



*Araştırma Makalesi / Research Article*


## Betonarme Binalarda Rijitlik Merkezi Problemi

### Rigidity Center Problem in Reinforced Concrete Buildings

Enes AKSOY<sup>1</sup> , Fuat KORKUT<sup>2,\*</sup> , Barış ERDİL<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 65090, Van, Türkiye

<sup>2,3</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 65090, Van, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1183321>

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihi

Alınış, 03 Ekim 2022

Revize, 08 Aralık 2022

Kabul, 10 Aralık 2022

Online Yayınlama, 26 Aralık 2022

##### Anahtar Kelimeler

Rijitlik merkezi, Burulma,  
Betonarme bina

#### ÖZ

Yatay yük altındaki bir betonarme bina rijitlik merkezi etrafında burulma momentlerine maruz kaldığında düşey taşıyıcı elemanlarda ilave kesme kuvveti zorlamalarının meydana geldiği bilinmektedir. Rijitlik merkezi hesabının yaklaşımı bu kesit zorlamalarını önemli ölçüde değiştirecek farklılıklar içermekte midir? Bu sorunun cevabının arandığı bu çalışmada öncelikle 5 kattan oluşan iki adet simetrik (tamamen çerçevesel, çerçevesel ve perdeli)bina ile altı adet asimetrik bina ele alınarak halihazırda yapısal analizler için kullanılan ETABS, Sta4CAD, İdeCAD ve ProtaStructure programları ile 3B modellenmiş ve analizler yapılarak rijitlik merkezleri karşılaştırılmıştır. İlgili binaların rijitlik merkezi TBDY2018 kuralları çerçevesinde atalet momenti referans alınacak şekilde bir kez daha bulunmuş, daha sonra ise düşey taşıyıcı elemanların alanlarını referans alan bir yaklaşım ile rijitlik merkezi (alan merkezi) hesaplanmıştır. Hesaplar sonucunda bütün yaklaşımların farklı sonuçlar verdiği, rijitlik merkezi konumları arasında çok büyük farklar olduğu gözlemlendiğinden, binalar SAP2000 ile bir kez daha 3B olarak modellenmiş ve programların ön gördüğü rijitlik merkezine her iki asal yönde ayrı ayrı yatay kuvvet verilerek kat dönmesinin miktarı hesaplanmıştır. Minimum kat dönmesine sebep olan rijitlik merkezi hesabının en doğru sonuç verdiği kabul edilerek yapılan analizlerde çoğunlukla ETABS yaklaşımının daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

#### ARTICLE INFO

##### ArticleHistory

Received, 03 October 2022

Revised, 08 December 2022

Accepted, 10 December 2022

Available Online, 26 December 2022

##### Keywords

Rigidity center, Torsion, Reinforced  
concrete building

#### ABSTRACT

It is known that when a reinforced concrete building under horizontal load is subjected to torsional moments around its center of rigidity, additional shear stresses occur on vertical load-carrying elements. Does the approach to calculate the rigidity center include differences that significantly change these section stresses? The answer to this question is sought in this study. First of all, two symmetrical (fully framed, frames+shear walls) buildings and six asymmetrical buildings were handled and 3D models were created with ETABS, Sta4CAD, İdeCAD and ProtaStructure software, which are currently used for structural analysis, and after the analysis the calculated

\*Sorumlu Yazar

**E-posta Adresleri:** [mhnds.enesaksoy@gmail.com](mailto:mhnds.enesaksoy@gmail.com) (Enes AKSOY), [fuatkorkut@yyu.edu.tr](mailto:fuatkorkut@yyu.edu.tr) (Fuat KORKUT),

[bariserdil@yyu.edu.tr](mailto:bariserdil@yyu.edu.tr) (Barış ERDİL)

rigidity centers were compared. Rigidity center of those buildings was found once again using the rules given in TBDY2018, and then rigidity center was found using a modified approach in which the areas of the vertical load-carrying elements were utilized. As a result of the calculations, since it was observed that all approaches gave different results and there were great differences between the rigidity centers, all the buildings were once again 3D modeled with SAP2000 and the amount of floor rotation was calculated by applying horizontal force in both principal directions to the rigidity centers predicted by the software. From the analysis by assuming that the rigidity center calculation leading the minimum floor rotation finds the most accurate result, it has been determined that the ETABS approach gives more accurate results.

## 1. GİRİŞ

Deprem Yönetmeliklerinde belirtilen kurallara uygun şekilde binalar tasarlanıp inşa edilmedikleri için ülkemizde yaşanan orta büyüklükte ve şiddetli depremlerde can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Hasar çoğunlukla malzeme kalitesi ve tasarım yetersizliklerinden kaynaklanmakla beraber düşey taşıyıcı sistem elemanlarının yanlış yerleşiminin de hasarı arttırıcı bir faktör olduğu belirlenmiştir.

Depremi doğrultusu ve binaya etki etme açısı belirsiz olduğundan binaların iki asal ekseninde de yeterli deprem performansına sahip olması istenir. Bu maksatla tasarımda düşey taşıyıcı sistem elemanları binaya iki asal ekseninde de dayanım, rijitlik ve süneklik katacak şekilde yerleştirilir. Fakat bazen mimari ve ekonomik sebeplerden dolayı düşey taşıyıcı sistem elemanları asimetrik yerleştirilebilir. Eğer yerleşim iyi ayarlanmazsa bu durumda binanın rijitlik merkezi kütle merkezinden uzaklaşır. Rijitlik merkezinin kütle merkezinden uzaklaşması neticesinde, kütle merkezine etkiyen kat deprem kuvveti binayı rijitlik merkezi etrafında döndürmeye çalışır ve bundan dolayı katta burulma meydana gelir. Burulma etkisi düşey taşıyıcı sistem elemanlarına ek bir kesme kuvveti olarak aktarılır. Yatay deprem kuvveti altında kesme kuvveti ile zorlanan bir eleman ilave olarak burulma kaynaklı kesme kuvvetini de taşımak zorunda kalır. Bu sebeple binalardaki burulma etkileri doğru bir şekilde belirlendiği takdirde ilave kesme kuvvetlerinin hangi elemanı ne derecede zorlayacağı belirlenerek, deprem öncesi önlemler alınarak bina güvenliği artırılabilir. Burulma etkilerinin gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesi için kütle merkezi ve rijitlik merkezi konumlarının doğru olarak belirlenmesi gerekir [1,2].

Betonarme binaların rijitlik merkezleri her kat için ayrı ayrı olarak belirlenebileceği gibi bina için tek bir rijitlik merkezi de hesaplanabilmektedir [2-9]. Farklı yaklaşımların önerildiği ve uygulandığı rijitlik merkezi hesaplarında genel olarak aşağıdaki metotlar önerilmektedir:

- Binaların  $x$  ve  $y$  doğrultularında bağımsız olarak ele alınarak düşey taşıyıcı sistem elemanlarının alanı ve konumu dikkate alınmaktadır [1,6,10].

- Kat rijitlik matrisleri oluşturularak x ve y doğrultularında bağımlı ve bağımsız analizler yapılarak taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan kesme kuvvetlerinin dağılımı dikkate alınmaktadır [2-5,11-13].
- Bina için globalrijitlik matrisi oluşturularak ve birim yükleme altındaki dönmelerin dağılımı dikkate alınmaktadır [14].

Rijitlik matrisleri kurularak kat rijitlik merkezi hesaplanan yöntemlerde genel olarak katın rijit diyafram özelliği gösterdiği varsayılmaktadır. Acun [15] tarafından yapılan çalışmada yatay yük altında bina döşemelerinin rijit diyafram davranışını sergileyip sergilemediği araştırılmıştır. Binalarda rijit diyafram döşeme kabulünün makul sonuçlar vermesinin tasarımcılar için yatay yük etkisi altında bütün döşemelerin rijit diyaframlar olarak modellenebileceği algısına sebep olabildiğini belirtmektedir. Fakat yeni yönetmeliklerin genelinde belirtilen düzensizliklere sahip yapılar için bu kabulün uygunluğunun doğrulanmadığı hallerde döşemeler için sonlu eleman modelleri (SEM) yapılmalıdır. Rijit diyafram kabulünün gerçek yapı davranışını temsil edip etmediği araştırılmıştır. 3 boyutlu 34 adet yapı modeli SAP2000 ve ANSYS programlarıyla modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Toplam 68 ayrı modelde üst kat döşemeleri üzerinde seçilen tipik noktalar için y doğrultusundaki yer değiştirme değerleri belirlenmiştir. Kat yükseklikleri arttıkça rijit diyafram modeli sonuçlarının SEM sonuçlarına yaklaştığı gözlemlenmiştir. Döşeme kalınlığının artması ile düzlem içi rijitliklerin arttığı görülmüş ve rijit diyafram modeli ile SEM sonuçlarının birbirine yaklaştığı belirlenmiştir. Döşemede boşluk miktarının artması durumunda rijit diyafram modeliyle bulunan sonuçların SEM ile bulunan sonuçlardan uzaklaştığı görülmüştür. Girintili çıkıntılı yapı için simetrik taşıyıcı sistem altında SEM sonuçları ile rijit diyafram sonuçlarının benzer olduğu görülmüştür.

