



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Rijitlik Merkezinin Analitik, Deneysel ve Gözlemsel Değerlendirilmesi

Enes AKSOY, Fuat KORKUT*, Barış ERDİL

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 65040, Van, Türkiye
Enes AKSOY, ORCID No: 0000-0002-2259-671X, Fuat KORKUT, ORCID No:0000-0002-8419-7204,

Barış ERDİL, ORCID No: 0000-0001-5282-3568

*Sorumlu yazar e-posta: fuatkorkut@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 05.05.2023

Kabul: 05.06.2023

Online Ağustos 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1292891

Anahtar Kelimeler

Betonarme bina,
Burulma,
Kütle merkezi,
Rijitlik merkezi

Öz: Bu çalışma kapsamında mimar ve inşaat mühendislerine dört adet betonarme bina kat planı verilerek kütle ve rijitlik merkezinin konumunu gözlemsel olarak belirlemeleri istenmiştir. Daha sonra bu binaların tamamı mevcutta sıklıkla kullanılan dört adet yapısal analiz programı ile 3 boyutlu olarak modellenmiş ve kütle ile rijitlik merkezleri belirlenmiştir. Son olarak 3 adet bina ölçekli olarak laboratuvar ortamında test edilmiş ve rijitlik merkezi deneysel olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler ve değerlendirmeler gözlemsel olarak kütle merkezi konumunun tahmin edilebileceği, mimarların ve inşaat mühendislerinin rijitlik merkezi tahminlerinin deneysel çalışmalar sonucu elde edilen rijitlik merkezi konumundan çok farklı olduğu, yapısal analiz programlarından ETABS, Sta4CAD ve ProtaStructure'ın birbirine benzer konumları rijitlik merkezi olarak belirlemesine karşın, İdeCAD programından elde edilen sonuçların farklı olduğu görülmüştür.

Analytical, Experimental and Visual Evaluation of the Rigidity Center

Article Info

Received: 05.05.2023

Accepted: 05.06.2023

Online August 2023

DOI:10.53433/yyufbed.1292891

Keywords

Center of mass,
Reinforced concrete building,
Rigidity center,
Torsion

Abstract: Within the scope of this study, four reinforced concrete building floor plans were given to architects and civil engineers and they were asked to visually determine the location of the center of mass and rigidity. Then, all of these buildings were 3D modeled using four common structural analysis programs to determine the centers of mass and rigidity. Finally, 3 buildings were tested in a laboratory environment and the center of rigidity was calculated experimentally. The analyzes and evaluations revealed that the center of mass location can be estimated visually, however, the center of rigidity of the buildings cannot be predicted by architects and civil engineers since the predicted locations were found be far from the experimental and analytical ones. Although structural analysis programs ETABS, Sta4CAD and ProtaStructure determine similar locations as centers of rigidity, it has been observed that the results obtained from the ideCAD program are different.

1. Giriş

Deprem yükü kütle merkezine etkir ve binayı rijitlik merkezi etrafında döndürmeye çalışır. Kütle merkezi ile rijitlik merkezinin birbirine yakın olmadığı durumda meydana gelen burulma olayında kütle ve rijitlik merkezlerinin konumları önemli rol oynamaktadır. Burulma binanın kendi eksen etrafında dönmesine sebep olduğundan düşey taşıyıcı elemanlarda ilave kesme kuvvetlerine yol açmaktadır.

Bir bina tasarlanırken mimari tasarım esnasında kolon ve perde duvarların konumlarına ve boyutlarına karar verilirken statik tasarım esnasında düşey taşıyıcı sistem elemanlarının nihai boyutları belirlenmektedir. Mimari planı etkileyebileceğinden statik tasarım esnasında kolon ve perde duvar konumlarında genellikle değişiklik yapılmamaktadır. Bu sebeple mimari tasarım esnasında burulmayı önleyebilmek için kütle ve rijitlik merkezlerinin tespiti için AutoCAD programında yer alan AutoLISP programlama dilinde programlar yazılmıştır (İdemen, 2003).

Rijitlik merkezi kolon ve perde duvarların büyüklükleri ve konumlarına bağlı olduğundan sistemde önemli düzeyde burulma etkisinin oluşmaması için tasarımı yapan mimar ve inşaat mühendislerinin kütle ve rijitlik merkezi konumları hakkında bilgi sahibi olması beklenmektedir.

Binanın depremde iyi bir performans göstermesi için x ve y asal yönlerde yeterli rijitlik ve sünekliğe sahip olması istenir. Rijitlik ve sünekliği sağlayacak kolon ve perde duvarların simetrik olarak yerleştirilmesi gerekir ve bu sayede kütle ile rijitlik merkezlerinin birbirine yakın olması sağlanmış olur. Asimetrik olarak yerleştirilen kolon ve perde duvarlardan kaynaklı olarak kütle merkezi ile rijitlik merkezi birbirinden uzaklaşır. Deprem yükünün etkilediği kütle merkezi rijitlik merkezi etrafında binayı döndürür ve düşey taşıyıcı elemanlarda ilave kesme kuvvetlerinin oluşmasına sebebiyet verir (Ko & Lee, 2006; Doudoumis & Doudoumis, 2017).

Burulmayı tetikleyen kütle ve rijitlik merkezlerinin birbirinden uzak olmasının sebepleri kolon ve perde duvarların asimetrik yerleştirilmesidir. Bu asimetrikliğe çoğu zaman perde duvar sebep olmaktadır. Perde duvarların konum ve boyutları oldukça önemlidir. Perde duvarların asimetrik yerleştirilmesi dinamik özellikleri, kesme kuvvetlerini, momentleri, ötelemeleri ve buna bağlı olarak burulma düzensizliği katsayısını etkileyebilmektedir (Sezer, 2006; Aktan & Kırac, 2010; Erdem, 2016; Yener Demirci, 2016; Kınık, 2019; Erdil & Gündüz, 2021).

Asimetrik yerleştirilen düşey taşıyıcılardan kaynaklı olarak depremde oluşan kesme kuvvetlerinin binada burulma oluşturduğu ifade edilmiş ve burulma oranı adı verilen bir indeks ile çalışılmıştır. Önerilen burulma oranı adlı indeksin güvenilir sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Stathi ve ark., 2015).

Binanın x ve y asal eksenlerine göre kolon ve perde duvarların alanlarına ve konumlarına göre, kat rijitlik matrislerinin kurulmasıyla yapılacak analizlerle, kesme kuvvetleriyle rijitlik merkezi bulunabilmektedir. Binada tek bir rijitlik merkezi hesabı veya her kat için ayrı bir rijitlik merkezi hesabı yapılabilmektedir (TBDY, 2018; ProtaStructure, 2021; Sta4CAD, 2019; İdeCAD, 2020; Cheung & Tso, 1986; Hejal & Chopra, 1987; Goel & Chopra, 1993; Basu & Jain, 2007; Georgoussis, 2010; Bosco ve ark., 2013; Doudoumis & Doudoumis, 2017). Rijitlik merkezi perde duvarların atalet momentiyle (TBDY, 2018), perde duvar ve kolonların atalet momentiyle (ProtaStructure, 2021), kat dönmelerinin sıfırlanmasıyla (Sta4CAD, 2019), döşeme hizasındaki kesme kuvvetlerinin ağırlık merkezlerinin alınmasıyla (İdeCAD, 2020) ve kat düzlemindeki bir noktaya yapılarak birim kuvvet ile momentlerin yüklemeleri sonucunda oluşan dönmelerin oranlanmasıyla (ETABS, 2021) hesaplanabilmektedir.

Rijitlik merkezinin deneysel olarak hesaplandığı çalışma sayısı çok sınırlıdır. Sarsma tablası üzerinde 17 katlı olarak 1/12 ölçeğinde imal edilmiş betonarme bir bina deprem kayıtları kullanılarak test edilmiştir. Sismik performansın belirlenebilmesi için yapılan bu testte asimetrik binada burulma etkilerinin baskın olduğu ve kat planı içerisinde perde duvarın olmadığı esnek olarak adlandırılan kısımda hasarın meydana geldiği belirtilmiştir (Ko & Lee, 2006).

Bu çalışma kapsamında 12 mimara ve 34 inşaat mühendisine 4 binanın kütle ve rijitlik merkezlerinin konumunu tahmin etmesi için bir anket hazırlanmış ve kendilerine verilen kat planları üzerinde kütle ve rijitlik merkezlerini tahmini olarak işaretlemeleri istenmiştir. Bu 4 bina aynı zamanda ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan yapısal analiz programlarınca (Sta4CAD, İdeCAD, ProtaStructure ve ETABS) modellenerek kütle ve rijitlik merkezleri belirlenmeye çalışılmıştır. Son olarak binalar balsa ile MDF ürünleri kullanılarak ölçekli olarak laboratuvar ortamında imal edilmiş ve deneysel olarak rijitlik merkezi tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Bina özellikleri

Bu çalışma kapsamında Şekil 1’de verilen 4 farklı bina kullanılmıştır. Genel olarak perde duvarlar binaların dış akslarına yerleştirilmiştir. A3 binasında perde duvarlar x ve y yönü doğrultusunda ayrı ayrı simetrik olmasına rağmen kolon yerleşimleri simetrik değildir. Diğer binalarda kolon ve perde duvar yerleşimi simetrik olarak düzenlenmemiştir. Şekil 1’deki planlar kütle merkezinden bölünmüş ve 4 bölge oluşturulmuştur. Düşey taşıyıcı eleman bilgileri 4 bölge için x ve y yönleri dikkate alınarak ayrı ayrı Çizelge 1-4’te verilmiştir. Çizelgelerde 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. Kare kolonlar her iki yönde de dikkate alınmıştır.

Kolonlarının tamamı y yönünde uzanan A1 binasında perde duvar alanı en fazla 1. bölgede yer almıştır (Çizelge 1). Kuzey ve batı cepheleri tamamıyla perde duvarlar ile çevrili olan A2 binasında 1. ile 2. bölge ve 3. ile 4. bölgede kolon alanları simetrik konumlandırıldığı Çizelge 2’te verilmiştir. A3 binasının planı incelendiğinde x yönünde uzanan perde duvarların 1. ve 3. bölgede y yönünde uzanan perde duvarların ise 1. ve 2. bölgede yer aldığı Çizelge 3’ten görülebilir. Kolon alanları perde duvar alanlarından çok küçük olarak tasarlanmıştır. A4 binasında perde duvarlar sadece 2. bölgede yer almakta diğer bölgelerde kolonlar asimetrik yerleştirilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 1. A1 binasının düşey taşıyıcı eleman bilgileri

	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	Toplam
A_{cx}, m^2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A_{cy}, m^2	0.64	0.64	0.56	0.40	2.24
A_{swx}, m^2	1.60	0.00	0.00	0.00	1.60
A_{swy}, m^2	0.00	0.00	0.92	0.92	1.84
Toplam, m^2	2.24	0.64	1.48	1.32	

