



# Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi: 02.12.2025  
Kabul Tarihi: 18.02.2026

Received Date : 02.12.2025  
Accepted Date : 18.02.2026

## BETONARME BİNALARDA ZEMİN KAT RİJİTLİĞİ VE DOLGU DUVARLARIN YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİNE ETKİSİ

### EFFECT OF GROUND FLOOR STIFFNESS AND INFILL WALLS ON SOFT- STORY IRREGULARITIES IN REINFORCED CONCRETE BUILDING

Tülin Çelik<sup>1</sup> \* (ORCID: 0000-0001-8638-9579)  
Selim Pul<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0002-7589-2248)

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye  
<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Tülin ÇELİK, tulinsandikci@aksaray.edu.tr

#### ÖZET

Bu çalışma, betonarme yapılarda sıkça gözlenen ve deprem güvenliğini doğrudan etkileyen yumuşak kat düzensizliğinin yapısal davranış üzerindeki etkilerini incelemektedir. Yumuşak kat, komşu katlar arasındaki rijitlik oranındaki belirgin azalma olarak tanımlanmakta ve özellikle zemin katlarda yüksek tavan ve dolgu duvar eksikliği nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Çalışmada, betonarme perdeli ve perdesiz, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olmak üzere 3, 6 ve 12 katlı toplam 54 yapı modeli oluşturulmuş; zemin kat yükseklikleri 3,0 m, 4,0 m ve 5,0 m olarak parametrik biçimde değiştirilmiştir. Modellerin doğrusal dinamik analizleri SAP2000, yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve dolgu duvar varlığı ile zemin kat yüksekliğinin yumuşak kat oluşumu ve kat ötelemeleri üzerindeki etkileri farklı senaryolar kapsamında değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, yumuşak kat oluşumunun en olumsuz biçimde dolgu duvarsız ve yüksek zemin kata sahip yapılarda ortaya çıktığı görülmüş; bu nedenle tasarım aşamasında zemin kat rijitliğinin korunması ve dolgu duvarların taşıyıcı sisteme etkin şekilde dahil edilmesi, betonarme yapıların deprem güvenliği açısından kritik öneme sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme yapı, deprem yönetmeliği, yumuşak kat düzensizliği, depreme dayanıklı yapı tasarımı

#### ABSTRACT

This study investigates the effects of soft-story irregularities, which are frequently observed in reinforced concrete (RC) buildings and directly affect seismic performance, on structural behavior. A soft story is defined as a significant reduction in inter-story stiffness and typically occurs at ground floors with high ceilings and absent infill walls. In this study, a total of 54 RC frame models, including both shear-wall and wall-less configurations with and without infill walls, were parametrically generated with 3, 6, and 12 stories. Ground floor heights were varied parametrically at 3.0 m, 4.0 m, and 5.0 m. Linear dynamic analyses were performed using SAP2000 (v15.0.1), and the effects of infill wall presence and ground floor height on soft-story formation and story displacements were evaluated under different scenarios. The results indicate that soft-story formation occurs most adversely in buildings with a bare and elevated ground floor. Consequently, maintaining ground floor stiffness and effectively integrating infill walls into the structural system during the design stage is of critical importance for the seismic safety of reinforced concrete structures.