Rijitlik merkezinin kütle merkezine yaklaştırılmasında düşey taşıyıcı elemanların konumları ve büyüklükleri önem taşımaktadır. Tasarımın mimari proje ile başladığı düşünüldüğünde mimari projede taslak olarak yerleştirilen düşey taşıyıcı sistem elemanlarının rijitlik merkezini kütle merkezinden çok uzaklaştırmayacak şekilde planlanması gerekmektedir. Dolayısıyla mimari proje müelliflerinin rijitlik merkezi konusunda bir farkındalığa sahip olması olası problemlerin önüne erken geçilmesi noktasında etkili olacaktır. İdemem [16] tarafından mimari tasarıma yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada mimarın taşıyıcı sistemi doğru bir biçimde yerleştirebilmesi için AutoCAD [17] programı üzerinden AutoLISP programlama dili ile kat ağırlık merkezi ve rijitlik merkezi hesabı için bir yazılım geliştirmiştir. Bu yazılımda mimari çizim bittikten sonra program aktive edilip kolon, perde duvar ve döşemenin tanımlanmasıyla projeye ait kütle ve rijitlik merkezlerinin konumu belirlenmektedir. Bu sistemde Deprem Yönetmeliği'nin  $\pm\%5$  eksantrisite değeri için sınır değeri belirlenerek işlem yapılabilir. Bu sistemde Deprem Yönetmeliği'nin  $\pm\%5$  eksantrisite değeri için sınır değeri belirlenerek işlem yapılabilir.

Düşey taşıyıcı sistem elemanlarının yerleşiminin problemlili olması durumunda kat düzleminde burulma momentleri meydana gelmekte ve burulma kaynaklı dönmeler sistemi ilave kesme kuvvetleri ile zorlamaktadır. Burulma düzensizliği katsayısını etkileyen faktörlerin incelendiği çalışmalarda betonarme binalar 3B olacak şekilde modellenmiş ve perde duvarlar asimetrik yerleştirilmiştir. İdeCAD ve Sta4CAD programlarının kullanıldığı çalışmalarda kat sayısının azalmasıyla burulma düzensizliği katsayısının arttığı, her model için en alt katta üst katlara göre burulma düzensizliği katsayısının fazla hesaplandığı, perde duvarların yapı ağırlık merkezine yaklaştırılmaları ile burulma momentlerinde azalmalar meydana geldiği, perde duvarların asimetrik olarak ağırlık merkezine yakın yerleştirilmesi ile x ve y doğrultusunda eşit oranda kullanılmaması durumunda burulma düzensizliği katsayısının büyüdüğü ve yüksek katlı binalarda burulma düzensizliği katsayısının büyük değerler almadığı tespit edilmiştir [18,19].

Perde duvarların büyük atalet momentlerine sahip olmaları sebebi ile rijitlik merkezinin konumunu etkilemede önemli olduğu çeşitli çalışmalar ile belirlenmiştir. Bu sebeple perde duvar yerleşiminin sistem davranışına etkisi de incelenmiştir [20,21]. ETABS programı ile analiz edilen işyeri türündeki binalarda, bina modellerinin tamamında kat yüksekliği, sayısı ve alanı aynı alınarak mod şekilleri, şekil değiştirme, yer değiştirme, burulma ve taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarında rijitlik merkezi ve kütle merkezinin birbirinden uzaklaştığı yapılarda görece kat ötelemelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Aşırı rijit perde yerleşiminin taban kesme kuvvetini artırdığı gözlemlenmiştir. Perde duvarların dış akslara simetrik yerleştirilmesi burulma rijitliğini artırarak kesme kuvvetlerini azaltmıştır. Perde duvarların burulma oluşturmayacak şekilde simetrik olarak yerleştirilmesi, devrilme momentini fazla karşılamaması ve dış akslara yakın olması tavsiye edilmiştir [20]. Diğer çalışmada ise perde duvarların tek parça halinde kullanılması ile toplam perde uzunluğu aynı olacak şekilde perde duvarların bölünerek parçalı kullanılmasının sistem davranışına etkisi 3B SAP2000 [22] modelleri incelenmiş. Binada parçalı perde duvar kullanılması durumunda sistem rijitliğinin düşerek kat ötelemelerinin arttığı, perde duvarların dış akslara yakın yerleştirilmesi ile perde duvarların daha fazla moment aldıkları, perde duvarların merkeze yerleştirilmeleri neticesinde ise bu defa perde duvarların kesme kuvvetlerini daha fazla üstlendiği tespit edilmiştir[21].

Mevcut durum göz önüne alınarak öncelikle rijitlik merkezinin nasıl bulunduğu üzerine bir araştırma yapılmış ve literatürde farklı yaklaşımların olduğu görülmüştür. Bu araştırmalar sonucunda mevcut yazılımların rijitlik merkezi hesabında kullandıkları farklı yöntemlerden dolayı taşıyıcı sistemi simetrik olmayan binalarda farklı konumları rijitlik merkezi olarak hesaplama olasılıkları bulunmaktadır. İlgili yazılımlara ek olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018)'de önerilen yöntem ve elle düşey taşıyıcı sistem elemanlarının atalet momentlerine göre hesaplanan rijitlik merkezi hesap yöntemleri de literatürde yerini almıştır. Farklı rijitlik merkezi yaklaşımlarının

birbirleri ile olan farklılıkları ve hangi yaklaşımın daha gerçekçi sonuçlar verdiğinin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır:

- İlk aşamada tamamı çerçevelerden oluşan simetrik bir bina, çerçeve ve perdelerden oluşan diğer bir simetrik bina ve düşey taşıyıcı elemanları asimetrik yerleştirilmiş 6 adet bina ele alınmıştır. Bu binaların rijitlik merkezleri yaygın olarak kullanılan yapısal analiz programları (Sta4CAD, İdeCAD, ProtaStructure ve ETABS) ile 3B olarak modellenerek analiz edilmiş ve programlardan direkt alınmış, bunlara ilave olarak TBDY2018’de yer alan yöntem ve alan tabanlı değiştirilmiş bir versiyonun da dikkate alındığı rijitlik merkezi formülasyonları kullanılmıştır.
- İkinci aşamada ise binalar SAP2000 programında 3B olarak modellenmiş ve her yöntemin hesapladığı rijitlik merkezi konumuna yatay yükler her iki asal doğrultu için ayrı ayrı olacak şekilde etki ettirilmiş ve kat dönmesi hesaplanmıştır. Bu hesap neticesinde en düşük dönme miktarının elde edildiği rijitlik merkezi yaklaşımın gerçeğe en yakın olduğuna karar verilmiştir.

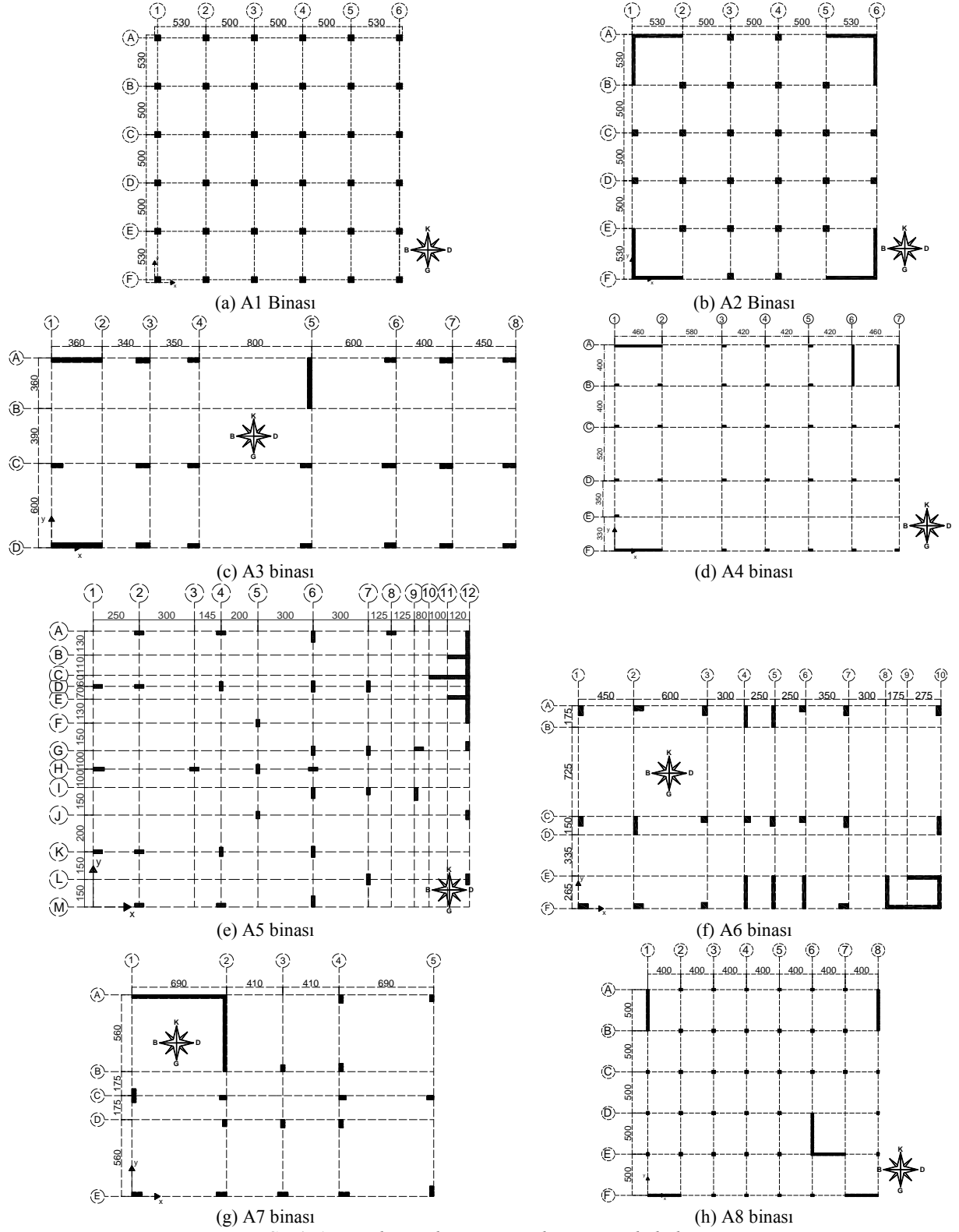
## 2. MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında burulma etkilerinin açık bir şekilde görülebildiği 6 adet betonarme bina seçilmiştir. Bu binalara ilave olarak burulma etkisinin hiç olmadığı simetrik iki adet betonarme bina da kontrol binaları olarak analiz edilmiştir.

