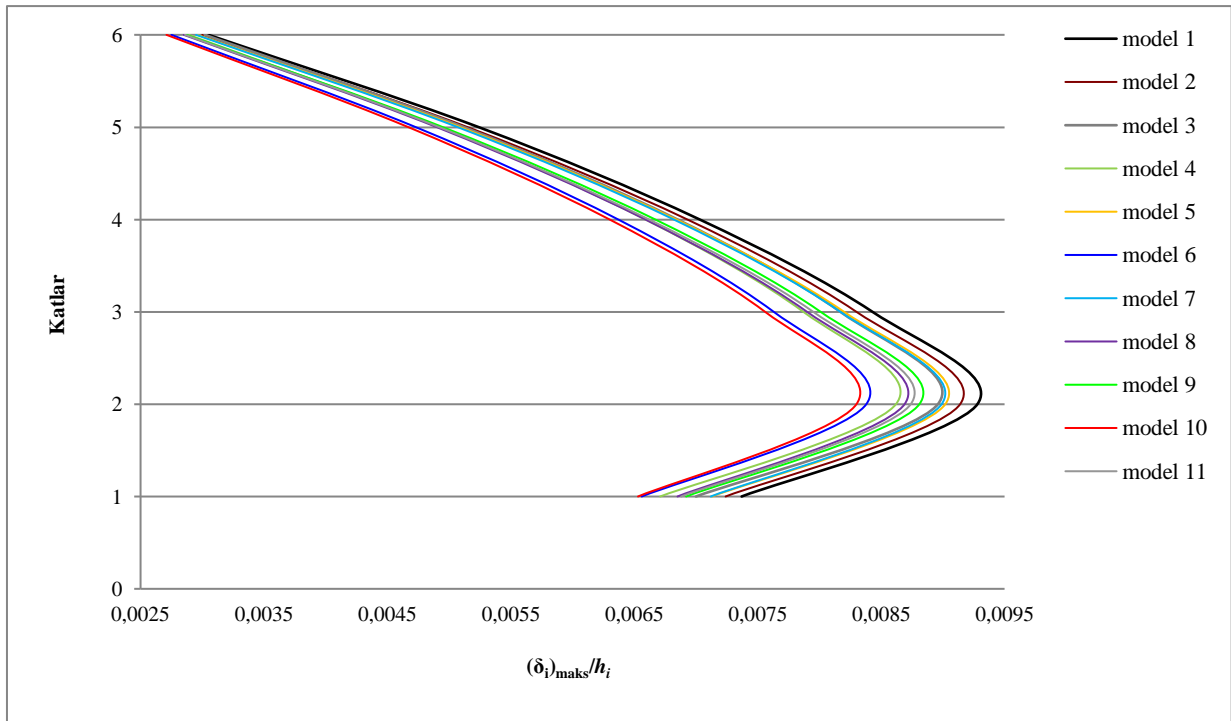
Şekil 8. Z1 zemin sınıfı için bina modellerinin x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri değerleri