**Keywords:** Reinforced concrete structures, seismic code, soft-story irregularity, earthquake-resistant design

## GİRİŞ

Türkiye, dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birinde yer almakta olup, tarih boyunca yaşanan yıkıcı sarsıntılar ciddi can ve yapı kayıplarına yol açmıştır. Son 25 yılda gerçekleşen büyük depremler, özellikle betonarme yapıların zemin kat rijitliği ve yumuşak kat düzensizliklerinin önemini ortaya koymaktadır. 17 Ağustos 1999 İzmit depremi (Mw 7.4) yaklaşık 17.200 kişinin yaşamını yitirmesine, 44.000 kişinin yaralanmasına ve 77.300 binanın yıkılmasına, 244.500 binanın ise hasar görmesine neden olmuştur (Sezen vd., 2003). 12 Kasım 1999 Düzce depremi (Mw 7.2) sonucunda 710 kişi hayatını kaybetmiş, 2.679 kişi yaralanmış ve yaklaşık 16.666 konut ile 3.857 işyeri ağır hasar görmüş veya tamamen yıkılmıştır (MTA, 1999). 2011 Van depremleri, 23 Ekim’de Mw 7.2 ve 9 Kasım’da Mw 5.6 büyüklüğünde meydana gelmiş, 644 kişi yaşamını yitirmiş ve 2.307 bina ağır hasar görmüş veya yıkılmıştır (Güney, 2012). 30 Ekim 2020’de gerçekleşen Seferihisar (İzmir) depremi, Mw 6.6 büyüklüğünde olmuş; 117 kişi hayatını kaybetmiş, 1.034 kişi yaralanmış ve 124 yapı ağır hasar görmüş veya tamamen yıkılmıştır (Özmen ve Varol, 2024). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi ise Mw 7.8 büyüklüğünde meydana gelmiş; yaklaşık 50.783 kişi yaşamını yitirmiş, 120.000 bina yıkılmış ve 142.506 bina ağır hasar görmüştür (Altıntop, 2023). Bu durum, deprem güvenliğini sağlamak amacıyla yapıların taşıyıcı sistemlerinin düzenli ve dengeli olmasının önemini ortaya koymaktadır. Taşıyıcı sistemi düzenli yapılar, analiz ve boyutlandırma süreçlerinde hem daha güvenilir hem de ekonomik çözümler sunmaktadır. Depreme dayanıklı tasarımda, yapısal düzensizlikler kritik bir parametre olarak değerlendirilmekte ve düzensiz yapıların tasarımından kaçınılması önerilmektedir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TDBY, 2018), tanımlanan yapısal düzensizliklerden biri olan “Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği” (yumuşak kat), betonarme yapılarda sıkça rastlanan ve deprem hasarlarının başlıca nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu düzensizlik, komşu katlar arasındaki rijitlik farkının belirgin şekilde azalması ile karakterize edilir ve özellikle zemin katlarda, ticari veya hizmet amaçlı kullanım (otopark, mağaza, geniş açıklıklı alanlar) nedeniyle ortaya çıkar. Zemin katlarda üst katlara kıyasla daha yüksek tavan yüksekliği tercih edilmekte ve iç mekan görünürlüğünü artırmak için taşıyıcı olmayan duvarlar yerine cam veya hafif malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca geniş açıklık gereksinimi nedeniyle iç bölme duvar sayısı azaltılmakta, kolon ve kiriş sistemlerinin yük taşıma kapasitesi sınırlanmaktadır. Zemin kattaki ve üst kattaki iç ve dış duvar düzenlemelerindeki farklılıklar ile zemin kat kolonlarının üst katlardan daha uzun olması, komşu katlar arasında belirgin rijitlik farkı oluşturarak yumuşak kat davranışının ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu durum, deprem yükleri altında zemin katta büyük yatay ötelemelere ve kesme kuvveti yoğunlaşmasına neden olarak yapının genel deprem performansını olumsuz yönde etkiler (Sandıkçı, 2014).

Yumuşak kat düzensizliği, betonarme yapılarda komşu katlar arasındaki rijitlik farkının belirgin biçimde azalmasıyla karakterize edilen kritik bir yapısal düzensizliktir. Deprem yönetmeliklerinde, herhangi bir i’inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama kat ötelemesine oranı olan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı ( $\eta_{ki}$ ) 2,0’yi aştığında bu durum oluşmuş sayılmaktadır. Hesaplamalarda  $\pm\%5$  ek dış merkezlilik etkileri de dikkate alınmaktadır (TBDY, 2018). Bu düzensizlik özellikle ticari veya hizmet amaçlı tasarlanmış zemin katlarda görülmektedir. Bu katlarda yüksek tavanlı, geniş açıklıklı ve camlı mekânlar oluşturulabilmesi için taşıyıcı olmayan duvarlar azaltılmakta veya tamamen kaldırılmaktadır. Zemin katın üzerinde yer alan dolgu duvarlar taşıyıcı sistemle bütünleşik olarak çalışıyorsa, alt kattaki dolgunsuz kolonlar ile üst kat arasındaki görelî ötelemeler artmakta ve yumuşak kat davranışı gözlemlenmektedir. Bu etkiyi azaltmak için, dolgu duvar ve çerçeve elemanları arasına ezilebilir yumuşak malzeme yerleştirilerek yük paylaşımı sağlanabilir.