### 2.1 Bina Özellikleri

Şekil 1’de bu çalışma kapsamında incelenen binaların normal kat planları verilmektedir. A1 ve A2 binaları simetrik plana sahip ve kontrol amaçlı kullanılan binalar olarak tasarlanmıştır. A1 binası çerçeveli bir sistem olarak planlanmış ve bütün kolonlar kare kesitli ve aks aralıkları sabit seçilmiştir. A2 binası ise A1 binasına benzer olarak oluşturulmuş fakat bina köşelerine perde duvarlar yerleştirilmiştir. Buradaki amaç simetrik bir binada programların hesapladıkları rijitlik merkezi konumlarının farklı olup olmadığını belirlemektir. A3 binası dikdörtgen planlı bir bina olmasına rağmen kısa doğrultuda kolonu bulunmayan ve perde duvarların binanın batı tarafında yoğun olarak kullanıldığı bir binadır. A4 binasında perde duvarlar binanın batı kenarı ile kuzey kenarında konumlandırılmıştır. A5, A6 ve A7 binalarında perdeler grup şeklinde planlanmış ve binanın bir kenarına doğru yerleştirilmiştir (Şekil 1e,f,g). Bütün binalar 5 katlı olacak şekilde planlanmıştır. Binaların kat plan alanları  $284 \text{ m}^2$  ile  $700 \text{ m}^2$  arasında değişmektedir (Tablo 1). Tabloda  $A_g$  zemin kat alanını,  $L_x$  binanın  $x$  doğrultusundaki uzunluğunu (planda yatay uzunluğu),  $L_y$  binanın  $y$  doğrultusundaki uzunluğunu,  $A_{cx}$   $x$  doğrultusunda uzanan kolonların toplam alanını,  $A_{cy}$   $y$

doğrultusunda uzanan kolonların toplam alanını,  $A_{swx}$  x doğrultusunda uzanan perde duvarların toplam alanını ve  $A_{swy}$  y doğrultusunda uzanan perde duvarların toplam alanını göstermektedir.



Şekil 1. Binaların plan görünüşleri ve yön kabulü

Binalar modellenirken aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır [23]:

- Kat yükseklikleri 3 m'dir ve bütün binalar 5 katlı olacak şekilde tasarlanmıştır.
- Beton sınıfı C25 alınmıştır.
- Donatı sınıfı S420 alınmıştır.
- Dış kiriş yükü 0,32 t/m<sup>2</sup>, iç kiriş yükü 0,25 t/m<sup>2</sup> alınmıştır.
- Döşeme kaplama yükü 0,21 t/m<sup>2</sup> alınmıştır.
- Deprem yükü için bütün binalarda aynı konum kullanılmıştır.

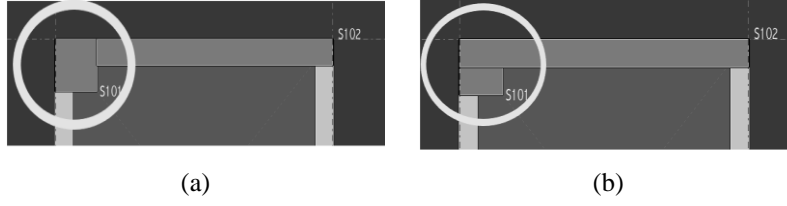
**Tablo 1.** Binaların genel özellikleri

Bina Adı	A <sub>g</sub> , m <sup>2</sup>	L <sub>x</sub> , m	L <sub>y</sub> , m	A <sub>cx</sub> , m <sup>2</sup>	A <sub>cy</sub> , m <sup>2</sup>	A <sub>swx</sub> , m <sup>2</sup>	A <sub>swy</sub> , m <sup>2</sup>
A1	655	25,6	25,6	12,96	12,96	0,00	0,00
A2	655	25,6	25,6	8,64	8,64	6,00	6,00
A3	446	33,0	13,5	4,97	0,00	2,34	1,08
A4	552	27,6	20,0	2,24	0,00	1,84	1,60
A5	284	20,5	15,0	1,32	2,04	0,92	1,00
A6	487	29,5	16,5	2,53	4,43	1,81	4,19
A7	323	22,0	14,7	1,35	1,70	1,73	1,40
A8	700	25,0	28,0	4,40	3,92	3,60	4,50

Yukarıda verilen binalar Sta4CAD (S), İdeCAD (I), ProtaStructure (P) ve ETABS (E) programlarında modellenerek analizleri yapılmıştır. Yapısal analiz programlarının hesapladığı rijitlik merkezleri, düşey taşıyıcı sistem elemanlarına ait atalet momentlerine göre elde edilen rijitlik merkezleri (EH(I)) ve düşey taşıyıcı sistem elemanlarına ait alan momentlerine göre elde edilen rijitlik merkezlerine (EH(A)) her binaya ait kat planında yer verilmiştir.

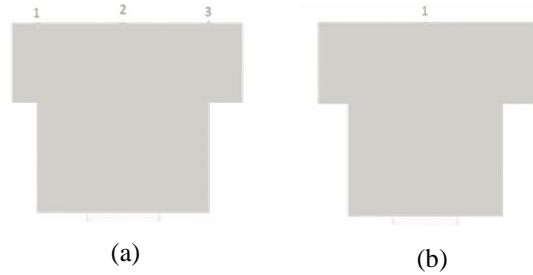
Modelleme yapılırken aşağıda hususlar göz önüne alınmıştır:

- Sonlu eleman modelleme prensibi gereği kolon ve kirişler çubuk eleman, perde duvarlar ve döşemeler alan eleman olarak modellenmektedir.
- Rijitlik merkezi hesabında döşemelerde rijit diyafram yaklaşımı kabul edilmiştir.
- Şekil 2a'da verilen modelde perde duvar ve kolon yüzeyden kesiştirilmektedir. Sta4CAD'te poligon kolon (perde duvar) modellenirken bir aks kesişimi seçilerek modele başlanır ve koordinatlar belirlenerek poligon kolon modeli tamamlanır. Kolon çubuk eleman olarak, perde duvar alan eleman olarak analiz edileceği için Şekil 2a'daki perde duvarın sol ucundaki düğüm noktası ile kolon ve aksların kesiştiği noktadaki kolona ait düğüm noktası arası boş kalmaktadır. Bu şekilde modellenen birden fazla perde duvarlı binaya ait düşey taşıyıcı sistemi Sta4CAD programı kirişsiz döşeme olarak algılayıp analiz edebilmektedir. Bu durumun oluşmaması için Şekil 2b'deki gibi düğüm noktaları baz alınarak akslar arası modelleme yapmak gerekmektedir. Bütün programlarda eşlenik modelleme yapabilmek için bu çalışmadaki binalar Şekil 2b'deki gibi modellenmiştir.