Çizelge 2. A2 binasının düşey taşıyıcı eleman bilgileri

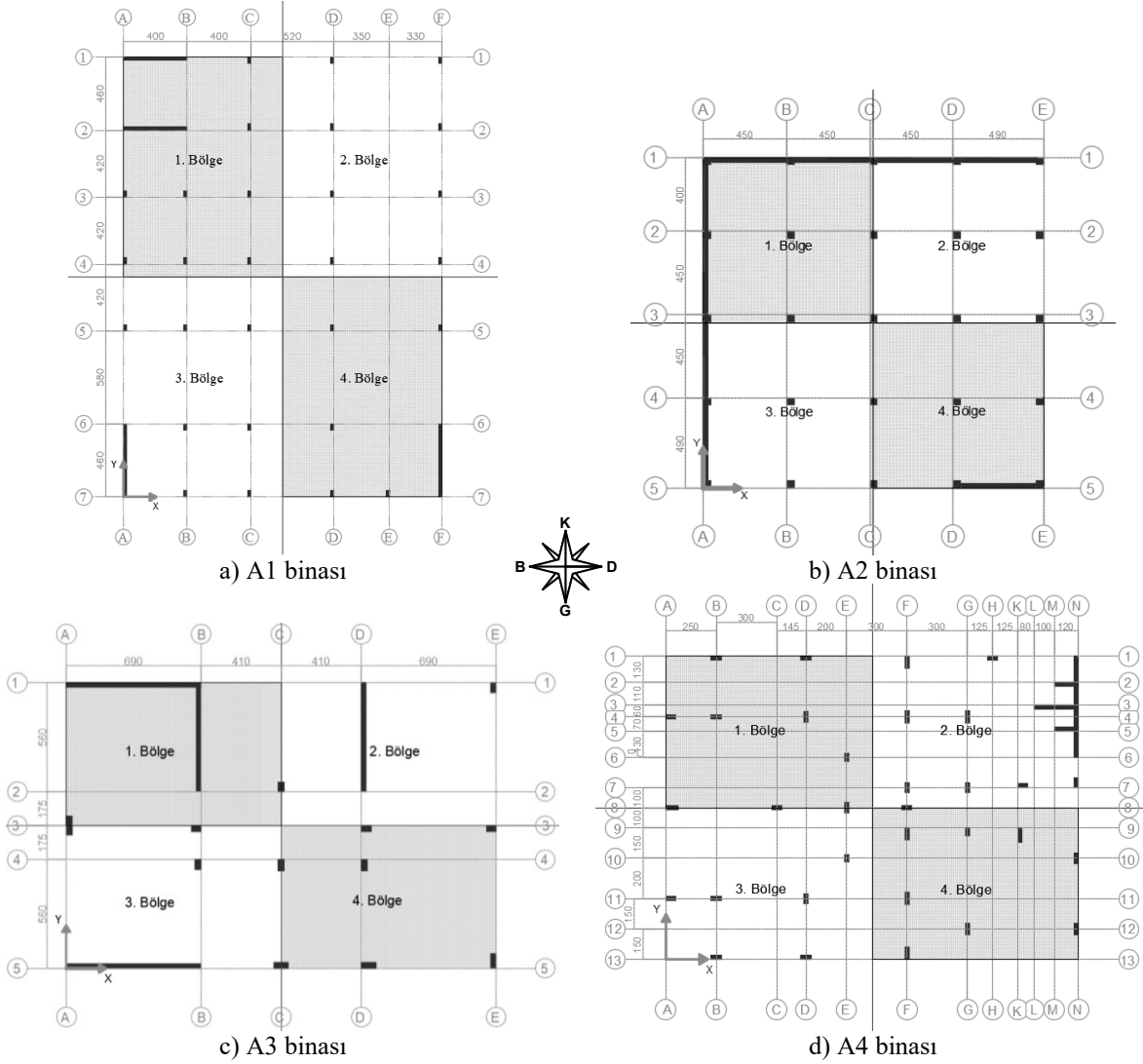
	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	Toplam
A_{cx}, m^2	0.96	0.96	0.64	0.64	3.20
A_{cy}, m^2	1.20	1.20	0.80	0.80	4.00
A_{swx}, m^2	2.05	2.05	0.00	1.03	5.13
A_{swy}, m^2	1.93	0.00	2.05	0.00	3.98
Toplam, m^2	6.14	4.21	3.49	2.47	

Çizelge 3. A3 binasının düşey taşıyıcı eleman bilgileri

	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	Toplam
A_{cx}, m^2	0.51	0.25	0.51	0.05	1.32
A_{cy}, m^2	0.23	0.66	0.23	0.92	2.04
A_{swx}, m^2	0.00	0.80	0.00	0.00	0.80
A_{swy}, m^2	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
Toplam, m^2	0.740	2.71	0.74	0.97	

Çizelge 4. A4 binasının düşey taşıyıcı eleman bilgileri

	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	Toplam
A_{cx}, m^2	0.00	0.00	0.26	0.64	0.90
A_{cy}, m^2	0.23	0.23	0.39	0.50	1.35
A_{swx}, m^2	1.73	0.00	1.73	0.00	3.46
A_{swy}, m^2	1.40	1.40	0.00	0.00	2.80
Toplam, m^2	3.36	1.63	2.38	1.14	



Şekil 1. A1 ve A2 binalarına ait kat planları.

2.2. Anket uygulaması

Anket çalışmasında mimar ve inşaat mühendislerine Şekil 1'deki kat planları anlatılmış ve daha sonra bu kat planları üzerinde tahmini olarak kütle ve rijitlik merkezlerinin konumlarını işaretlemeleri istenmiştir. Anket çalışmasına 12 mimar ve 34 inşaat mühendisi katılmıştır (Etik Kurul Onay Tarihi ve Sayısı: 10.04.2023, 2023/04-03).

2.3. Yapısal analiz çözümleri

Yapısal analiz çalışmasında döşeme ve perde duvarlar alan eleman, kolon ve kirişler ise çubuk eleman olarak modellenmiştir. Düşey taşıyıcı sistem tüm katlarda aynen devam ettirilmiştir. Rijit diyafram kabulleri ile yapısal analizler tamamlanmıştır (Aksoy ve ark., 2022).

Yapısal analiz programlarının kullandığı hesap yöntemleri aşağıda verilmiştir:

- Kütle merkezi kat düzleminde yer alan taşıyıcı sistem elemanlarının ağırlık merkezlerinin alınmasıyla elde edilir. Denklem 1'de formülasyona yer verilmiştir.

$$x_m = \frac{\sum A_i \cdot x_i}{\sum A_i}, y_m = \frac{\sum A_i \cdot y_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

- Rijitlik merkezi deprem yükünün etkidiği kütle merkezinin etrafında döndüğü noktadır. Sta4CAD, İdeCAD, ProtaStructure ve ETABS programları rijitlik merkezi için farklı yaklaşımlar uygulamaktadır.
 - Sta4CAD programı Frame3d (Rijit Diyafram Kabulü Yapılabilen Lineer Analiz) çözümü ile rijitlik merkezi hesaplamaktadır. Analiz esnasında rijitlik matrisleri kurulurken kat dönmeleri sıfır olacak şekilde hesap yapılarak rijitlik merkezi bulunmaktadır.
 - İdeCAD rijit diyafram ve yarı rijit diyafram kabulü yapılabilen binalarda rijitlik merkezi hesabı yapmaktadır. Analiz esnasında sıfır eksantriklikte kolon ve perde duvarların döşeme hizasında oluşan kesme kuvvetlerinin ağırlık merkezini alarak rijitlik merkezini hesaplar. Denklem 2’de formülasyona yer verilmiştir.

$$x_r = \frac{\sum V_{yi} * x_i}{\sum V_{yi}}, y_r = \frac{\sum V_{xi} * y_i}{\sum V_{xi}} \quad (2)$$

- ProtaStructure programı rijitlik merkezi hesabını kolon ve perde duvarların atalet momentlerini alarak yapmaktadır.

$$x_r = \frac{\sum I_{xi} * x_i}{\sum I_{xi}}, y_r = \frac{\sum I_{yi} * y_i}{\sum I_{yi}} \quad (3)$$

- ETABS programı rijit diyafram kabulü yapılabilen yapılarda kat düzlemi içerisindeki herhangi bir noktaya x ve y doğrultularında bir birimlik yatay yük, z doğrultusunda ise bir birimlik moment yüklemektedir. Bu yüklemeler sonucunda elde edilen dönmeleri oranlayarak rijitlik merkezini hesaplamaktadır. Denklem 4’te formülasyona yer verilmiştir

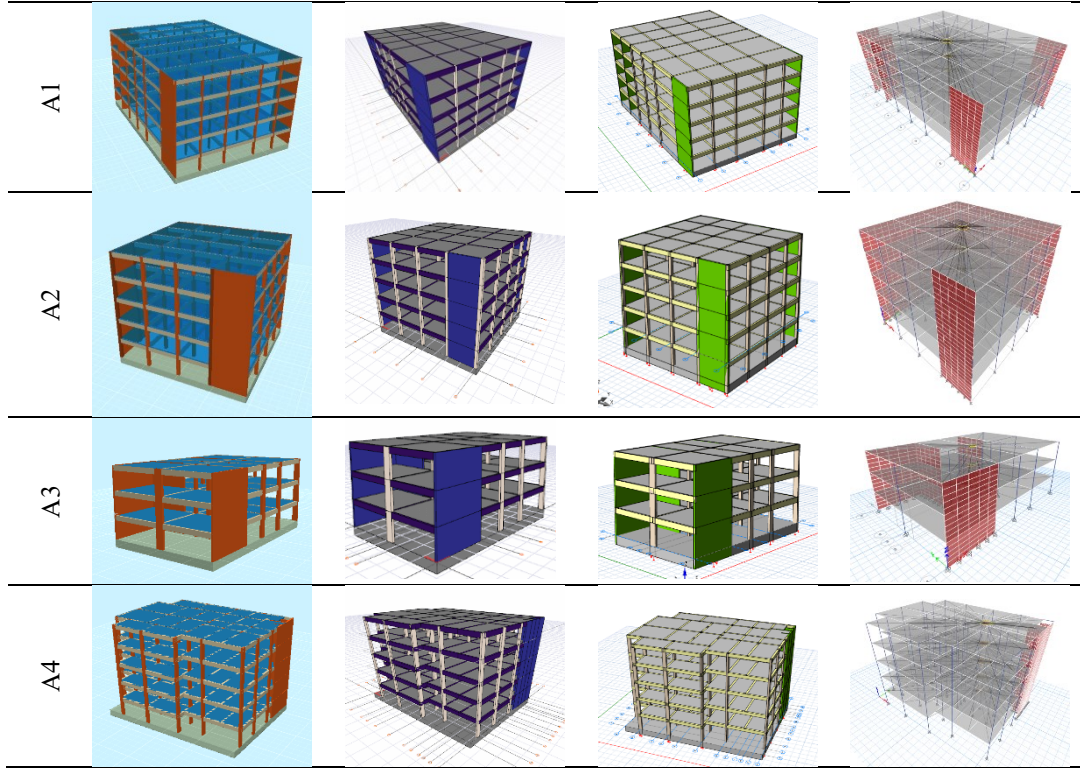
$$x_r = \frac{-R_{zy}}{R_{zz}}, y_r = \frac{R_{zx}}{R_{zz}} \quad (4)$$

Ankette kullanılan ve yapısal analizi yapılan 4 betonarme binaya ait kat planları, binaların yapısal analiz programlarındaki 3B görüntüleri ve binalara ait genel özellikler aşağıda verilmiştir. A1, A2 ve A4 binaları konut tipi olarak tasarlanırken A3 binasının mevcut durumda okul olarak kullanılması sebebi ile bina okul yapısı olarak modellenmiştir.

Binaların yapısal analizlerindeki 3B model görselleri Şekil 2’de verilmiştir. Binalarda kat yüksekliği 3 m alınmıştır. Binaların yapısal analizlerinde deprem yükü için Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin konum verileri kullanılmıştır. Zati yük olarak tüm katlarda 0.212 t/m² (TS498), hareketli yük ise yapı tipine göre verilmiştir. Diğer özellikler Çizelge 5’te özetlenmiştir.

Çizelge 5. Matematiksel modellerde dikkate alınan diğer bina özellikleri

Kat Sayısı	:	A1-A2-A4 5 katlı, A3 binası 3 katlı
Kiriş Ölçüleri	:	25*60 cm
Döşeme Kalınlıkları	:	20 cm
Beton	:	C25
Donatı Çeliği	:	S420
Temel Tipi	:	Radye Temel
Temel Kalınlığı	:	1 m
Zemin Türü	:	ZC
Zemin Yatak Katsayısı	:	1000 t/m ³
Zemin Taşıma Gücü Tasarım Dayanımı	:	10 t/m ²

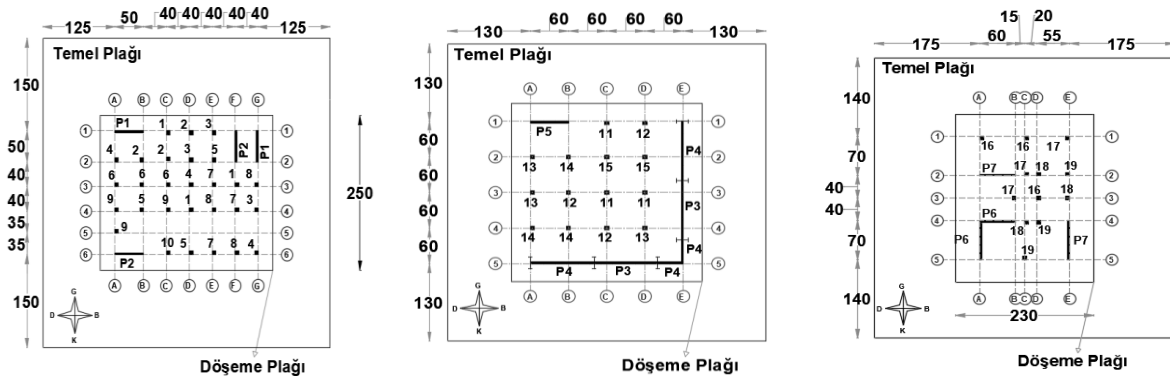


Şekil 2. Binaların 3B matematiksel modelleri.