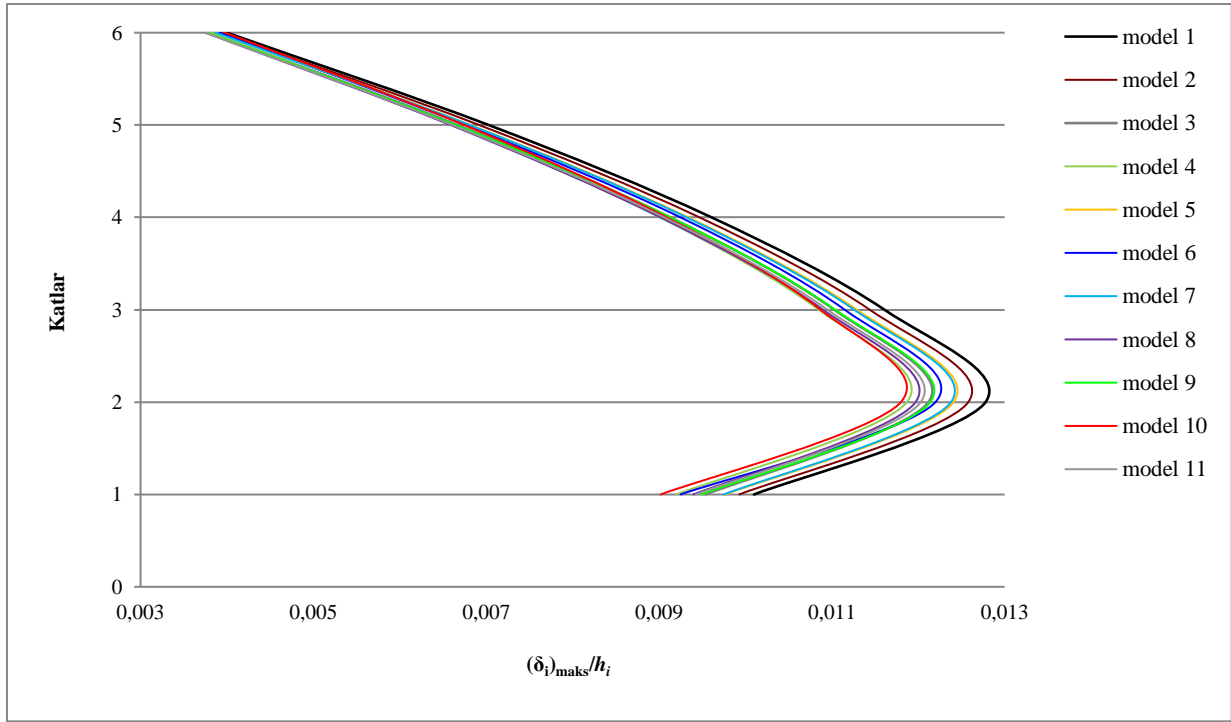
Şekil 9. Z1 zemin sınıfı için bina modellerinin y doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri değerleri



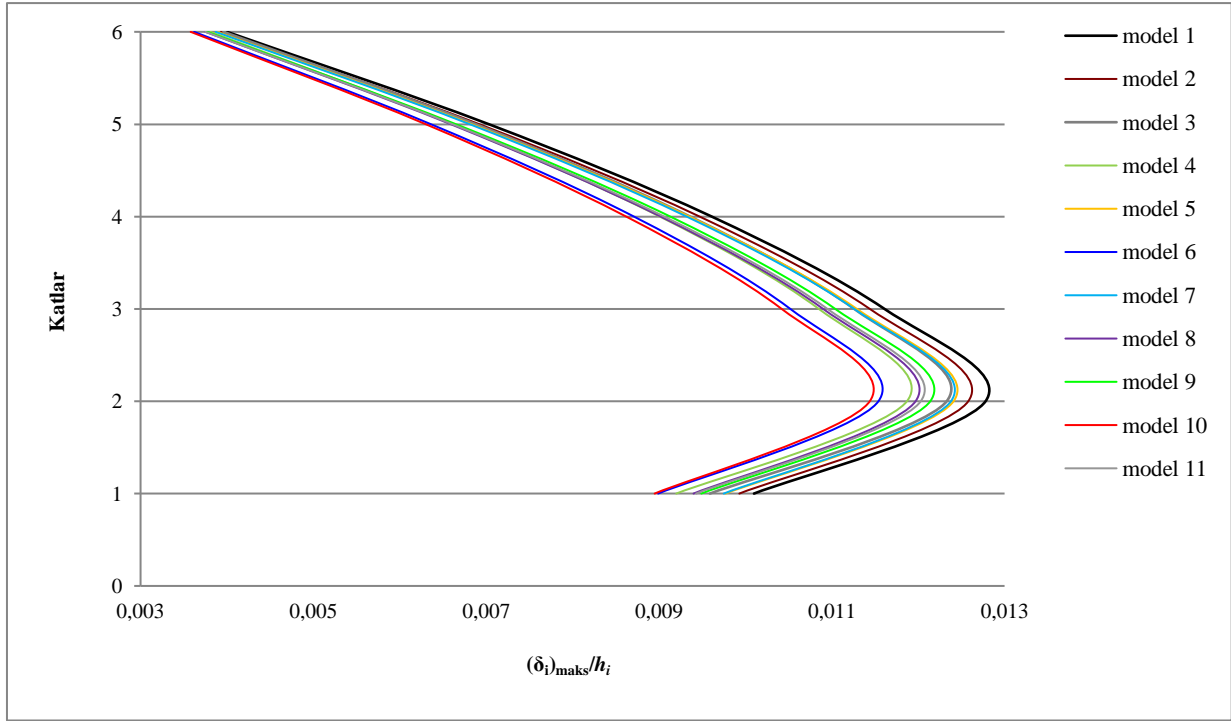
Şekil 10. Z2 zemin sınıfı için bina modellerinin x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri değeri