Şekil 2. Sta4CAD programında modelleme teknikleri

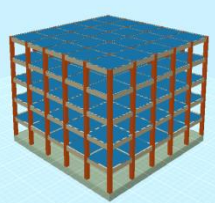
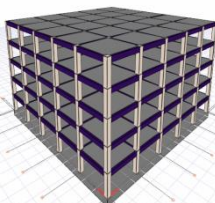
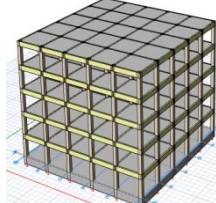
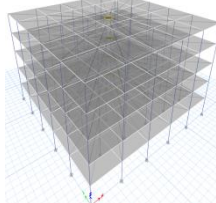
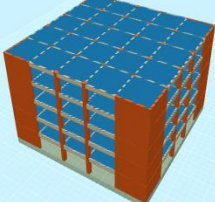
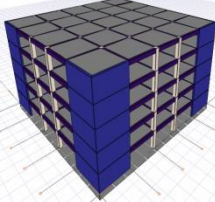
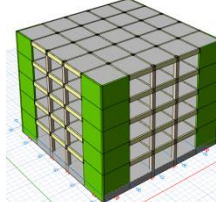
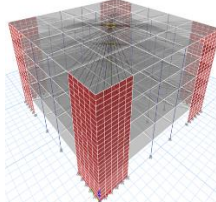
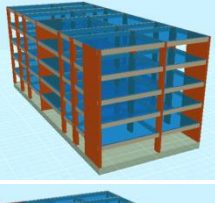
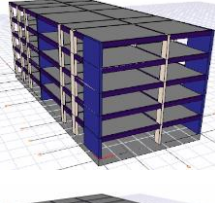
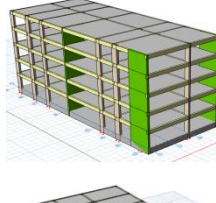
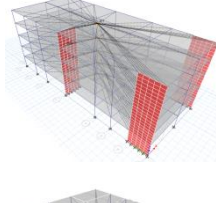
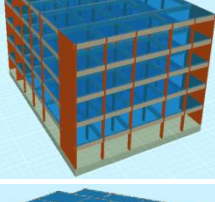
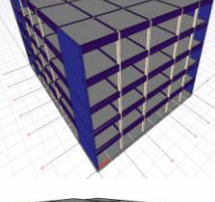
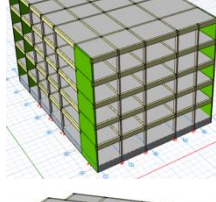
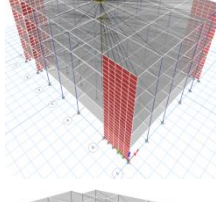
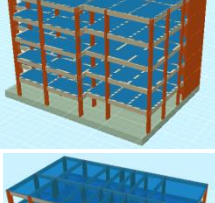
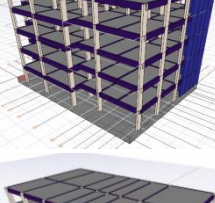
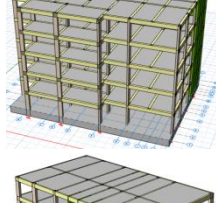
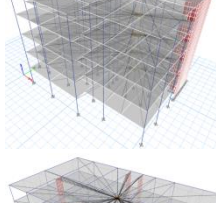
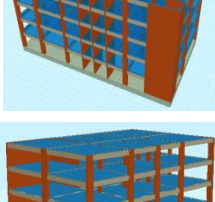
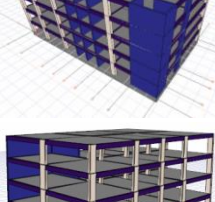
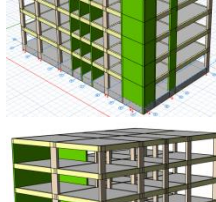
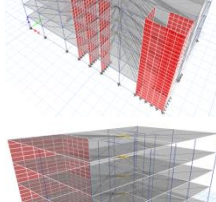
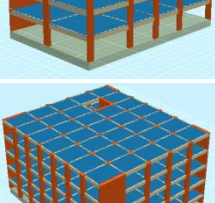
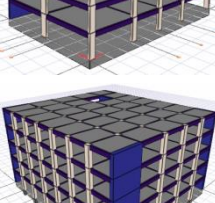
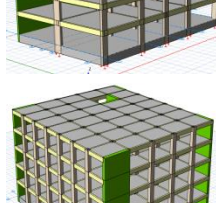
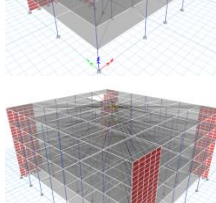
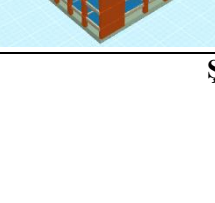

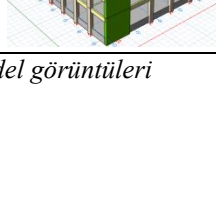
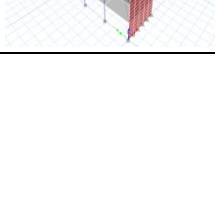
- İdeCAD'te Şekil 3a'da ve Şekil 3b'de bir kolon ve iki kirişin modellenme şekillerine yer verilmiştir. Şekil 3a'da modelleme yapılırken İdeCAD programının gelişmiş yakalama seçeneği kullanılmıştır. Gelişmiş yakalama seçeneğinde kiriş uçları (1 ve 3 düğüm noktaları) kolonu yüzeyden tutar. Programda tamamen simetrik çerçevelerden oluşan bir bina Şekil 3a'daki gibi gelişmiş yakalama seçeneğiyle rastgele seçilen düğüm noktalarından geçecek şekilde modellendiğinde rijitlik merkezinin tam merkezde bulunmadığı belirlenmiştir. Aynı model daha sonra Şekil 3b'deki gibi modellendiğinde ise rijitlik merkezinin tam merkezde olduğu görülmüştür. Şekil 3a'da yapılan modelleme bazı durumlarda iç kuvvet hesabı okunmasında avantaj sağlayabilirken mod değerlerini ve rijitlik merkezi hesabını etkileyebilmektedir. Bütün programlarda eşlenik modelleme yapabilmek için bu çalışmadaki binalar İdeCAD programında Şekil 3b'deki model tekniğine göre yapılmıştır.



Şekil 3. İdeCAD programında modelleme teknikleri

Şekil 4'te binaların bu çalışmada göz önüne alınan programlar ile yapılmış 3B model görüntüleri verilmektedir.



Binalar	Sta4CAD Modeli	İdeCAD Modeli	ProtaStructure Modeli	ETABS Modeli
A1				
A2				
A3				
A4				
A5				
A6				
A7				
A8				

Şekil 4. Binaların 3B model görüntüleri

## 2.2 Metot

Bu bölümde Sta4CAD, İdeCAD, ProtaStructure, ETABS programlarının ve TBDY2018'in rijitlik merkezi yaklaşımı ile, düşey taşıyıcı sistem elemanlarının atalet ve alan momentlerinin nasıl hesaplandığı ile ilgili bilgiler verilecektir.

- Sta4CAD Frame3d (Rijit Diyafram Kabulü Yapılabilen Lineer Analiz) çözümü ile rijitlik merkezi hesaplanmaktadır. Kat dönmeleri sıfır olacak şekilde kat matrisleri kurularak rijitlik merkezi hesaplanmaktadır.
- İdeCADrijit diyafram ve yarı rijit diyafram metotları ile rijitlik merkezini hesaplanmaktadır. Düşey taşıyıcı sistemde sıfır eksantirisite oluşan kesme kuvvetlerinin global eksene göre momentini alarak bulunduğu noktayı (Denk. 1) rijitlik merkezi olarak kabul etmektedir.

$$x_r = \frac{\sum V y_i * x_i}{\sum V y_i}, y_r = \frac{\sum V x_i * y_i}{\sum V x_i} \quad (1)$$

- ProtaStructure diyafram oluşturan ve diyafram oluşturmayan binalarda rijitlik merkezini hesaplanmaktadır. Düşey taşıyıcı sisteme ait elemanların atalet momentlerini dikkate alarak rijitlik merkezini Denk. 2 ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{x} = \frac{\sum(I_{xi} * x_i)}{\sum(I_{xi})}, \bar{y} = \frac{\sum(I_{yi} * y_i)}{\sum(I_{yi})} \quad (2)$$

- ETABS rijit diyafram kabulü yapılan binalarda kattaki herhangi bir noktaya x ve y doğrultularında bir birimlik yatay yük, z doğrultusunda ise bir birimlik moment yüklemektedir. Bir birimlik yatay yük (x ve y doğrultusu) altında oluşan dönme bir birimlik moment altında oluşan dönmeye bölünerek x ve y doğrultusu için rijitlik merkezi konumu hesaplanmaktadır.
- TBDY2018 Bölüm 17'de ise rijitlik merkezi hesabında Denk. 3 kullanılmaktadır. TBDY2018'in basitleştirilmiş yaklaşımında rijitlik merkezi hesabı yapılırken sadece perde duvarlar dikkate alınmaktadır.

$$\bar{x} = \frac{\sum(k_{yi} * x_i)}{\sum(k_{yi})}, \bar{y} = \frac{\sum(k_{xi} * y_i)}{\sum(k_{xi})} \quad (3)$$

- Elle düşey taşıyıcı sistem elemanlarının atalet momenti kullanılarak rijitlik merkezi hesabı yapılırken Denk. 4 kullanılmıştır.

$$\bar{x} = \frac{\sum(I_{yi} * x_i)}{\sum(I_{yi})}, \bar{y} = \frac{\sum(I_{xi} * y_i)}{\sum(I_{xi})} \quad (4)$$

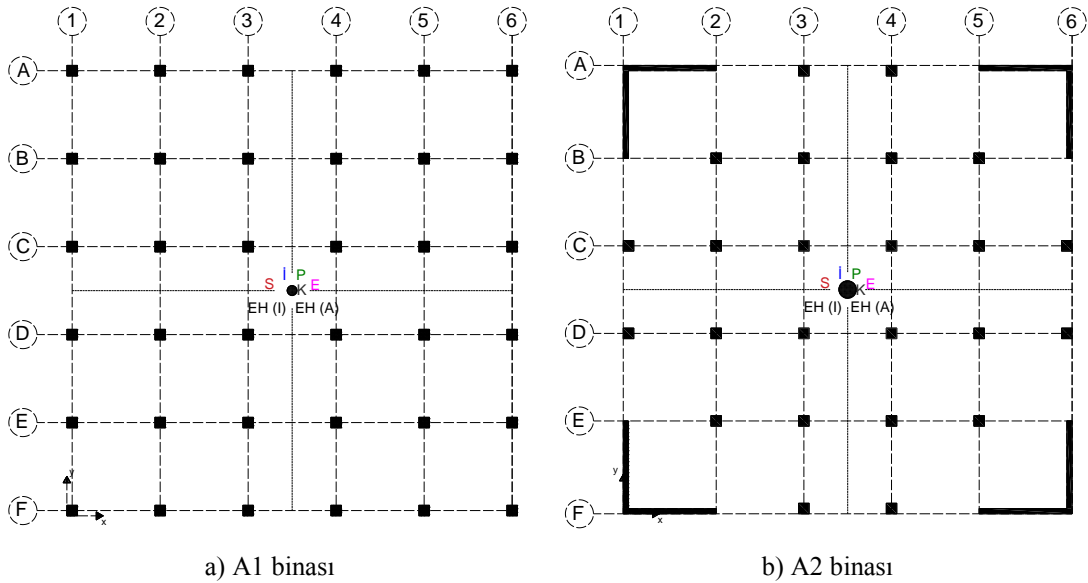
- Elle düşey taşıyıcı sistem elemanlarının alan momentleri ile rijitlik merkezi hesaplanırken Denk. 5 kullanılmıştır.

$$\bar{x} = \frac{\sum(A * x_i)}{\sum(A)}, \bar{y} = \frac{\sum(A * y_i)}{\sum(A)} \quad (5)$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Yapısal Analiz Programlarının Sonuçları

Simetrik A1 ve A2 binaları kontrol binaları olarak seçildiğinden öncelikle bu binalar bahsi edilen dört farklı yapısal analiz programı (kısaca program) ile analiz edilmiştir. Buradaki amaç programların kullandıkları farklı yöntemlerin simetrik bir binada rijitlik merkezini benzer konumda hesaplayıp hesaplamayacaklarını belirlemektir. Şekil 5'te programların hesapladıkları rijitlik merkezi ile atalet momenti ve alanı referans alan el hesabı ile bulunan rijitlik merkezleri işaretlenmiştir. Bütün programlar kütle merkezini döşemenin orta noktasında hesaplamaktadır. Şekillerden görüleceği üzere simetrik bir binada (çerçevesiz, çerçevesiz ve perdeli) bütün yöntemler ile aynı sonuç alınmakta ve rijitlik merkezi bina kütle merkezinde bulunmaktadır. Simetrik bir plana ve düşey taşıyıcı sistem elemanlarına sahip bir binada kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakıştığı bütün programlar tarafından ifade edilmiştir.