2.4. Deneysel çalışma

Deneysel çalışmada rijitlik merkezi ile kütle merkezinin birbirinden uzaklaşmasından kaynaklı oluşacak burulmanın yani kat düzleminin dönmesinin gözlemlenmesi ve ölçülebilmesi için özel olarak hazırlanan bir düzenek kurulmuştur. Deney düzeneğinde laboratuvar kısıtlarından kaynaklı olarak plan ve kat yüksekliklerinde farklı ölçekler kullanılan binalar yan çevrilerek bir deney masasına yerleştirilmiş ve kendi ağırlıkları altında oluşan deplasmanlar LVDT cihazları ile kaydedilmiştir. Laboratuvar kısıtlarından dolayı A4 binasının ölçekli hali yapılamamıştır (Aksoy, 2023).

Ölçekli binalar yapılırken kolonlar 6x6x1000 mm, perde duvarlar 3x100x1000 mm kesit ölçülerine sahip balsa malzemeden, döşemeler 300x300x8 mm, temel ise 500x500x18 mm ölçülerine sahip MDF malzemeden imal edilmiştir. Plan ölçülerine göre döşeme ve perde duvarların kesit ölçülerinde değişiklik yapılmıştır (A1 250x300 mm, A2 300x300 mm ve A3 230x300 mm ölçülerinde). Düşey taşıyıcı elemanların yerleşimi için lazer yardımıyla döşemelerde 8 mm, temelde ise 4 mm kesit ölçülerine uygun delikler açılmıştır. A1, A2 ve A3 binalarında kullanılan elemanların numaraları ile ölçüleri Şekil 3'te, 3B görüntüleri ise Şekil 4'te verilmiştir.

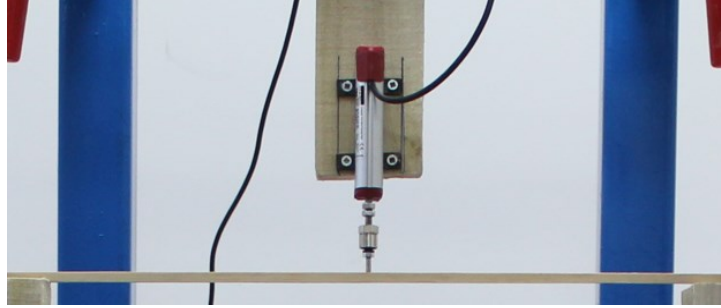


Şekil 3. A1, A2 ve A3 binalarının kat planları.



Şekil 4. Ölçekli binaların 3B modelleri.

Deney çalışması için kolon ve perde duvarların ağırlıkları hassas tartı ile ölçülmüş ve elastisite modülleri için 3 noktalı eğilme deneyleri yapılmıştır (Newaz ve ark., 2016; Wu ve ark., 2020). Eğilme deneylerinde deplasmanlar LVDT cihazları ile ölçülmüş (Şekil 5) ve Denklem 5’te verilen formülle elastisite modülleri belirlenmiştir. Kolon ve perde duvarlara ait özellikler ise Çizelge 6-7’de verilmiştir. MDF malzemeden imal edilmiş döşeme plaklarının elastisite modülleri 4 856.4 MPa alınmıştır (As ve ark., 2009; Mirbolouk & Roohnia, 2015).



Şekil 5. Eğilme deneyi için örnek görsel.

$$E = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta \cdot I} \quad (5)$$

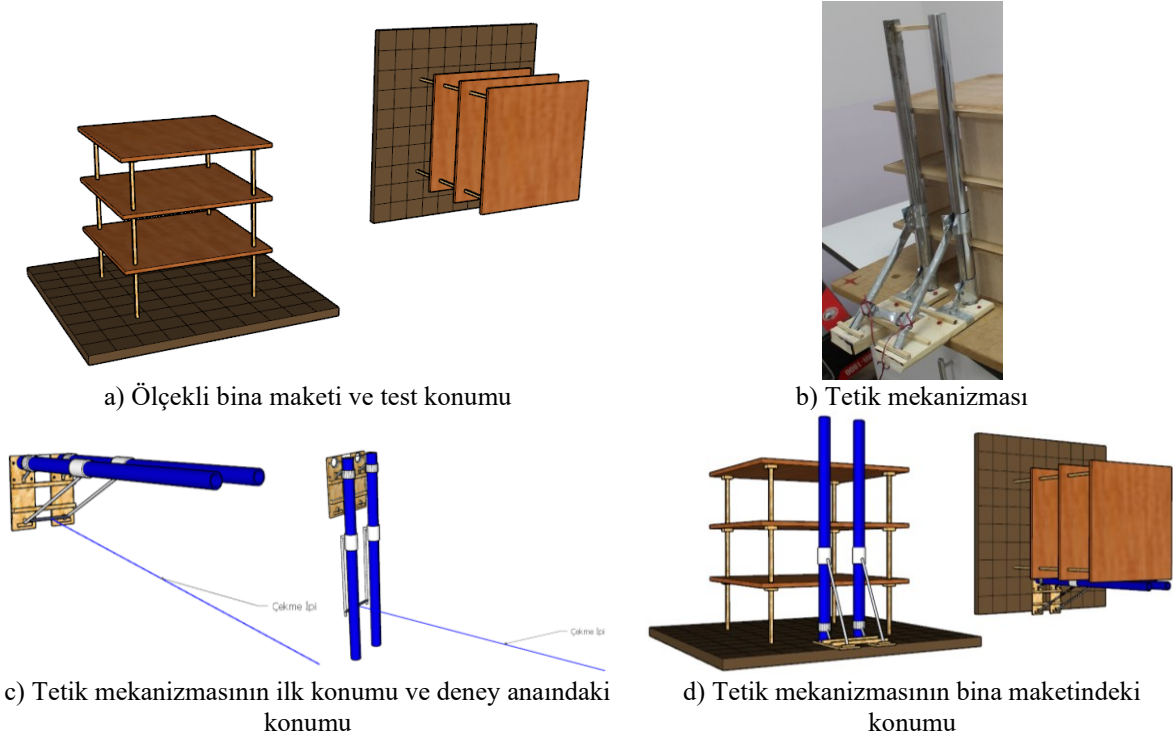
Çizelge 6. Ölçekli binaların kolon özellikleri

	Eleman	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Adet
A1	1	149.17	1 178.54	3
	2	148.06	1 169.07	3
	3	146.11	1 152.49	3
	4	146.67	1 157.22	3
	5	147.78	1 166.69	3
	6	147.78	1 166.69	3
	7	148.06	1 169.07	3
	8	147.22	1 161.96	3
	9	146.94	1 159.59	3
	10	150.00	1 185.64	1
A2	11	201.39	1 623.78	3
	12	205.28	1 656.94	3
	13	204.44	1 649.83	3
	14	204.72	1 652.19	3
	15	205.00	1 654.57	3
A3	16	150.00	1 185.64	3
	17	150.83	1 192.75	3
	18	151.11	1 195.12	3
	19	151.67	1 199.85	3

Çizelge 7. Ölçekli binalara ait perde duvar özellikleri

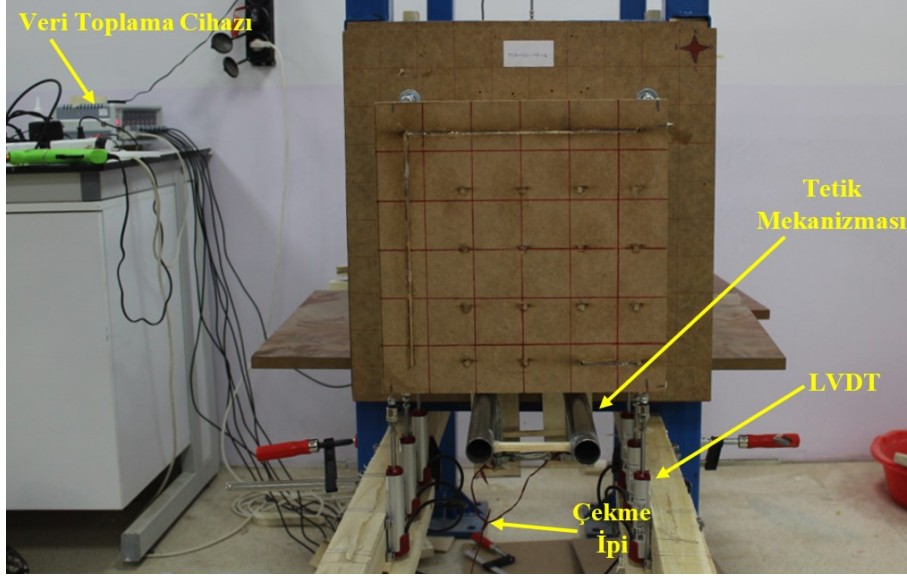
	Eleman	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Kesit (mm)	Adet
A1	P1	286.73	8 188.51	3x50	2
	P2	289.20	8 227.87	3x50	2
	P3	201.50	6 828.26	3x100	2
A2	P4	194.50	6 716.54	3x100	2
	P4	194.50	6 716.54	3x40	2
	P5	196.90	6 754.85	3x60	1
A3	P6	297.63	8 362.46	3x60	1
	P6	297.63	8 362.46	3x70	1
	P7	301.50	8 424.17	3x60	1
	P7	301.50	8 424.17	3x70	1

Örnek bir ölçekli binanın deneye tabi tutuluşunu göstermek için çizilen görseller Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6.a'da yer alan bina çevrilişi esnasında deplasman oluşmaması için Şekil 6.b'de verilen görselde yer alan tetik mekanizması imal edilmiştir. Tetik mekanizması deneyden önce 90° duracak ve deney anında ise 0° dönecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 6.c). Şekil 6.d'deki gibi binaya sabitlenmiş ve böylece bina deney masasına yerleştirilmiştir.



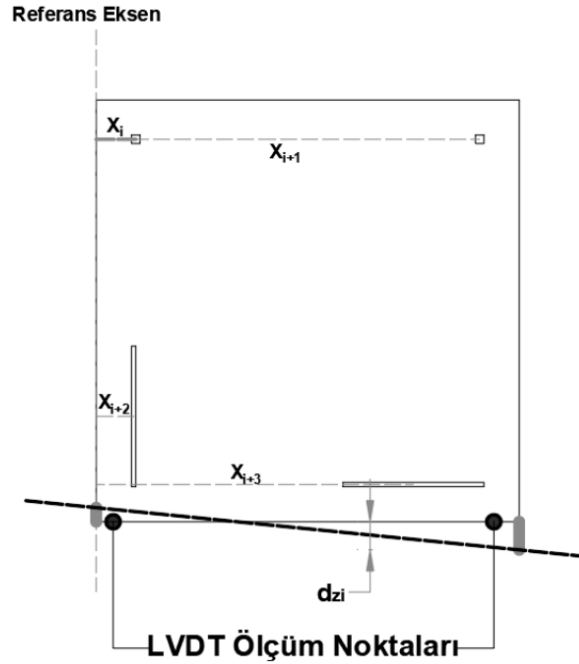
Şekil 6. Örnek bir binanın deney planları.

Deney masasına yerleştirilen ölçekli binaya silikon yardımıyla LVDT cihazları bağlanıp tetik mekanizması çekme ipi yardımıyla devre dışı bırakılmıştır. Tetik mekanizmasının devre dışı kalmasıyla ölçekli bina döşemelerinin yaptığı deplasmanlar LVDT cihazlarıyla ölçülüp veri toplama cihazına aktararak kayıt altına alınmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Deney düzeneği.