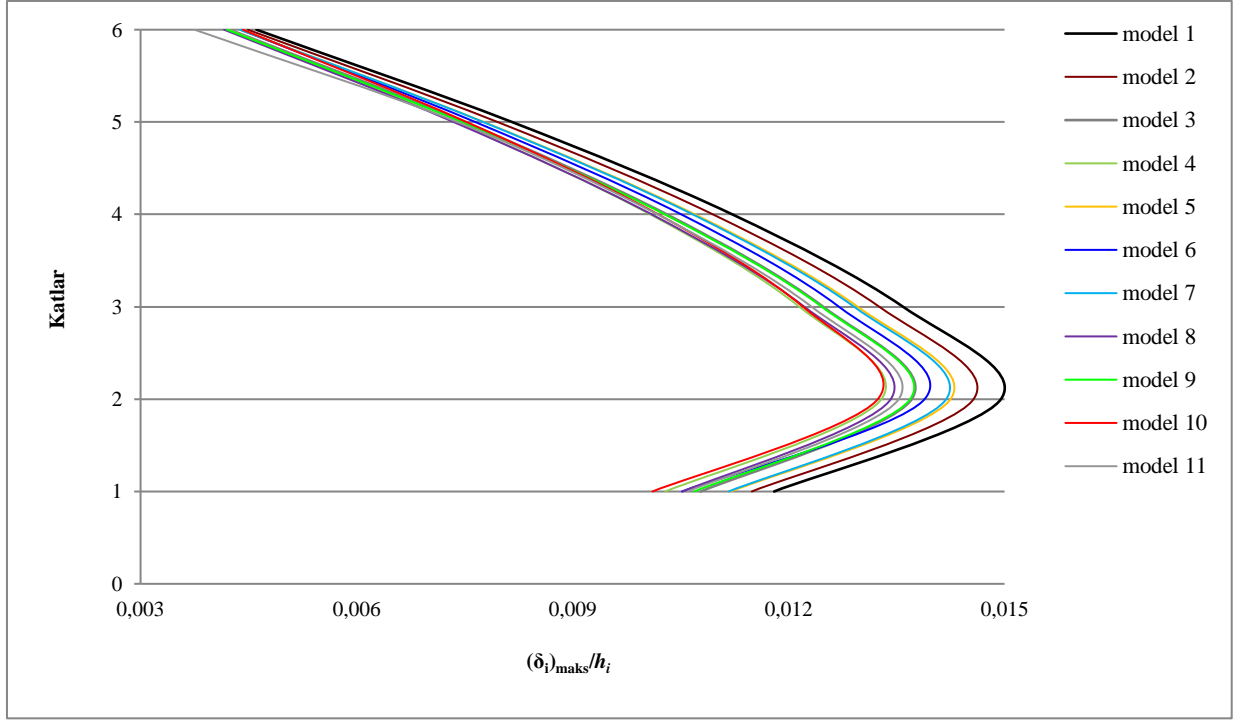
Şekil 11. Z2 zemin sınıfı için bina modellerinin y doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri değeri