Şekil 5. Simetrik binaların rijitlik merkezi sonuçları

Düşey taşıyıcı sistem elemanları simetrik yerleştirilmeyen binaların rijitlik merkezi sonuçları Şekil 6'da her bir binanın kat planı üzerinde işaretlenmiştir. A3 binasında perdeler kat planının batı ucunda yerleştirildiklerinden rijitlik merkezinin batı bölgesine yakın bir bölgede hesaplanacağı beklenirken bütün programlar rijitlik merkezini kütle merkezine yakın bir konumda hesaplamıştır. El hesapları ise programlardan farklı sonuçlara ulaşmış ve özellikle atalet momentinin dikkate alındığı EH (I) metodunda A2-B2 aksları arasında rijitlik merkezi konumlandırılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının alanını referans alan EH (A) ise diğer sonuçlara yaklaşılarak kütle merkezine yakın bir noktada rijitlik merkezini hesaplamıştır (Şekil 6a).

A4 binasının kat plan görüntüsü A3 binasına benzemektedir. Sadece y doğrultusunda uzanan perdeler binanın kuzey-doğu köşesine yakın yerleştirilmiştir. Perde duvarların kuzey-doğuya doğru konumlandırılması neticesinde P, E ve S'nin hesapladığı rijitlik merkezleri doğuya doğru kaymıştır. İ merkezden çok uzaklaşmamış, EH (I) A3 binasındaki konuma benzer bir konumda rijitlik merkezi hesaplamış, EH (A) ise kütle merkezine yaklaşmıştır. Buradan P, S ve E'nin yaklaşık olarak iki doğrultudaki perdelerin orta bölgesinden geçen bir aksın kesişiminde rijitlik merkezi hesapladığı söylenebilir (Şekil 6b).

A5 binasının kuzey-doğu köşesinde perde grubu yer almaktadır. Diğer bölgelere kolonlar yerleştirilmiştir. Perdelerin yoğun olduğu kuzey-doğu köşesine doğru rijitlik merkezlerinin kaydığı Şekil 6c'den görülebilir. P rijitlik merkezini D aksı üzerinde ve binanın kenarında bulmuş, EH (I), S ve E benzer noktaları işaret etmiş, İ ve EH (A) ise biraz daha merkeze yakın konumlarda rijitlik merkezi hesaplamıştır. Buradan yine görüleceği gibi perde duvarların merkezine yakın bir şekilde rijitlik merkezi yerleştirilmiştir (Şekil 6c).

A6 binasında perdeler kat planının güney-doğu bölümünde yoğun olarak kullanıldığından programların büyük çoğunluğu bu bölgede rijitlik merkezini konumlandırmıştır (Şekil 6d). E, S ve P bu bölgedeki perde grubunun yaklaşık orta bölgesinde rijitlik merkezini hesaplarken, İ kütle merkezine yakın bir konumda rijitlik merkezinin bulunduğunu belirtmiştir. EH (I) her ne kadar güney doğu bölümünde rijitlik merkezi konumunu belirtse de rijitlik merkezinin binanın köşesinde yer alan perde grubu üzerinde olduğunu belirtmiştir. EH (A) ise kütle merkezi ile güney-doğu bölümü arasında kalan bir bölgede rijitlik merkezini bulmuştur.

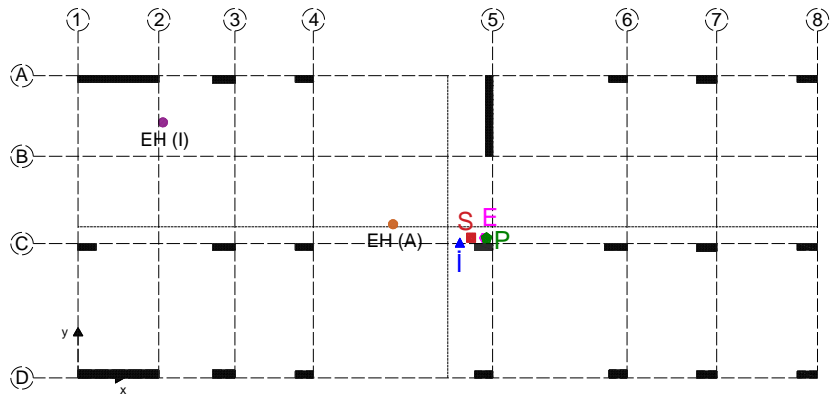
Şekil 6e'den görüleceği üzere A7 binasında x ve y doğrultularında birer adet perde kullanılmış fakat bu perdeler ters L şeklinde binanın kat planının kuzey-batı bölümüne yerleştirilmiştir. Bu durum programların hesapladıkları rijitlik merkezi konumlarının da bu bölgeye doğru kaymasına yol açmıştır. Fakat rijitlik merkezi konumları önemli farklılıklar içermektedir. Örneğin P perdelerin birleştiği A2 aksı noktasında rijitlik merkezini hesaplarken, E buraya yakın fakat y doğrultusunda uzanan perdenin sağında, S ise solunda rijitlik merkezini bulmuştur. Atalet momentini referans alan EH (I) A-B ve 1-2

akslarının orta noktasında, bir başka deyişle perdelerin ortasından çizilen çizgilerin kesişim noktasında rijitlik merkezini hesaplamış fakat EH (A) ve İ yine kütle merkezine yakın bir konumda rijitlik merkezinin olduğunu belirtmiştir.

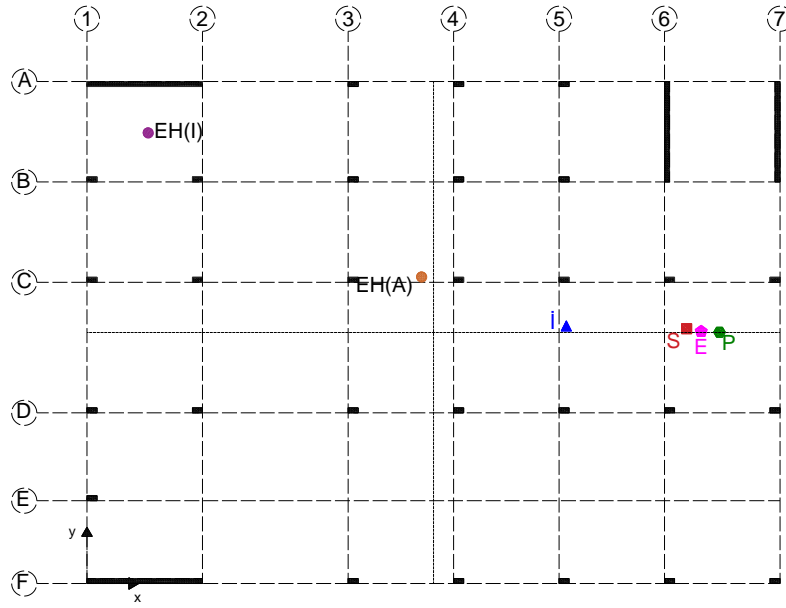
Bundan önceki binalarda bazı programların rijitlik merkezi hesabında birbirlerine benzer sonuçlar verdikleri belirlenmesine rağmen Şekil 6f'de verilen A8 binasında bütün programların çok farklı sonuçlar ürettikleri tespit edilmiştir. Bu binanın kat planında köşelerde kullanılan perdeler ilave olarak planın güney-doğu bölümünün ortasına yakın bir konumda da perdeler kullanılmıştır. Bu bölüme yerleştirilen perdeler rijitlik merkezinin bu bölümden uzaklaşmasını engellemiş ve bütün programlar 5 numaralı aks üzerinde rijitlik merkezini hesaplamıştır. P E-F aksları arasında, İ, E, S D-E aksları arasında EH (A) C-D aksları arasında ve son olarak EH (I) B-C aksları arasında rijitlik merkezini konumlandırmıştır.