Ölçekli binanın her katının köşe noktalarında elde edilen iki deplasman değeri kullanılarak kolon ve perde duvarların deplasmanları hesaplanmıştır. Kolon ile perde duvarların merkezlerindeki deplasmanlar Denklem 6 ile belirlenmiştir (Şekil 8). Döşeme plakları rijit diyafram etkisi gösterdiği kabul edildiği için lineer denklem kullanılmıştır. Elde edilen deplasmanlardan kolon ve perde duvarların rijitlikleri (Denklem 7) kullanılarak elemanların merkezlerindeki kesme kuvvetlerine dönüştürülmüştür (Denklem 8). Bulunan kesme kuvvetlerinin ağırlık merkezlerinin alınmasıyla ölçekli binaların rijitlik merkezi konumu hesaplanmıştır. Bu denklemlerde d_{zi} binanın ilgili katının ilgili noktasındaki deplasman büyüklüğünü, x_i ilgili noktanın referans eksene olan uzaklığını, a ve b hesap sonucu bulunan katsayıları, F_i kesme kuvvetini, k_i ilgili elemanın eğilme rijitliğini, E_i ilgili elemanın elastisite modülünü, I_i ilgili elemanın atalet momentini, L_i ise ilgili elemanın net yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 8. Örnek plan görünümü üzerinden deplasmanların elde edilişi.

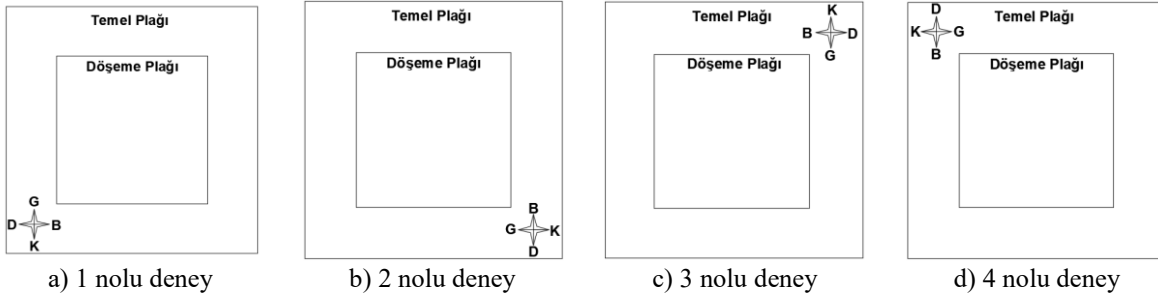
$$d_{zi} = ax_i + b \quad (6)$$

$$k_i = \frac{12 * E_i * I_i}{L_i^3} \quad (7)$$

$$F_i = k_i d_{zi} \quad (8)$$

$$R_m = \left(\frac{\sum(k_i * d_{zi}) * x_i}{\sum(k_i * d_{zi})} \right) \quad (9)$$

Binalar farklı yönlerde test edilerek rijitlik konumunun yön ile ilişkisi incelenmiştir. İlk yön için rijitlik merkezi elde edildikten sonra ölçekli bina deney masasından sökülüp 90° veya katlarıyla çevrilerek (Tetik mekanizmasının düzgün oturacağı düzleme göre) tekrardan deney masasına yerleştirilmiş ve ikinci yön için de deney yapıp rijitlik merkezi belirlenmiştir. Binanın temel plağında yer alan pusulanın konumuna göre deneyler adlandırılmıştır.



Şekil 9. Deney yönleri.

3. Bulgular ve Tartışma

Mimar ve inşaat mühendislerinin kat planları üzerinde tahmini olarak işaretledikleri kütle ve rijitlik merkezleri, yapısal analiz sonucunda bulunan kütle ve rijitlik merkezleri ile deney sonucunda bulunan rijitlik merkezleri konumları aşağıda verilmiştir.

Anketlerde işaretlenen noktaların koordinatları AutoCAD programı yardımıyla belirlenmiş ve bu noktaların ağırlık merkezi ile standart sapmaları hesaplanmıştır. Anketlerde belirtilen kütle merkezleri için mavi renkte dairesel form kullanılırken rijitlik merkezlerinde kırmızı renkte dairesel form kullanılmıştır. Kat planları üzerinde gösterilen siyah dairesel noktalar anket sonuçlarının ağırlık merkezlerini, gri bölgeler ise x ve y doğrultusu için elde edilen standart sapma değerlerine göre bulunan alanı temsil etmektedir.

Kat planları üzerinde yer alan S Sta4CAD programının, İ İdeCAD programının, P ProtaStructure programının, E ETABS programının yapısal analiz sonucu bulduğu noktaları gösterirken, M mimarların, İM inşaat mühendislerinin tahmini olarak işaretledikleri noktaları simgelemekte ve RM ise deney sonucu bulunan noktayı belirtmektedir.

3.1. Kütle merkezleri

A1 binası için işaretleme yapan mimar ve inşaat mühendisleri kütle merkezinin genel olarak kat planının ortasına yakın ve taşıyıcı eleman miktarının fazla olduğu 1. bölgede olduğunu belirtmiş olmalarına karşın kat planı ortasından çok uzakta bir noktayı da kütle merkezi olarak seçtikleri görülmüştür (Şekil 10.a ve b). Kütle merkezini kat planı merkezinden uzaklaştıranlar perde duvar yerleşimini dikkate almışlardır. Şekil 10.a ve b incelendiğinde standart sapmanın inşaat mühendislerinin tahmininde daha düşük olduğu görülebilir. Bir başka deyişler inşaat mühendisleri mimarlara nazaran kütle merkezini birbirlerine yakın tahmin etmişlerdir.

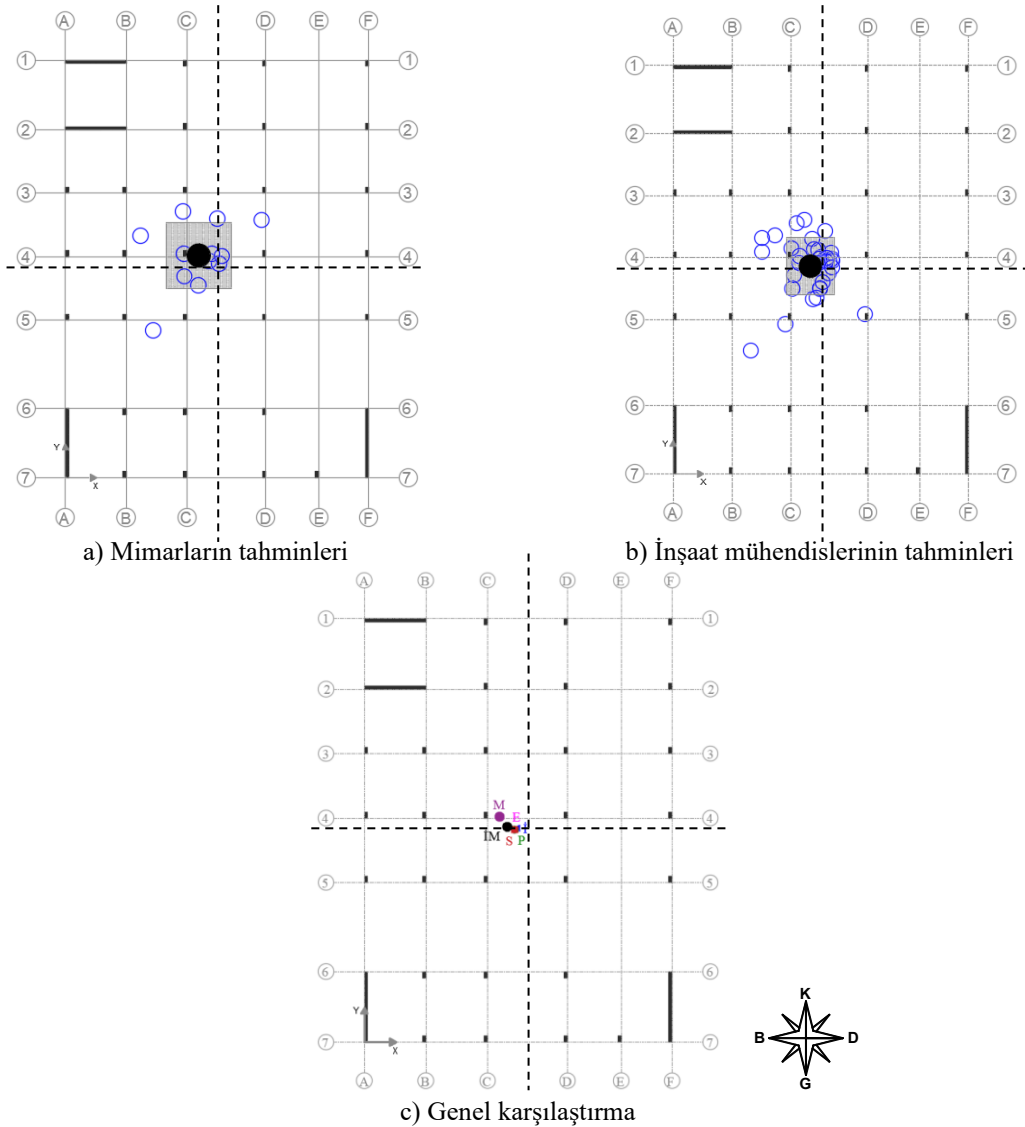
Anket tahminlerinin ortalaması yapısal analiz programlarından elde edilen kütle merkezi konumları Şekil 10.c'de karşılaştırmalı olarak verilmiş, sayısal sonuçlar Çizelge 8'de özetlenmiştir.

Çizelgede X kütle merkezinin referans A eksenine olan uzaklığını, Y ise referans 7 eksenine olan uzaklığını, “Bölge” ifadesi kütle merkezinin daha önce planda gösterilen bölge numarasını, DX ve DY ise kütle merkezi konumlarının ETABS referans noktasına olan göreceli uzaklıklarının yüzdesini göstermektedir (Denklem 10). Denklemlerde $X_{m,ref}$ ve $Y_{m,ref}$ x ve y yönü için referans değerleri, $X_{m,i}$ ve $Y_{m,i}$ farkın hesaplanacağı x ve y yönü değerlerini, L_X ve L_Y ise sırası ile binanın x ve y yönündeki plan uzunluğunu ifade etmektedir.

Şekil 10.c’den görüleceği üzere yapısal analiz programlarının tamamı kütle merkezini kat planı ortasında hesaplamakta ve en büyük fark %0.3 civarında olmaktadır. İnşaat mühendislerinin tahminlerinin ortalamasının yapısal analiz programlarına daha yakın olduğu, ETABS ile belirlenen kütle merkezi konumu referans alındığında farkın x yönü için %1.3, y yönü için ise %0.3 olduğu belirlenmiştir. Mimarların ise nispeten daha fazla fark ile (x yönü için %2.5, y yönü için %1.5) kütle merkezi konumunu tahmin ettikleri görülmüştür.

Genel bir değerlendirme yapıldığında mimar ve inşaat mühendislerinin herhangi bir hesap yapmadan tamamen gözlemsel olarak A1 binasının kütle merkezini kabul edilebilir hata oranları içerisinde tahmin ettikleri gözlenmiştir.

$$\Delta X = \left| \frac{X_{m,i} - X_{m,ref}}{L_X/2} \right| 100, \Delta Y = \left| \frac{Y_{m,i} - Y_{m,ref}}{L_Y/2} \right| 100 \quad (10)$$



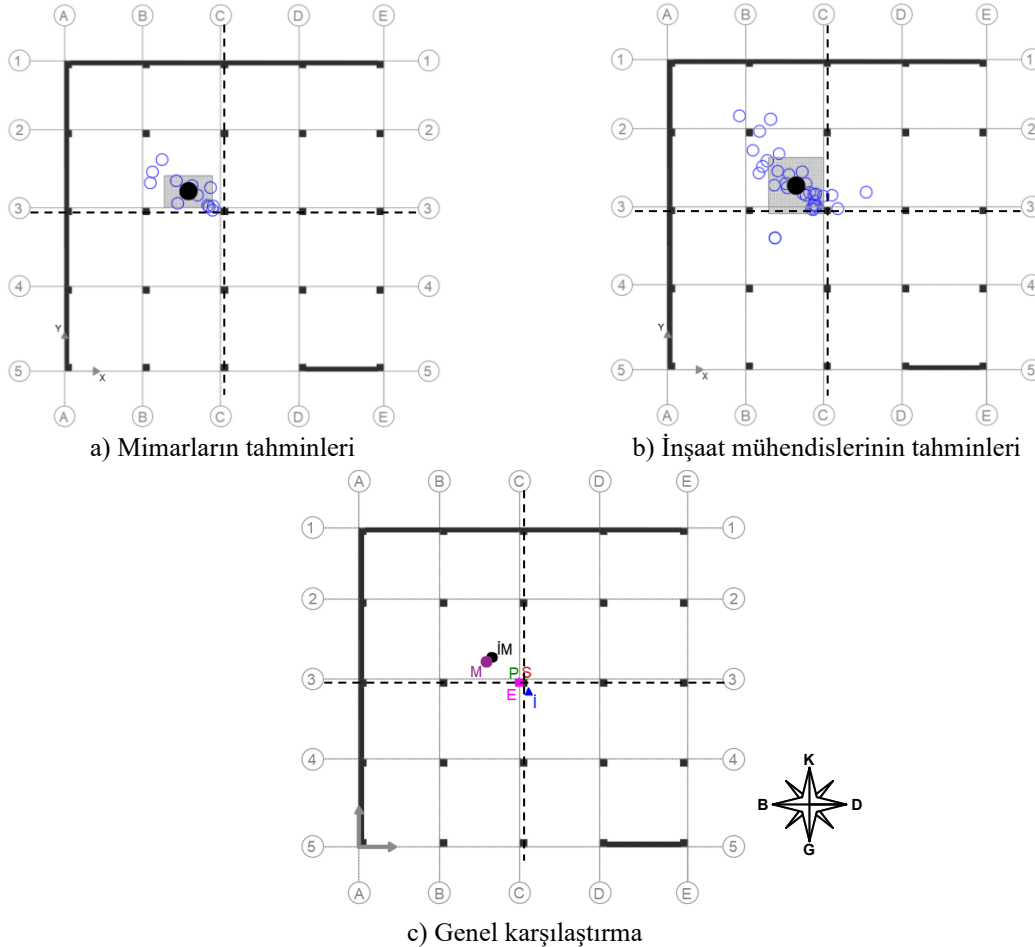
Şekil 10. A1 binası için kütle merkezinin tahminleri.