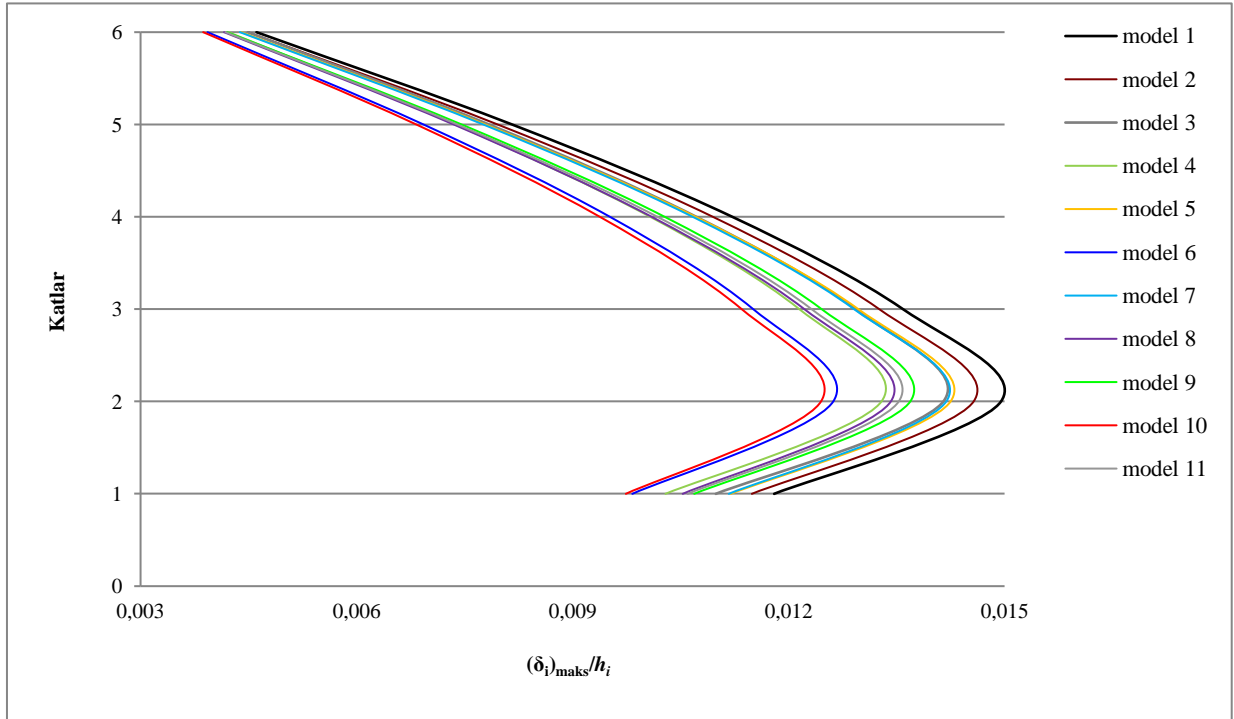
Şekil 12. Z3 zemin sınıfı için bina modellerinin x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri değeri



Şekil 13. Z3 zemin sınıfı için bina modellerinin y doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri değeri



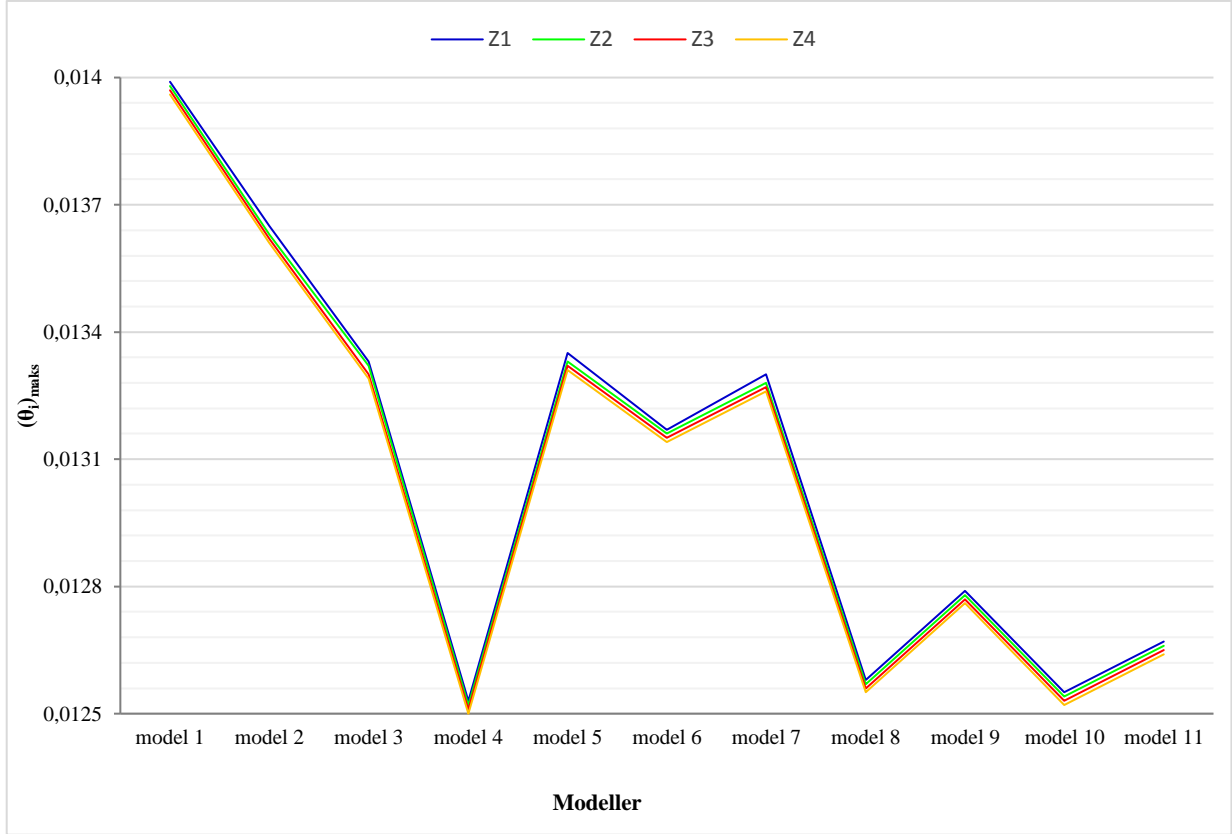
Şekil 14. Z4 zemin sınıfı için bina modellerinin x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri değeri