Programlar kütle merkezini benzer konumlarda hesaplamıştır. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa;

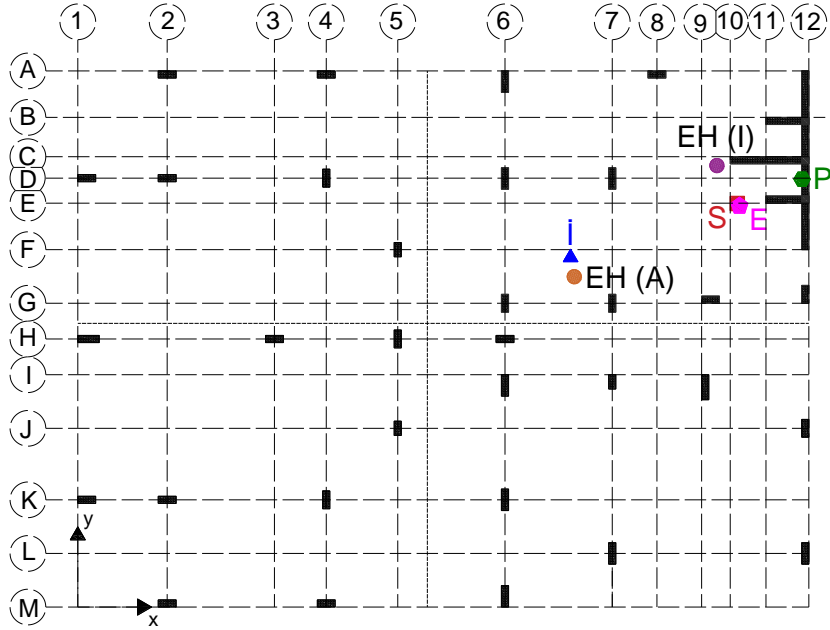
- Simetrik binalarda bütün programlar aynı noktaları rijitlik merkezi olarak belirtmesine rağmen simetrik olmayan binalarda rijitlik merkezi konumlarında önemli farklar olduğu görülmüştür.
- Rijitlik merkezi perdelerin yoğun olarak kullanıldığı bölgelere doğru kaymaktadır. P, E ve S birbirine yakın denilebilecek konumları rijitlik merkezi olarak belirtmesine rağmen İ çoğunlukla kütle merkezine yakın bölgelerde kalmaktadır.
- EH (A) düşey taşıyıcı elemanların alanlarını dikkate aldığından ve alan söz konusu olduğunda perdelerin kolonlardan çok farklı olmaması sebebi ile çoğunlukla kütle merkezine yakın fakat bir miktar perdelerin yoğunlaştığı bölgeye kayacak şekilde rijitlik merkezini konumlandığı belirlenmiştir.
- Atalet momentini dikkate alan EH (I)'da ise perdelerin atalet momentlerinin kolonlardan çok büyük olması sebebi ile perdelerin yoğun olarak kullanıldığı bölgelerde rijitlik merkezi hesaplanmıştır.
- Dikkate alınan 6 yaklaşımda da simetrik olmayan binalarda farklı konumlarda rijitlik merkezi hesaplandığından hangi yöntemin daha doğru sonuç verdiği sorusu cevaplanamamıştır. Bu cevabı bulabilmek adına ilave analizler yapılmış ve sonuçları aşağıdaki bölümde sunulmuştur.



(a) A3 binası

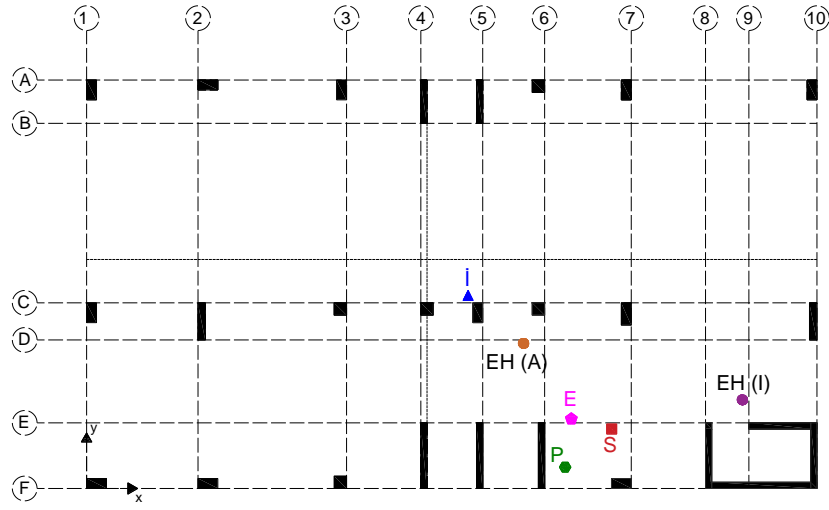


(b) A4 binası

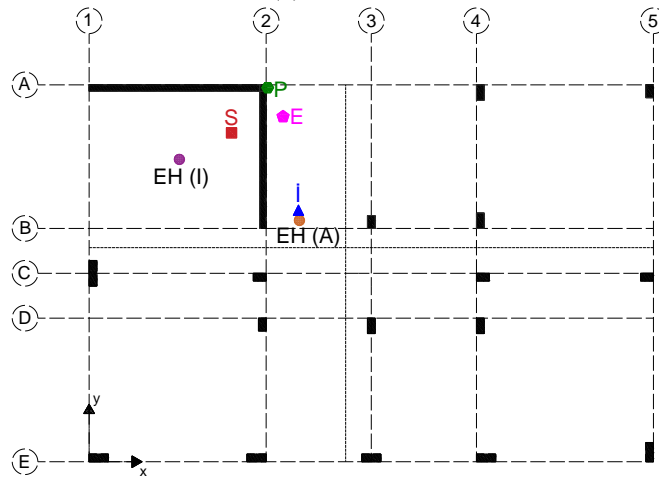


(c) A5 binası

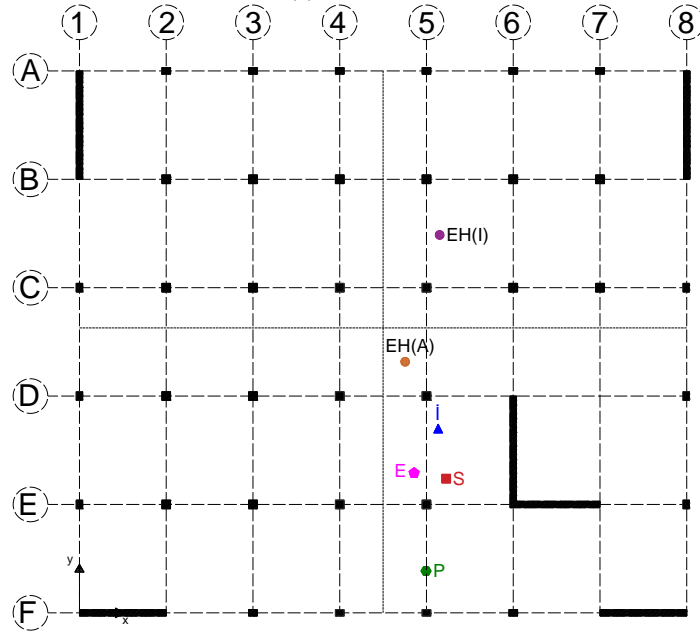
Şekil 6. Simetrik olmayan binaların rijitlik merkezi sonuçları



(d) A6 binası



(e) A7 binası

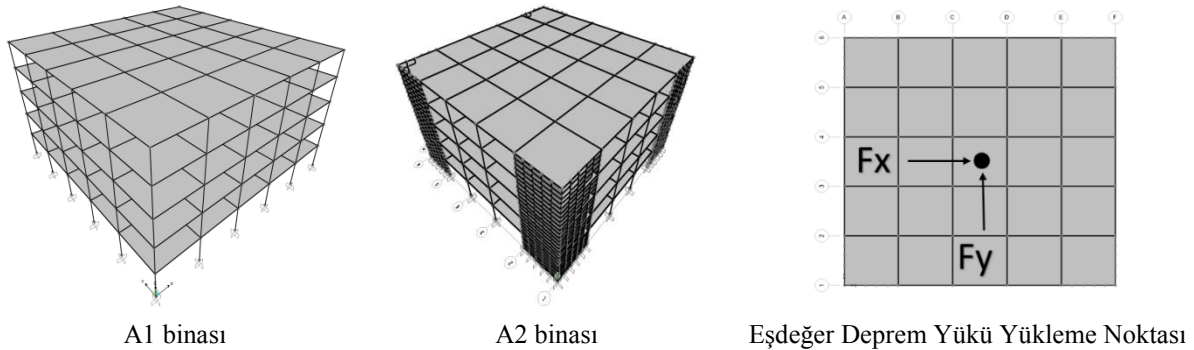


(f) A8 binası

Şekil 6. Simetrik olmayan binaların rijitlik merkezi sonuçları (devamı)