Çizelge 8. A1 binasının kütle merkezi konumları

	X_m, m	Y_m, m	DX, %	DY, %
ETABS (E)	9.79	13.86	0.0	0.0
Sta4CAD (S)	9.76	13.83	0.1	0.1
İdeCAD (İ)	9.89	13.96	0.3	0.2
ProtaStructure (P)	9.80	13.85	0.0	0.0
Mimar (M)	8.79	14.69	2.5	1.5
İnşaat Mühendisi (İM)	9.29	14.03	1.3	0.3

A2 binasının batı ve kuzey cephelerinde bina uzunluğu boyunca perde duvarlar bulunması sebebi ile mimarlar ve inşaat mühendisleri kütle merkezini kat planı ortasından bir miktar uzaklaştırarak bu perde duvarlara yaklaştırmaya çalışmıştır (Şekil 11.a ve b). Fakat tahminlerin ortalaması alındığında ortalamaların kat planı ortasına yakın ve 1. bölgede olduğu belirlenmiştir. İnşaat mühendisleri çoğunlukla benzer noktaları kütle merkezi olarak tahmin etmelerine karşın, genel düşünceden çok farklı tahminlerin de olduğu gözlenmiş, bu durumun mimarların tahminleri ile kıyaslandığında daha büyük standart sapmalara yol açtığı görülmüştür.

Şekil 11.c'de ve Çizelge 9'da yapısal analiz programlarının sonuçları anket sonuçları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. A1 binasında olduğu gibi A2 binasında da bütün yapısal programları kütle merkezini kat planının ortasına yakın hesaplamıştır. Sadece İ programı x ve y yönü için %1.4 fark ile kütle merkezinin 4. bölgede olduğunu belirtmiştir. Mimarlar ve inşaat mühendislerinin tahminlerinin ortalamasının birbirine yakın olduğu fakat yapısal analiz programlardan bir miktar uzak oldukları görülmüştür. Mimarlar, E programının sonuçları referans alındığında x yönünde %5.0, y yönünde %3.3, inşaat mühendisleri ise x yönünde %4.2 ve y yönünde %4.0 fark ile kütle merkezini 1. bölgede tahmin etmişlerdir.

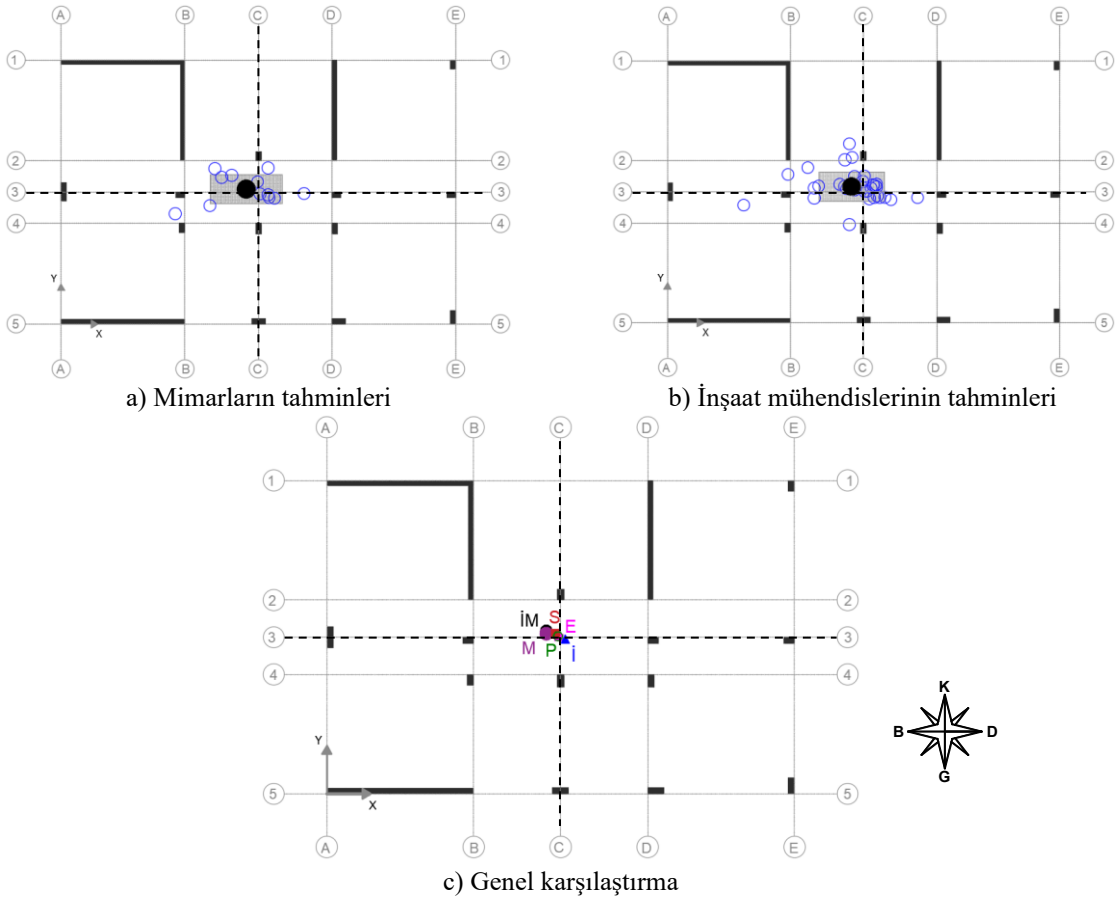


Şekil 11. A2 binası için kütle merkezinin tahminleri.

Çizelge 9. A2 binasının kütle merkezi konumları

	X_m, m	Y_m, m	$\Delta X, \%$	$\Delta Y, \%$
ETABS (E)	8.97	9.20	0.0	0.0
Sta4CAD (S)	8.99	9.22	0.1	0.1
İdeCAD (İ)	9.50	8.69	1.4	1.4
ProtaStructure (P)	8.93	9.22	0.1	0.1
Mimar (M)	7.14	10.37	5.0	3.3
İnşaat Mühendisi (İM)	7.44	10.62	4.2	4.0

A3 binasının anket sonuçları incelendiğinde Şekil 12.a ve b'den görüleceği üzere mimar ve inşaat mühendisleri genel olarak kütle merkezinin kat planı ortasına yakın olduğunu belirtmişlerdir. Mimar ve inşaat mühendislerinin ortalama tahminlerinin yapısal analiz programlarının sonuçları ile kıyaslandığında farkın çok düşük olduğu (x yönü için maksimum %1.3 ve y yönü için maksimum %0.9) belirlenmiştir (Şekil 12.c ve Çizelge 10).

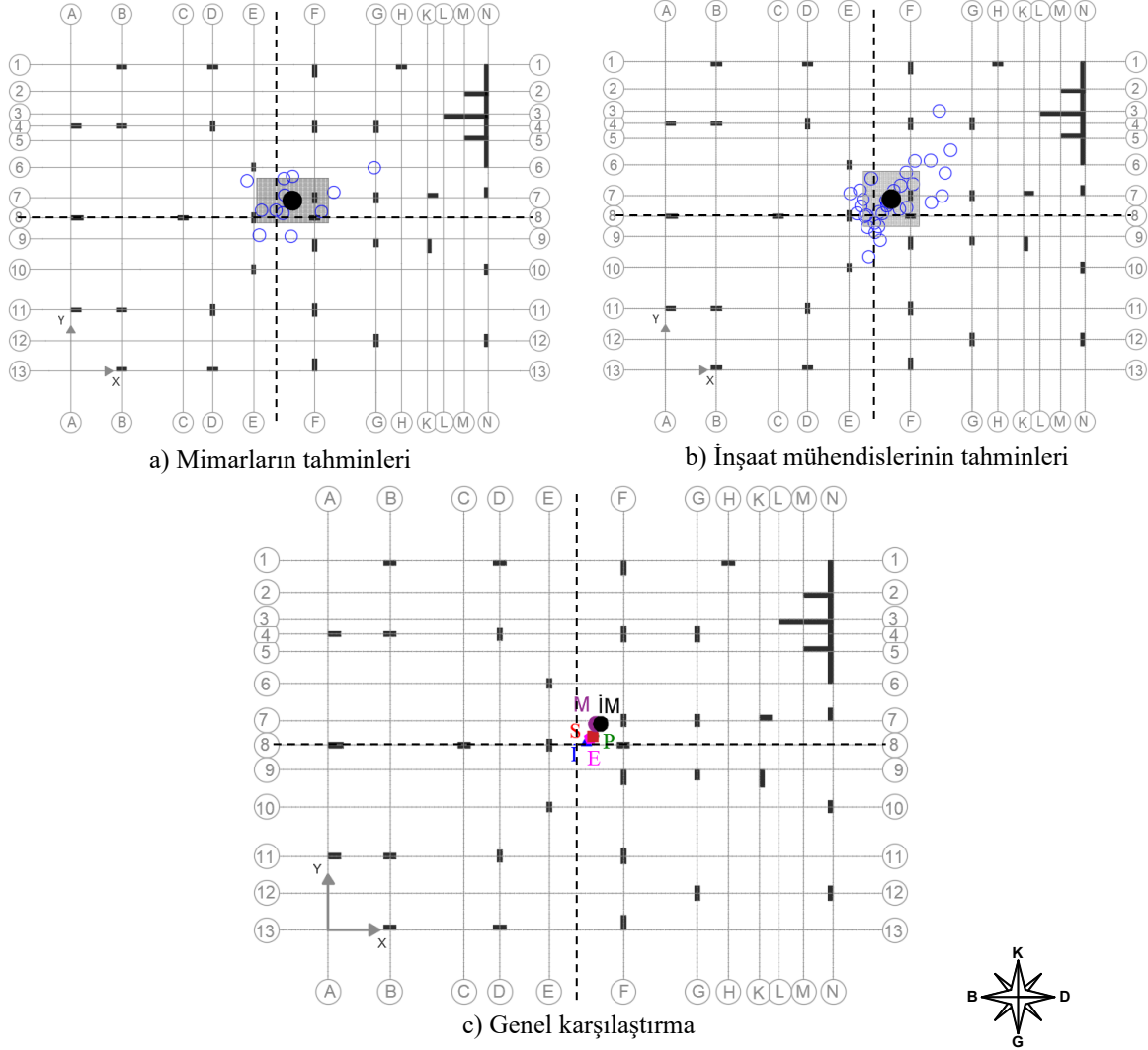


Şekil 12. A3 binası için kütle merkezinin tahminleri.