Şekil 15. Z4 zemin sınıfı için bina modellerinin y doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri değeri

Dikkate alınan bina modellerinin farklı zemin sınıfları için Sta4-CAD programıyla gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden elde edilen maksimum $\theta_{i,maks}$ katsayısının (ikinci mertebeye etkisinin) değeri Şekil 16'da verilmektedir. Bu şekilde en düşük $\theta_{i,maks}$ katsayısının değeri model 4'ten elde edilmektedir. Ayrıca döşeme boşluk oranı fazla olan ve konumu merkeze yakın olan bina

modellerinden hesaplanan $\theta_{i,maks}$ katsayısının küçük olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, yerel zemin sınıfı Z1'den Z4'e yükseldikçe tüm bina modellerinde elde edilen maksimum $\theta_{i,maks}$ katsayısı değeri azalmaktadır. Bu bulgular da döşeme boşluğu oranı ve konumunun betonarme binaların ikinci mertebe etkisini dolayısıyla deprem performansını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır.



Şekil 16. Farklı zemin sınıfları için bina modellerinin maksimum $\theta_{i,maks}$ katsayısının değişimi

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde verilen farklı yerel zemin türlerine göre betonarme binalarda döşeme boşlukları varlığının söz konusu binanın deprem davranışlarına ve kaba inşaat maliyetlerine etkileri STA4-Cad programıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen yapısal çözümlerden elde edilen başlıca sonuçlar ve önerileri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- Yerel zemin sınıfı Z1'den Z4'e arttıkça elde edilen toplam donatı metrajı değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca döşeme boşluğu büyüklüğü ve konumuna bağlı olarak toplam donatı metrajı değerleri önemli ölçüde farklılık göstermektedir.
- TDY'de verilen yerel zemin sınıflarına göre 1 m²'ye düşen en düşük donatı metrajı değerleri model 1'den elde edilmektedir. Ayrıca dikkate alınan bina modellerinde döşeme boşluğu oranı arttıkça 1 m²'ye düşen donatı miktarı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuç model 1'in dikkate alınan diğer bina modellerine göre daha ekonomik olduğunu göstermektedir.
- Bina modellerinin boşluk oranı arttıkça periyot ve taban kesme kuvveti değerleri model 1'e göre azalmaktadır. Bu sonuç döşeme boşluğu varlığının betonarme binaların deprem güvenliği azalttığını ortaya koymaktadır.