### 3.2 Rijitlik Merkezlerinin Test Edilmesi

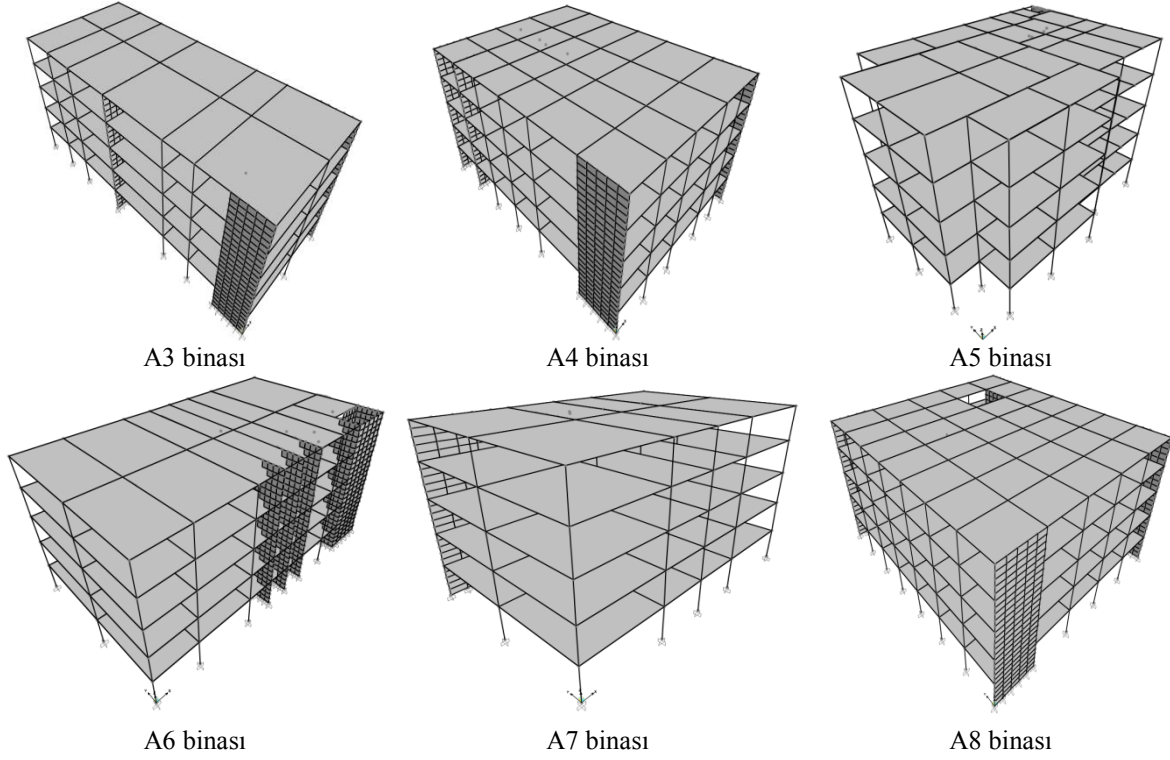
Yukarıda yöntem kısmında anlatılan bilgiler sonrasında hangi hesap yaklaşımın rijitlik merkezini daha doğru hesapladığını anlamak için binalar SAP2000 v20 yardımı ile bir kez daha 3B modellenmiştir. Bu modellerde kolon ve kirişler çubuk elemanlarla, perde ve döşemeler ise alan elemanları ile tanımlanmış ve düşey taşıyıcı elemanlar zemine ankastre mesnetler ile bağlanmıştır. Döşemelere ve kirişlere yukarıdaki bölümlerde belirtilen yükler etki ettirilmiştir. Her bina için x ve y doğrultularındaki eşdeğer deprem yükü hesaplanmış ve katlara dağıtılmıştır. Bu deprem yükleri her programın belirlediği rijitlik merkezi noktasına her bir deprem doğrultusu için ayrı ayrı yatay yük olarak Şekil 7’de gösterildiği gibi verilmiştir. Normal şartlarda kütle merkezine etki ettirilen eşdeğer deprem yükünün binayı rijitlik merkezi etrafında döndürmesi sağlanırken bu çalışmadaki yüklemenin amacı dönme noktası olan rijitlik merkezine yatay yük verilerek binanın dönüp dönmediğini belirlemektir. Binanın maruz kalacağı dönme miktarının (rijitlik merkezinde okunacak dönme miktarı) sıfır olarak bulunması durumunda rijitlik merkezi konumunun doğru olduğu kabul edilecektir. Aksi halde dönme miktarı minimum olan programın rijitlik merkezi konumunu daha gerçekçi belirlediği varsayılacaktır. Şekil 8’de SAP2000 v20 programı ile oluşturulan 3B bina modelleri gösterilmektedir.



Şekil 7. Tipik 3B SAP2000 modeli ve kat planına etki ettirilen yatay deprem yükleri

Doğrusal analizler neticesinde x doğrultusunda verilen yatay kuvvetin zemin katın rijitlik merkezi noktasında elde edilen dönme değerleri (binanın z ekseni etrafındaki dönme) Tablo 2’de özetlenmiştir. Tabloda en düşük dönme değerini veren program gri ile işaretlenmiştir. Tablodan görüleceği üzere A1 ve A2 simetrik binalarında bütün programların rijitlik merkezi konumları aynı olduğundan aynı dönme değerleri elde edilmiştir. Bu binalardaki dönme değerleri çok düşük olduğundan rijitlik merkezi konumunun doğru olduğu belirlenmiştir. Simetrik olmayan binalar incelendiğinde ise A4 binasında P programının en düşük sonucu verdiği, diğer binalarda ise E’nin diğer programlara nazaran rijitlik merkezini daha doğru hesapladığı belirlenmiştir.





Şekil 8. Binaların 3B SAP2000 modelleri

Tablo 3'te x doğrultusunda verilen yatay yük sebebi ile oluşan dönme değerleri her bina için en düşük değere bölünerek dönme oranları hesaplanmıştır. Buradaki amaç dönme değerini minimum olarak bulan programın diğerlerinden ne kadar farklı olduğunu belirlemektir. Tabloda en düşük değer 1,0 olarak işaretlenmiştir. Genel olarak E'nin en düşük dönme değerlerine ulaştığı tabloda, S'nin E'ye yakın sonuçlar verdiği fakat farkın sadece iki binada 1,5 katın altında olduğu diğer binalarda en düşük 3,7 kat en yüksek 14,1 kat olduğu belirlenmiştir. P yine E'ye yakın noktada rijitlik merkezi hesaplanmış fakat burada da sadece iki binada bu defa 2 kattan daha düşük değerler elde edilmiş fakat diğer binalarda en düşük 2,9 en yüksek 14,1 fark hesaplanmıştır. Farkların bu kadar büyük olması sistemin burulma kaynaklı deformasyonlar ve gerilmelerinin fazla hesaplanması anlamına gelebilir. Fakat burulma etkilerinin doğru hesaplanması hem eleman tasarımının daha sağlıklı olmasını sağlayacak hem de gerçek davranışı temsil edebilecek modeller oluşturulmasına imkân sağlayacaktır. İ programında en düşük 2,3 en yüksek 65,7 fark bulunmuştur. El hesabı yaklaşımlarında alanı referans alan EH(A)'nın atalet momentini dikkate alan EH(I) yaklaşımından daha başarılı olduğu, dört adet binada (A3, A4, A5 ve A8) E'ye daha yakın dönme değerlerini hesapladığı belirlenmiştir. EH(I) yaklaşımı A3 binasında 190 kat, A4 binasında ise 221 kat daha farklı bir konumu rijitlik merkezi olarak hesaplamıştır.

**Tablo 2.** X doğrultusunda yapılan yükleme sonucunda zemin katta oluşan dönme değerleri (rad)

Yöntem	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
S	-4,11E-18	3,14E-18	-3,50E-06	-5,24E-06	3,60E-05	-14,00E-06	1,80E-05	-0,85E-05
İ	-4,11E-18	3,14E-18	5,21E-06	-2,98E-06	5,50E-05	-65,00E-06	6,00E-05	-2,10E-05
P	-4,11E-18	3,14E-18	0,98E-06	0,46E-06	-4,20E-05	14,00E-06	-2,30E-05	1,90E-05
E	-4,11E-18	3,14E-18	0,51E-06	-1,13E-06	2,40E-05	0,99E-06	0,49E-05	-0,66E-05
EH (I)	-4,11E-18	3,14E-18	-97,00E-06	-102,00E-06	-5,50E-05	-15,00E-06	2,80E-05	-5,70E-05
EH (A)	-4,11E-18	3,14E-18	-11,00E-06	-28,00E-06	5,10E-05	-40,00E-06	7,20E-05	-2,80E-05

**Tablo 3.** X doğrultusundaki kuvvet neticesinde oluşan dönme değerlerinin oranları

Yöntem	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
E	1,0	1,0	1,0	2,5	1,0	1,0	1,0	1,0
S	1,0	1,0	6,9	11,4	1,5	14,1	3,7	1,3
P	1,0	1,0	1,9	1,0	1,8	14,1	4,7	2,9
İ	1,0	1,0	10,2	6,5	2,3	65,7	12,2	3,2
EH (A)	1,0	1,0	21,6	60,9	2,1	40,4	14,7	4,2
EH (I)	1,0	1,0	190,2	221,7	2,3	15,2	5,7	8,6

Yatay yükün, programların hesapladığı rijitlik merkezine y doğrultusunda etki ettirilmesi neticesinde programların zemin katta bulunduğu rijitlik merkezinde meydana gelen dönme değerleri Tablo 4'te, bu tablodaki değerlerin en düşük dönme değerine oranları ise Tablo 5'te verilmiştir. Yine en düşük değer gri ile işaretlenmiştir. Tablolardan görüleceği üzere E programı y doğrultusunda da genel olarak en düşük dönme değerlerini elde ettiğinden bu programın rijitlik merkezini diğer programlardan daha doğru hesapladığı sonucuna varılmıştır. E programında rijit diyafram kabulü yapılarak binalarda kattaki herhangi bir noktaya x ve y doğrultularında bir birimlik yatay yük, z doğrultusunda ise bir birimlik moment yüklenmesi ile elde edilen dönme değerlerinin oranları dikkate alındığından gerçeğe daha yakın rijitlik merkezi konumları bulunduğu sonucuna varılmıştır. E'ye en yakın değerler P ve S'den hesaplanmıştır. Bu sonuçlar x doğrultusu ile uyumludur. İ nispeten daha farklı sonuçlar vermiş, EH(A)'nın ise yine EH(I)'dan daha iyi dönme değerlerine ulaştığı belirlenmiştir.