Çizelge 10. A3 binasının kütle merkezi konumları

	X_m, m	Y_m, m	$\Delta X, \%$	$\Delta Y, \%$
ETABS (E)	10.89	7.39	0.0	0.0
Sta4CAD (S)	10.76	7.53	0.3	0.5
İdeCAD (İ)	11.21	7.27	0.7	0.4
ProtaStructure (P)	10.87	7.41	0.0	0.1
Mimar (M)	10.33	7.52	1.3	0.4
İnşaat Mühendisi (İM)	10.33	7.64	1.3	0.9

A4 binasının kuzeydoğu köşesinde (2. bölgede) bulunan perde duvar grubundan dolayı mimar ve inşaat mühendislerinin kütle merkezi olarak işaretlediği nokta (Şekil 13.a ve b) bina kat planı ortasının ve yapısal analiz programlarının hesapladıkları konumun kuzeydoğusunda kalmıştır (Şekil 13.c). ETABS programı ile hesaplanan kütle merkezi konumları ile kıyaslandığında mimar ve inşaat mühendislerin genel olarak uyumlu tahminler yaptıkları belirlenmiştir.



Şekil 13. A4 binası için kütle merkezinin tahminleri.

Çizelge 11. A4 binasının kütle merkezi konumları

	X_m, m	Y_m, m	$\Delta X, \%$	$\Delta Y, \%$
ETABS (E)	10.61	7.78	0.0	0.0
Sta4CAD (S)	10.72	7.86	0.3	0.3
İdeCAD (İ)	10.46	7.69	0.4	0.3
ProtaStructure (P)	10.74	7.87	0.3	0.3
Mimar (M)	10.85	8.36	0.6	1.9
İnşaat Mühendisi (İM)	11.03	8.33	1.0	1.8

Sonuç olarak tipik bir betonarme bina kütlelerinin büyük bir kısmını döşemeler oluşturduğundan kütle merkezi genel olarak kat planı merkezine yakın olmakta ve perde duvarların yoğun olduğu bölgelere doğru kaymaktadır. Fakat perde duvarların kütle üzerindeki etkinliği planda döşemeler kadar olmadığından kütle merkezi çok fazla değişmemektedir. Bu sebeplerden dolayı mimar ve inşaat mühendisleri gözlemsel değerlendirmelerinde perde duvar yoğunluğunu dikkate alarak kat planı merkezine yakın noktaları kütle merkezi olarak tahmin etmekte ve hata oranlarının

kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla gözlemsel olarak kütle merkezi konumunun tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

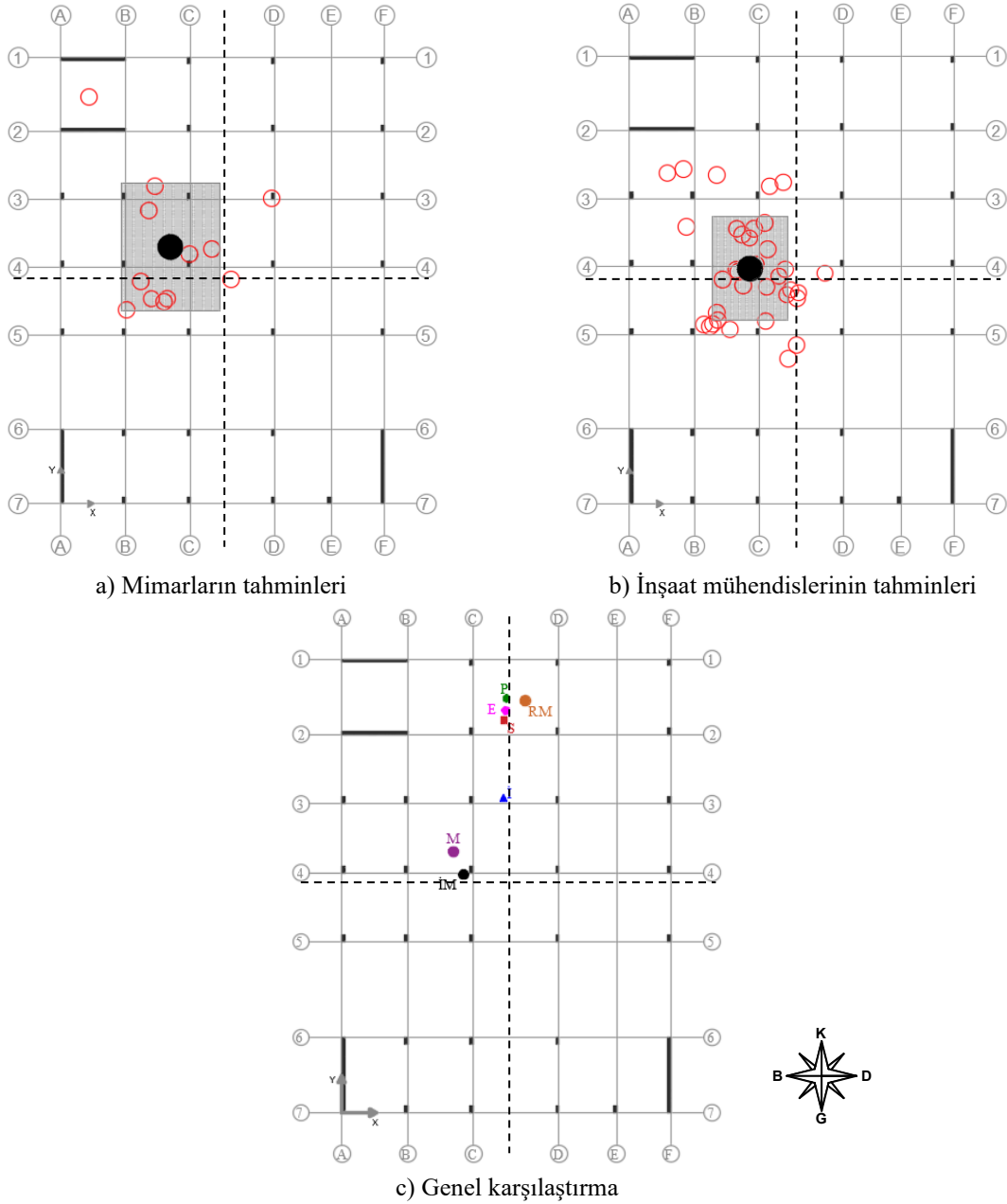
3.2. Rijitlik merkezleri

A1 binasının 1. bölgesinde x yönünde uzanan iki adet perde, 3. bölgesinde ve 4. bölgesinde ise y yönünde uzanan iki adet perde bulunmaktadır. Batı cephesinde (1 ve 3. bölge) yoğunlaşan 3 perde duvardan kaynaklı olarak mimarlar ve inşaat mühendisleri rijitlik merkezinin bina merkezinin batısında olduğunu belirtmişler (Şekil 14.a ve b). Bir mimarın rijitlik merkezini 1. bölgedeki perde duvarların ortasında, başka bir mimarın ise 4. bölgede işaretlemesi sebebi ile mimarların tahminlerinin standart sapma miktarı artmıştır. Fakat genel olarak mimarlar kat planı merkezinin solunda tahminler yapmışlardır. İnşaat mühendisleri birbirlerine yakın tahminler yaptıklarından standart sapma miktarı düşmüştür. Bazı inşaat mühendisleri y yönünde uzanan perdelerle yakın tahminler yapmalarına karşın bazıları rijitlik merkezini x yönünde uzanan perdelerle yaklaştırmıştır. Tahminler çoğunlukla farklı olmasına karşın gözlemsel değerlendirmedeki genel eğilime göre rijitlik merkezi kat planı merkezinin solundadır.

Mimar ve inşaat mühendislerinin tahminlerinin doğruluğunu belirlemek amacı ile söz konusu A1 binası ETABS (E), ProtaStructure (P), İdeCAD (İ) ve Sta4CAD (S) ile modellenmiş ve bu programlar tarafından rijitlik merkezi hesaplanmıştır. Ayrıca hem programların rijitlik merkezi hesabını hem de anket tahminlerini sınamak amacı ile A1 binasının ölçekli maketi hazırlanmış ve kendi ağırlığında test edilerek rijitlik merkezi deneysel olarak belirlenmiştir. Şekil 14.c ve Çizelge 12 beraber incelendiğinde P, E ve S programlarının benzer tahminler yaparak rijitlik merkezini x yönünde uzanan perdeler ile y yönünde uzanan perdelerin ortasından geçen çizginin kesiştiği noktada hesapladıkları, bu hesabın deneysel olarak bulunan rijitlik merkezine (RM) yakın olduğu belirlenmiştir. RM ile olan fark x yönü için %3.2 civarında, y yönü için ise maksimum %2.1'dir. İ programı diğer programlardan çok farklı bir noktada rijitlik merkezi hesabı yapmış ve x yönünde %3.5 fark ortaya çıkarken y yönündeki fark %10.8 olarak hesaplanmıştır. Mimar ve inşaat mühendislerinin tahminleri RM ile kıyaslandığında hem x hem de y yönünde büyük farkların olduğu, gözlemsel değerlendirme neticesinde A1 binasının rijitlik merkezi konumunun tahmin edilemediği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 12. A1 binasının rijitlik merkezi konumları

	X_m, m	Y_m, m	$\Delta X, \%$	$\Delta Y, \%$
Deney Sonucu (RM)	11.14	25.05	0.0	0.0
ETABS (E)	9.96	24.46	3.0	1.1
Sta4CAD (S)	9.85	23.88	3.2	2.1
İdeCAD (İ)	9.74	19.09	3.5	10.8
ProtaStructure (P)	9.99	25.19	2.9	0.3
Mimar (M)	6.78	15.88	10.9	16.6
İnşaat Mühendisi (İM)	7.40	14.50	9.4	19.1

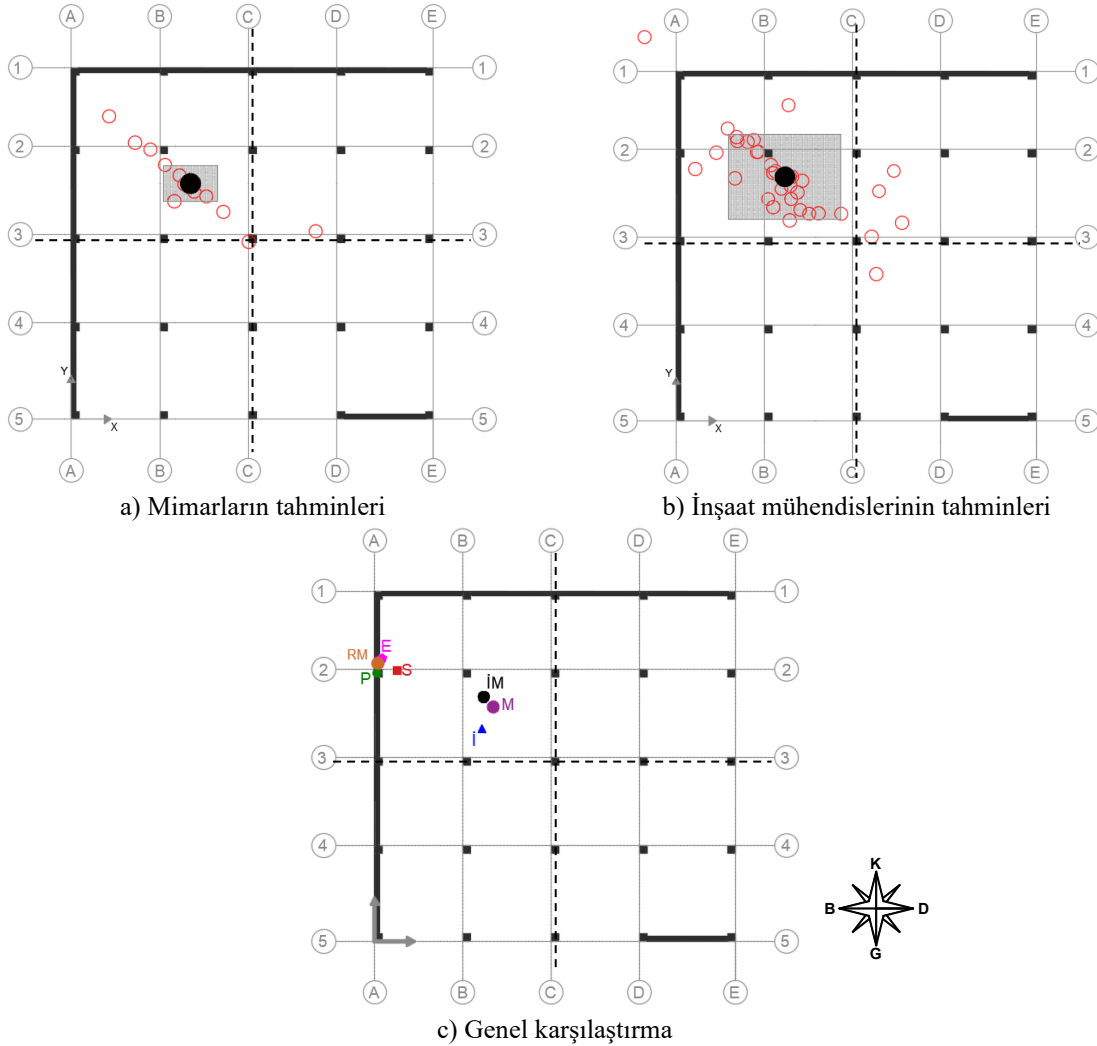


Şekil 14. A1 binası için rijitlik merkezi tahminleri.