- Kat seviyelerinde model 1'den elde edilen yer değiştirme değerlerinin diğer bina modellerinden elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca, dikkate alınan bina modellerinde yerel zemin sınıfı Z1'den Z4'e arttıkça kat seviyelerinde elde edilen yer değiştirme değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu sonuçta planda döşeme süreksizliğinin simetrik olmaması ve/veya döşeme boşluk oranı büyüklüğünün fazla olması durumunda taşıyıcı sistem davranışının olumsuz etkilendiğini ortaya koymaktadır.
- Yapısal çözümler sonucu kat seviyelerinde hesaplanan en büyük etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin model 1'den elde edildiği görülmektedir. Ayrıca yerel zemin sınıfı Z1'den Z4'e arttıkça tüm bina modellerinde hem x hem de y doğrultusunda kat seviyelerindeki etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu sonuç döşeme boşluğunun betonarme binaların performansını etkilediğini ortaya koymaktadır.
- Yapısal çözümler sonucu maksimum $\theta_{i,maks}$ katsayısı (ikinci mertebeli etkisi) değerleri model 4'ten elde edilmektedir. Ayrıca döşeme boşluk oranı büyük olan ve konumu merkeze yakın olan bina modellerinden hesaplanan $\theta_{i,maks}$ katsayısının küçük olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, zemin sınıfı Z1'den Z4'e arttıkça tüm bina modellerinden elde edilen maksimum $\theta_{i,maks}$ katsayısı değeri azalmaktadır. Bu sonuç da döşeme boşluğu oranı ve konumunun binaların ikinci mertebeli etkisini dolayısıyla deprem performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.
- Yapısal çözümlerden elde edilen sonuçlar döşeme boşluk oranının artmasıyla bina kaba inşaat maliyetinin arttığını buna karşın deprem performanslarının ise azaldığını ortaya koymaktadır.
- Bu çalışmadan elde edilen bulgular dikkate alındığında, topraklarının hemen hemen hepsi aktif deprem bölgesinde bulunan, Türkiye'de inşa edilecek betonarme yapılarda yapı güvenliği ve performansı açısından zorunlu olmadıkça döşeme boşluklarının bırakılmaması önerilmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Sezen, A. S. Whittaker, K. J. Elwood ve K. M. Mosalam, "Performance of Reinforced Concrete Buildings During the August, 17, 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and Construction Practise in Turkey," *Engineering Structures*, c. 25, s. 1, ss. 103–114, 2003.
- [2] A. Doğangün, "Performance of Reinforced Concrete Buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey," *Engineering Structures*, c. 26, s. 6, ss. 841–856, 2004.
- [3] A. Durmuş, A. Doğangün, M. Hüsem ve S. Pul, "17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Mühendislik Açısından Öndeğerlendirme Raporu", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Trabzon Şubesi, 53s, 1999.
- [4] TMMOB, "13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik Raporu," İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara, 1993.
- [5] TMMOB, "13 Mart 1992 Erzincan Depremi," İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 1993, 48s.
- [6] Ş. Gürsoy, "Comparative investigation of the costs and performances of torsional irregularity structures under seismic loading according to TEC," *Computers and Concrete*, c. 14, s. 4, ss. 405-417, 2014.

- [7] Ş. Gürsoy ve R. Öz, “Yumuşak Kat Düzensizliğinin Betonarme Binaların Deprem Davranışına ve Kaba İnşaat Maliyetine Etkisinin İncelenmesi,” *Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16)*, Karabük, Türkiye, 2016, ss, 243–250.
- [8] Gürsoy, Ş., Öz, R. and Baş, S., “Investigation of the effect of weak-story on earthquake behavior and rough construction costs of RC buildings,” *Computers and Concrete*, c. 16, s. 1, ss.141-161, 2015.
- [9] Z. Ş. Garip, E. Eren, F. Erdem ve M. N. Bozdoğan, “Deprem Etkisindeki Betonarme Binalarda Yumuşak Kat Düzensizliğine Perde Duvar Etkisi,” *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2017)*, Baku-Azerbaijan, 2017, ss. 449-556.
- [10] ABYYHY, “*Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*,” Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1998.
- [11] TDY-2007, “*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*,” Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [12] TBDY, “*Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*,” Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [13] TS-500, “*Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*,” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.