**Tablo 4.** Y doğrultusunda yapılan yükleme sonucunda zemin katta oluşan dönme değerleri (rad)

Yöntem	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
S	-2,64E-18	1,85E-18	5,83E-06	2,00E-05	-4,40E-05	-6,58E-06	-7,00E-05	-4,47E-06
İ	-2,64E-18	1,85E-18	10,00E-06	4,70E-05	-12,00E-05	-43,00E-06	1,70E-05	1,23E-06
P	-2,64E-18	1,85E-18	-1,10E-06	-1,60E-05	5,40E-05	-10,00E-06	-3,80E-05	-0,85E-06
E	-2,64E-18	1,85E-18	0,92E-06	0,94E-05	-2,70E-05	0,15E-06	1,20E-05	0,98E-06
EH (I)	-2,64E-18	1,85E-18	167,00E-06	16,20E-05	-0,67E-05	41,00E-06	-17,00E-05	-5,19E-06
EH (A)	-2,64E-18	1,85E-18	48,00E-06	7,60E-05	-10,80E-05	-23,00E-06	0,96E-05	5,75E-06

**Tablo 5.** Y doğrultusundaki kuvvet neticesinde oluşan dönme değerlerinin oranları

Yöntem	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
E	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	1,0	1,3	1,2
P	1,0	1,0	1,2	1,7	8,1	66,7	4,0	1,0
S	1,0	1,0	6,3	2,1	6,6	43,9	7,3	5,3
İ	1,0	1,0	10,9	5,0	17,9	286,7	1,8	1,4
EH (A)	1,0	1,0	52,2	8,1	16,1	153,3	1,0	6,8
EH (I)	1,0	1,0	181,5	17,2	1,0	273,3	17,7	6,1

#### 4. SONUÇLAR

Betonarme bir binada rijitlik merkezi konumunun kolonlar ve perdeler gibi düşey taşıyıcı sistem elemanlarına etki edecek ilave kesme kuvvetlerini doğrudan etkilediği için rijitlik merkezinin gerçeğe yakın olarak hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada 5 kattan oluşan 2 adet simetrik, 6 adet asimetrik betonarme binanın rijitlik merkezi konumu yapısal analizler için kullanılarak dört farklı program ile hesaplanarak farklılıklar belirlenmeye çalışılmış ve daha sonra bu binalara ait düşey taşıyıcı sistem elemanlarının alanını ve atalet momentini referans alan iki farklı yaklaşım ile kıyaslanmıştır. Analizler iki farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada binalar mevcut programlar ile modellenerek rijitlik merkezleri hesaplanmış, sonrasında ise rijitlik merkezi konumlarına yatay yükler verilerek kat burulmaları (dönme değerleri) hesaplanmıştır. Yapılan analizler neticesinde aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır:

- Yapısal analizler için kullanılan programlar betonarme binalarda rijitlik merkezini çok farklı konumlarda hesapladığından burulma momentleri sebebi ile kat planında meydana gelen dönme değerleri arasında çok önemli farklar oluşmaktadır.
- E programı diğerlerine nazaran daha düşük dönme değerlerine ulaştığından rijitlik merkezini en doğru hesaplayan programın E olduğu sonucuna varılmıştır.
- El hesabı çoğu durumda programlardan çok farklı sonuçlar vermiştir. El hesabında atalet momentini referans alan yaklaşımın teorik olarak daha doğru olduğu bilinmesine rağmen alanı referans alan yaklaşım daha gerçekçi sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi olarak uzun perdelerin atalet momentlerinin sistemdeki kolonların atalet momentlerini baskılaması ve rijitlik merkezini kendi çevresine doğru kaydırmaya zorlaması gösterilebilir.
- Atalet momentleri referans alınarak elle hesap yapılırken kullanılan formül ile TBDY2018 Bölüm 17'de yer alan formülü dikkate alan P programının kullandığı rijitlik merkezleri formülünde atalet momentlerindeki yön farklılığından dolayı bir uyumsuzluk gözlenmiştir. Bu uyumsuzluk sebebi ile rijitlik merkezi konumlarında EH(I) ve P yaklaşımlarında farklılık gözlenmiştir.

- Programların genelinde atalet momenti tabanlı bir yaklaşım bulunmakta, yük veya deplasman dağılımları sistem için kurulan rijitlik matrisleri ile hesaplanmakta ve bu kuvvet ve deplasmanların birbirleri olan ilişkisi neticesinde rijitlik merkezi konumu hesaplanmaktadır. Yaklaşım mantığı genel olarak aynı olmasına rağmen en ufak bir varsayım çözümü etkileyebilmektedir. Bu yaklaşımlara aşağıdaki örnekler verilebilir:
  - Modelde perdelerin bir bütün değil de parçalı olarak modellenmesi,
  - Elemanların sonlu elemanlar mantığı gereği merkezlerinden bağlanması,
  - Perdelerin bazı programlarda hızlı çözüm için kolon gibi modellenmesi ve bağlantı noktalarının gerçek noktalardan uzaklaşması,
  - Hızlı çözüm elde edebilmek için perdelerin ağlara bölünmemesi,
  - Döşemelerin analizler sırasında dikkate alınmaması

Rijitlik merkezi konumunun doğru olarak hesaplanması, gerçeğe yakın bir deprem performansı ile doğrudan ilişkili olduğundan, betonarme bina modellerinin de gerçeğe yakın olacak şekilde oluşturulması, hatalı varsayımlardan kaçınılması, eleman düğüm noktalarının gerçek konumlarına yakın noktalarda konumlandırılmasının gerekli olduğu belirlenmiştir.

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2022-9987 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## **ÇIKAR ÇATIŞMASI**

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

## **ETİK BEYANI**

Bu çalışmada, yazarlar "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

## **YAZARLARIN KATKILARI**

Enes AKSOY: Yazma-orijinal taslak hazırlama, doğrulama, analiz, yazma-inceleme ve düzenleme. Fuat KORKUT: Kavramsallaştırma, metodoloji, proje yönetimi, gözetim ve liderlik

sorumluluğu, doğrulama, analiz, yazma-gözden geçirme ve düzenleme, finansman edinimi. Barış ERDİL: Kavramsallaştırma, metodoloji, doğrulama, analiz, yazma-gözden geçirme ve düzenleme.

## KAYNAKLAR

- [1] TBDY2018, “Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar”, Çevre Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.
- [2] I. N. Doudoumis, N. I. Doudoumis, “Centres of rigidity in multi-storey asymmetric diaphragm systems for general lateral static loading”, *Engineering Structures*, vol. 150, pp. 39-51, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.06.072>
- [3] V. W. T. Cheung, W. K. Tso, “Eccentricity in irregular multistory buildings”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 46–52, 1986. <https://doi.org/10.1139/186-007>
- [4] R. Hejal, A. K. Chopra, “ Earthquake response of torsionally-coupled buildings”, Report No. UCB/EERC-87/20, Berkeley, CA, USA, 1987.
- [5] M. Bosco, E. M. Marino, P. P. Rossi, “An analytical method for the evaluation of the in-plan irregularity of non-regularly asymmetric buildings”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 11, no. 5, pp. 1423-1445, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9438-3>
- [6] R. K. Goel, A. K. Chopra, “Seismic code analysis of buildings without locating centers of rigidity”, *Journal of Structural Engineering*, vol. 119, pp. 3039–3055, 1993. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1993\)119:10\(3039\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:10(3039))
- [7] E. M. Marino, P. P. Rossi, “Exact evaluation of the location of the optimum torsion axis”, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 13, no. 4, pp. 277-290, 2004. <https://doi.org/10.1002/tal.252>
- [8] A. M. Athanatopoulou, I. N. Doudoumis, “Principal directions under lateral loading in multistorey asymmetric buildings”, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 17, no. 4, pp. 773-794, 2008. <https://doi.org/10.1002/tal.385>
- [9] G. K. Georgoussis, “Modal rigidity center: it's use for assessing elastic torsion in asymmetric buildings”, *Earthquakes and Structures*, vol. 1, no. 2, pp. 163-175, 2010. <https://doi.org/10.12989/eas.2010.1.2.163>
- [10] ProtaStructure (Sürüm 5. 1. 290), Prota Yazılım, Ankara, Türkiye.
- [11] D. Basu, S. K. Jain, “Alternative method to locate centre of rigidity in asymmetric buildings”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 36, pp. 965–73, 2006. <https://doi.org/10.1002/eqe.658>
- [12] Sta4CAD (Sürüm v14.1), Sta Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şt., İstanbul, Türkiye.
- [13] İdeCAD (Sürüm 10.20), İde Yapı, Bursa, Türkiye.
- [14] ETABS (Sürüm v.19.1.0), Computers and Structures Inc., Kaliforniya, ABD.
- [15] B. Acun, “Yatay yük altında bina döşemeleri için rijit diyafram modelinin uygunluğunun incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul, 2002.
- [16] A. E. İdemen, “Bina ağırlık merkezi-rijitlik merkezi ilişkisini mimari tasarım aşamasında kuran bir uzman sistem”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul, 2003.
- [17] Autodesk Inc. (1982), AutoCAD (Sürüm 2022), Kaliforniya, ABD.

- [18] E. Sezer, “Yapı sistemlerinde burulma düzensizliğini etkileyen parametrelerin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 2006.
- [19] H. Yener Demirci, “Asimetrik betonarme yapıların deprem davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2016.
- [20] K. E. Kınık, “Betonarme binaların taşıyıcı sistem seçiminde perde yerleşiminin davranışa etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul, 2019.
- [21] B. Erdil, Y. Gündüz, “Betonarme binalar için perde duvar etkinliğinin belirlenmesi”, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 10, no. 2, pp. 655-669, 2021. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.898353>
- [22] SAP2000 (Sürüm v.20.0.0), Computers and Structures Inc., Kaliforniya, ABD.
- [23] TS 498, “Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye. 1987.

Copyright © 2022 Aksoy, Korkut and Erdil. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).