A2 binası incelendiğinde mimarların ve inşaat mühendislerinin rijitlik merkezinin çoğunlukla 1. bölgede olduğunu belirttikleri, iki uzun perde duvarın birleştiği köşeye doğru rijitlik merkezi tahminleri yaptıkları, bazı mimarların ve inşaat mühendislerinin kat planı ortasında, 2. bölgede ve 4. bölgede rijitlik merkezini konumlandıkları Şekil 15.a ve b'den görülebilir. Standart sapmalar incelendiğinde inşaat mühendislerinin birbirlerinden çok farklı noktaları rijitlik merkezi olarak tahmin ettikleri belirlenmiştir.

Bu bina yine dört farklı yapısal analiz programı ile analiz edilerek rijitlik merkezi hesaplanmış ve sonrasında laboratuvar ortamında ölçekli bir şekilde deneye tabi tutularak elde edilen rijitlik merkezi konumu Şekil 15.c'de ve Çizelge 13'te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Şekil 15.c'den görüleceği üzere mimarların ve inşaat mühendislerinin tahminleri İ programı ile elde edilen rijitlik merkezi konumuna yakın olmasına karşın diğer üç programdan elde edilen konumlar ile deneysel çalışma sonucu elde edilen rijitlik merkezinden çok uzaktır. Binanın batı kenarı ile kuzey kenarındaki büyük perde duvarların büyük rijitlikleri sebebi ile binanın diğer bölgelerindeki düşey taşıyıcı elemanların rijitlikleri önemsiz hale gelmiş ve nihayetinde hem deneysel çalışmada hem de S, P ve E

programlarında rijitlik merkezi kuzey batı köşesine yakın (1. bölge) bulunmuştur. Birkaç inşaat mühendisinin deneysel çalışma ile bulunan rijitlik merkezine yaklaştığı Şekil 15.b'den görülebilir. Fakat tahminlerin ortalaması düşünüldüğünde mimarların x yönünde %16, y yönünde %6.2, inşaat mühendislerinin ise nispeten daha iyi tahmin ile x yönünde %14.7 ve y yönünde %4.7 fark ile rijitlik merkezini tahmin ettikleri belirlenmiştir. İ programı ile yapılan analizler neticesinde bulunan rijitlik merkezi deneysel sonuçtan x yönünde %14.4 ve y yönünde %9.3 farklıdır. S, P ve E programlarının rijitlik merkezi hesabının deneysel çalışma ile çok yakın olduğu, en büyük farkın %2.7 olduğu tespit edilmiştir.



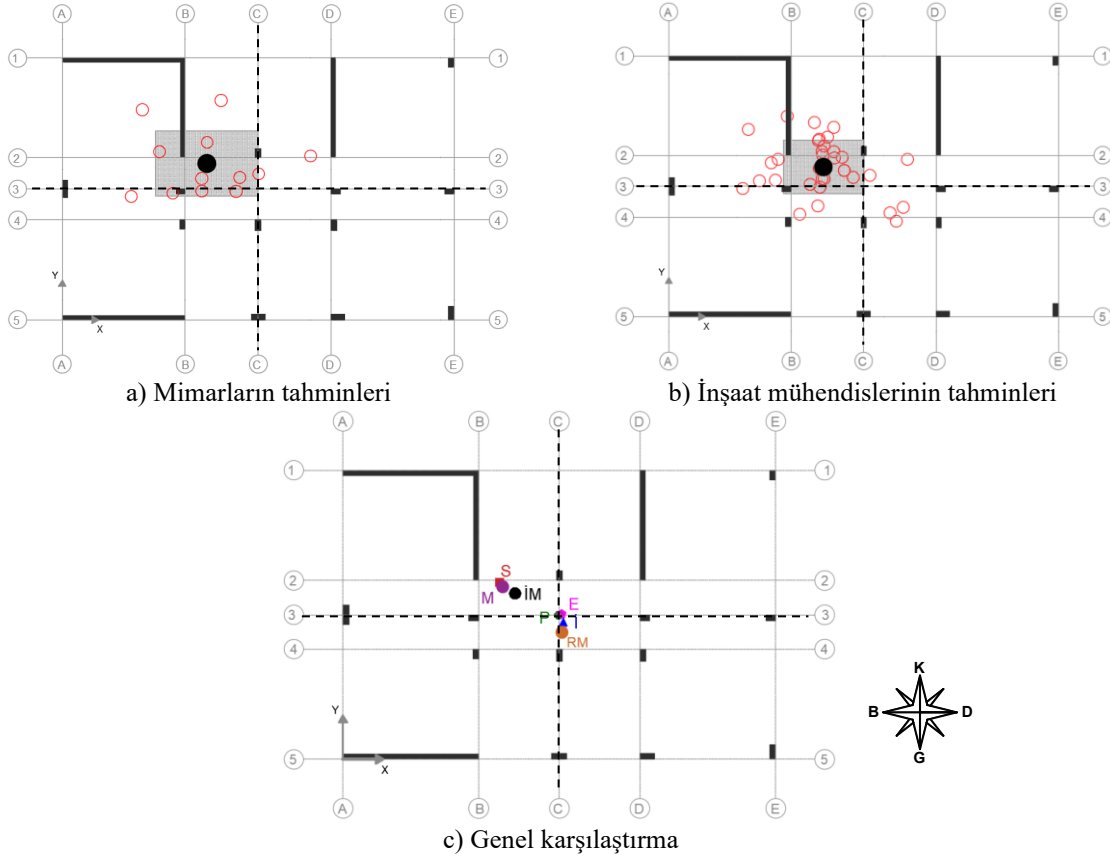
Şekil 15. A2 binası için rijitlik merkezi tahminleri.

Çizelge 13. A2 binasının rijitlik merkezi konumları

	X_m, m	Y_m, m	$\Delta X, \%$	$\Delta Y, \%$
Deney Sonucu (RM)	0.16	14.20	0.0	0.0
ETABS (E)	0.36	14.46	0.5	0.7
Sta4CAD (S)	1.16	13.84	2.7	1.0
İdeCAD (İ)	5.47	10.86	14.4	9.3
ProtaStructure (P)	0.11	13.73	0.1	1.3
Mimar (M)	6.05	11.98	16.0	6.2
İnşaat Mühendisi (İM)	5.56	12.50	14.7	4.7

Perde duvarlarının her iki eksende ayrı ayrı simetrik yerleştirildiği fakat global anlamda bir simetrikliğin olmadığı A3 binasında mimarlar ve inşaat mühendisleri çoğunlukla rijitlik merkezini 1. bölgede B-C düşey aksı ile 2-3 yatay aksı arasında tahmin etmişlerdir. Sadece bir mimar 2. bölgede, birkaç inşaat mühendisi ise 2, 3 ve 4. bölgede tahminler yapmıştır (Şekil 16.a ve b). Mimarların ve inşaat mühendislerinin ortalama tahminleri yapısal analiz programların sonuçları ve deneysel çalışma sonucu (RM) ile Şekil 16.c ve Çizelge 14'te gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. S haricindeki bütün programların RM'ye yakın konumları rijitlik merkezi olarak belirlediği, farkın maksimum %3.2 olduğu belirlenmiştir. S ile RM arasındaki fark x yönünde 7.2, y yönünde ise 8.7 olarak hesaplanmıştır. Mimarların ve inşaat mühendislerinin tahminleri S'ye yakın olduğundan RM ile benzer uzaklıklara sahip olduğu görülmüştür.

Kat planında her ne kadar perde duvarların kuzey ve batı tarafında yoğunlaştığı gözlenirse de binanın iki ana eksen olan x ve y doğrultusu ayrı ayrı ele alındığında x doğrultusundaki perde duvarların simetrik olduğu (3 nolu yatay eksen etrafında simetrik), y doğrultusunda uzanan perde duvarlarında da yine simetrik yerleştirildiği (C düşey eksen etrafında simetrik) görülebilir. x yönü doğrultusunda yapılan analizlerde y doğrultusunda uzanan perde rijitliklerinin etkisiz olması, aynı şekilde y yönü doğrultusunda yapılan analizlerde x doğrultusunda uzanan perde rijitliklerinin etkisiz olması sebebi ile yapısal analizler sonucunda rijitlik merkezi kat planının ortasında bulunmuştur. Deneysel çalışmada da yapısal analizler gibi her iki yöndeki yüklemeler ayrı ayrı yapıldığından rijitlik merkezi kat planının ortasında hesaplanmıştır. Dolayısıyla rijitlik merkezinin kuzey-batı tarafına doğru kaydığı gözlemsel olarak değerlendirilmesine rağmen, kat planı x ve y yönlerinde ayrı ayrı değerlendirildiğinde rijitlik merkezi kat planı ortasında olmaktadır.



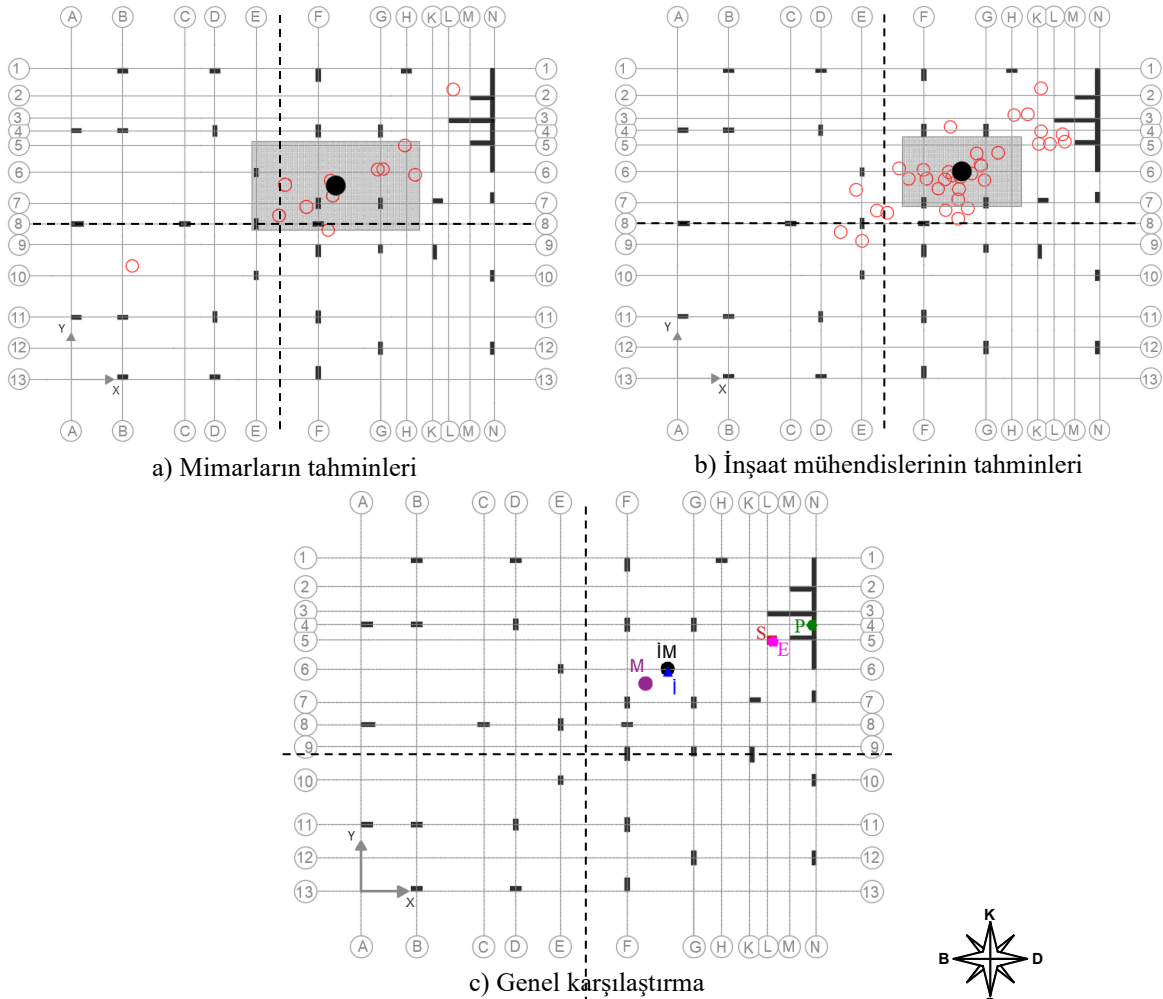
Şekil 16. A3 binası için rijitlik merkezi tahminleri.

Çizelge 14. A3 binasının rijitlik merkezi konumları

	X_m, m	Y_m, m	$\Delta X, \%$	$\Delta Y, \%$
Deneysel Sonuç (RM)	11.14	6.46	0.0	0.0
ETABS (E)	11.11	7.39	0.1	3.2
Sta4CAD (S)	7.96	9.01	7.2	8.7
İdeCAD (İ)	11.21	6.98	0.2	1.8
ProtaStructure (P)	10.97	7.34	0.4	3.0
Mimar (M)	8.13	8.78	6.8	7.9
İnşaat Mühendisi (İM)	8.75	8.44	5.4	6.7

L1, N1, L6 ve N6 aksları arasında kalan bölgedeki perde duvar grubu inşaat mühendislerinin A4 binası için rijitlik merkezi tahminini mimarlara nispeten daha çok etkilemiştir. Bir mimar 3. bölgede B-10 akslarının kesişimine yakın tahmin yapmış, diğer mimarların tamamı inşaat mühendislerine yakın tahminlerde bulunmuştur (Şekil 17.a ve b).

A4 binası laboratuvar kısıtları sebebi ile deneysel olarak test edilememiştir. Mimarların ve inşaat mühendislerinin tahminlerinin yapısal analiz sonuçları ile kıyaslandığı Şekil 17.c ve Çizelge 15 incelendiğinde M, İM tahminleri ile İ programından elde edilen sonuçların kat planı ortasına yakın olduğu fakat diğer program sonuçlarından çok uzak bir mesafeyi rijitlik merkezi olarak belirledikleri tespit edilmiştir. E, P ve S programları kuzey-doğuda (2. bölgede) yer alan perde grubunda rijitlik merkezinin bulunduğu belirtmişlerdir. E programı ile elde edilen sonuç referans alındığında S'nin hemen hemen aynı noktayı belirlediği, P programının E'ye yakın olduğu ve aradaki farkın x yönünde %4.3, y yönünde ise %2.5 olduğu görülmüştür. M, İM tahminleri ile İ sonucunun x yönünde maksimum %14, y yönünde ise maksimum %6.2 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 17. A4 binası için rijitlik merkezi tahminleri.

Çizelge 15. A4 binasının rijitlik merkezi konumları

	X_m, m	Y_m, m	$\Delta X, \%$	$\Delta Y, \%$
ETABS (E)	18.51	11.22	0.0	0.0
Sta4CAD (S)	18.45	11.29	0.1	0.2
İdeCAD (İ)	13.78	9.8	11.6	4.7
ProtaStructure (P)	20.26	11.97	4.3	2.5
Mimar (M)	12.78	9.35	14.0	6.2
İnşaat Mühendisi (İM)	13.77	10.01	11.6	4.0

4. Sonuçlar

Bina tasarımında en önemli aşamalardan biri mimari tasarım aşamasıdır. Mimari tasarımda yerleştirilen düşey taşıyıcı sistem elemanlarının burulmaya müsait bir biçimde yerleştirilmesi statik tasarımda gözden kaçırıldığında bina olası bir depremde önemli burulma momentlerine maruz kalarak taşıyıcı elemanların ilave kesme kuvvetleri ile zorlanmasına yol açmaktadır. Bu sebeple tasarıma başlamadan önce kütle ve rijitlik merkezlerinin gözlemsel olarak belirlenebilmesi, tasarım sırasında ve yapısal analiz aşamasında hesaplanan kütle ve rijitlik merkezlerinin iyi yorumlanması binanın deprem esnasında daha iyi performans göstermesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında öncelikle mimar ve inşaat mühendislerine dört adet betonarme bina kat planı verilerek kütle ve rijitlik merkezinin konumunu gözlemsel olarak belirlemeleri istenmiştir. Daha sonra bu binaların tamamı mevcutta sıklıkla kullanılan dört adet yapısal analiz programı ile 3 boyutlu olarak modellenmiş ve kütle ve rijitlik merkezleri belirlenmiştir. Son olarak 3 adet bina ölçekli olarak laboratuvar ortamında test edilmiş ve rijitlik merkezi deneysel olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler ve değerlendirmeler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Kütle merkezleri için mimar ve inşaat mühendislerinin tahminlerinin yapısal analiz programlarına çok yakın olduğu ve yapısal analiz programlarının da kendi içlerinde birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Tipik bir betonarme bina kütlelerinin büyük bir kısmını döşemeler oluşturduğundan kütle merkezi genel olarak kat planı merkezine yakın olmaktadır. Perde duvarların kütle üzerindeki etkinliği planda döşemeler kadar olmadığından kütle merkezi çok fazla perde duvar yerleşiminden çok az etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı mimar ve inşaat mühendisleri gözlemsel değerlendirmelerinde kat planı merkezine yakın noktaları kütle merkezi olarak tahmin etmekte ve hata oranlarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla gözlemsel olarak kütle merkezi konumunun tahmin edilebileceği belirlenmiştir.
- Rijitlik merkezinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarının yerleşiminden ve boyutlarından doğrudan etkilenmesi sebebi ile mimarların ve inşaat mühendislerinin ortalama tahminlerinin deneysel çalışmalar sonucu elde edilen rijitlik merkezi konumundan çok farklı olduğu görülmüştür. Tahminlerde kat planının global olarak ele alınmasının bu farklılıkta rol aldığı söylenebilir. Çünkü yapısal analiz programları rijitlik merkezini belirlerken binanın x ve y yönleri için ayrı ayrı hesap yapmakta ve her iki ekseninde ayrı ayrı simetrik yerleşim durumunda rijitlik merkezini kat planı ortasında hesaplayabilmektedir.
- Mimarların ve inşaat mühendislerinin ortalama tahminleri düşünüldüğünde genel olarak benzer tahminler yaptıkları, bazı mimar ve mühendislerin ortalamadan çok uzak mesafelerde rijitlik merkezini belirledikleri belirlenmiştir.
- Yapısal analiz programlarından ETABS, Sta4CAD ve ProtaStructure'ın birbirine benzer konumları rijitlik merkezi olarak belirlemesine karşın, İdeCAD programından elde edilen sonuçların farklı olduğu görülmüştür. İdeCAD, kolonların ve perde duvarların ilgili deprem doğrultusundaki kesme kuvvetlerinin bileşkesinin konumunu rijitlik merkezi olarak hesapladığını belirtmesine rağmen kesme kuvvetlerin dağılımının yeterli doğrulukta yapılamaması sebebi ile bileşke kuvvetin konumu da diğer programlardan farklı olduğu düşünülmektedir.
- Deneysel çalışma ile yapısal analiz programlarının birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlemlendiğinden özellikle asimetric taşıyıcı sistem elemanlarına sahip binaların ölçekli modelleri hazırlanarak rijitlik merkezinin bulunabileceği görülmüştür.

Teşekkür

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

Kaynakça

- Aksoy, E. (2023). *Binalarda rijitlik merkezinin deneysel olarak belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Aksoy, E., Korkut, F., & Erdil, B. (2022). Betonarme binalarda rijitlik merkezi problemi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 383-404. doi:10.55007/dufed.1183321
- Aktan, S., & Kırac, N. (2010). Betonarme binalarda perdelerin davranışa etkileri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 15-32.
- As, N., Dündar, T., Büyüksarı, U., & Akkılıç, H. (2009, April). *Effect of some production parameters on dynamic modulus of elasticity of medium density fiberboard*. COST E49 Processes and Performance of Wood-Based Panels, İstanbul, Turkey.
- Basu, D., & Jain, S. K. (2007). Alternative method to locate centre of rigidity in asymmetric buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36(7), 965-973. doi:10.1002/eqe.658
- Bosco, M., Marino, E. M., & Rossi P. P. (2013). An analytical method for the evaluation of the in-plan irregularity of non-regularly asymmetric buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11(5), 1423-1445. doi:10.1007/s10518-013-9438-3
- Cheung, V. W. T., & Tso, W. K. (1986). Eccentricity in irregular multistory buildings. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 13(1), 46-52. doi:10.1139/l86-007
- Doudoumis, I. N., & Doudoumis, N. I. (2017). Centres of rigidity in multi-storey asymmetric diaphragm systems for general lateral static loading. *Engineering Structures*, 150, 39-51. doi:10.1016/j.engstruct.2017.06.072
- Erdem, H. (2016). Burulma düzensizliğinin betonarme yapı davranışına etkileri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 459-468. doi:10.21605/cukurovaummfd.319360
- Erdil, B., & Gündüz, Y. (2021). Betonarme binalar için perde duvar etkinliğinin belirlenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 655-669. doi:10.17798/bitlisfen.898353
- ETABS. (2021). Computers and Structures Inc. v19.1.0. Berkeley, Kaliforniya.
- Georgoussis, G. K. (2010). Modal rigiditycenter: it's use for assessing elastic torsion in asymmetric buildings. *Earthquakes and Structures*, 1(2), 163-175. doi:10.12989/eas.2010.1.2.163
- Goel, R. K., & Chopra, A. K. (1993). Seismic code analysis of buildings without locating centers of rigidity. *Journal of Structural Engineering*, 119(10), 3039-3055. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:10(3039)
- Hejal, R., & Chopra, A. K. (1987). Earth quake response of torsionally-coupled buildings (Report No. UCB/EERC-87/20). Berkeley, CA, USA: University of California. <https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/NSF/PB90208638.pdf>
- İdeCAD. (2020). İde Yapı 10.20. Bursa, Türkiye.
- İdemen, A. E. (2003). *Bina ağırlık merkezi - rijitlik merkezi ilişkisini mimari tasarım aşamasında kuran bir uzman sistem*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kınık, K. E. (2019). *Betonarme binaların taşıyıcı sistem seçiminde perde yerleşiminin davranışa etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Ko, D. W., & Lee, H. S. (2006). Shaking table tests on a high-rise RC building model having torsional eccentricity in soft lower storeys. *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 35(11), 1425-1451. doi:10.1002/eqe.590
- Mirbolouk, P., & Roohnia, M. (2015). Evaluation of dynamic modulus of elasticity of medium density fiberboard panel from longitudinal vibration tests on specimens. *BioResources*, 10(1), 613-621. doi:10.15376/biores.10.1.613-621

- Newaz, G., Mayeed, M., & Rasul, A. (2016). Characterization of balsa wood mechanical properties required for continuum damage mechanics analysis. *Journal of Materials: Design and Applications*, 230(1), 206-218. doi:10.1177/1464420714564711
- ProtaStructure. (2021). Prota Yazılım 5.1.290. Ankara, Türkiye.
- Sezer, E. (2006). *Yapı sistemlerinde burulma düzensizliğini etkileyen parametrelerin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye.
- Sta4CAD. (2019). Sta Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şt. v14.1. İstanbul, Türkiye.
- Stathi, C. G., Bakas, N. P., Lagaros, N., & Papadrakakis, M. (2015). Ratio of Torsion (ROT): An index for assessing the global induced torsion in plan irregular buildings. *Earthquakes and Structures*, 9(1), 145-171. doi:10.12989/eas.2015.9.1.145
- TBDY. (2018). Türkiye bina deprem yönetmeliği: Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar. *Resmi Gazete (Sayı: 30364 (Mükerrer))*. Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>
- TS498. (2021). *Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri*. Ankara, Türkiye: Türk Standartları Enstitüsü.
- Wu, C., Vahedi, N., Vassilopoulos, A. P., & Keller, T. (2020). Mechanical properties of a balsa wood veneer structural sandwich core material. *Construction and Building Materials*, 265, 120193. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120193
- Yener Demirci, H. (2016). *Asimetrik betonarme yapıların deprem davranışı*. (Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.