Zemin kat ile üst katlar arasındaki rijitlik farkı, alt kattaki kolonlarda yüksek kesit tesirleri ve gerilmeler oluşturmakta, yanıl deplasmanlar arttığında plastik mafsallaşma riski ortaya çıkmaktadır. Ancak depreme dayanıklı yapı tasarımında kolonlarda oluşabilecek plastik mafsalların minimumda tutulması hedeflenmektedir. Ani rijitlik değişimleri, zemin kat kolonlarının üst noktalarında ölçülebilir elastik olmayan deformasyonlara ve ikinci mertebeye etkilerine yol açarak önemli hasar riskleri oluşturmaktadır. Depremlerde, bu tip yumuşak kat davranışları sıkça gözlenmiş olup, tipik bir örnek Şekil 1’de sunulmaktadır.



**Şekil 1.** 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depreminde Yumuşak Kat Düzensizliği İle Hasar Gören Yapılar, a. (Ozturk vd., 2023), b. (Avcil vd., 2024), c. (Atar vd., 2024)

Yumuşak kat düzensizlikleri, deprem hasarlarının başlıca nedenlerinden biri olarak bilinmekte ve yapısal performansı önemli ölçüde düşürmektedir. Bu nedenle, araştırmacılar hem zemin kat yüksekliğinin hem de dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkilerini farklı yöntemlerle incelemişlerdir.

Erken dönem çalışmalarda, yeterli rijitlik sağlanmamasının yumuşak kat düzensizliğinin temel nedeni olduğu vurgulanmıştır. Doğangün ve Livaoğlu (2002), farklı kat sayısına sahip çerçeve ve perde-çerçeve sistemleri inceleyerek, uygun konumlandırılmış perdelerin yumuşak kat oluşumunu engellediğini göstermiştir. Benzer şekilde, İrtəm ve ark. (2005), TDY'ye göre tasarlanan ve yumuşak kat düzensizliği bulunan binaların doğrusal olmayan analizlerinde, bu düzensizliğin yapı performansını ciddi biçimde düşürdüğünü ve hedef performans seviyelerinin sağlanmadığını ortaya koymuştur.

Birçok çalışmada zemin kat yüksekliğinin artışı, yumuşak kat düzensizliğini tetikleyen temel parametrelerden biri olarak ele alınmıştır. Işık (2006), zemin kat yüksekliğinin artırılmasıyla yumuşak kat riskinin yükseldiğini ve dolgu duvarların düzensiz kullanımının yatay yükler altındaki davranışı olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Korkmaz ve Uçar (2006) ile Altuntop (2007), yüksek zemin katlı ve dolgu duvar eksikliği bulunan yapılarda göreceli kat ötelemelerinin ve plastik hasarların arttığını göstermiştir. Daha güncel bir çalışmada Çakıl vd. (2023), zemin kat yüksekliği 3–5 m arasında değişen betonarme yapılarda yaptıkları doğrusal olmayan itme analizleri sonucunda, zemin kat yüksekliği arttıkça periyotların uzadığını, yatay deplasmanların ve zemin kat kolon hasarlarının arttığını belirlemiştir.

Dolgu duvarların yapı davranışı üzerindeki etkisi, literatürde rijitlik artışı ve yumuşak kat oluşumu açısından kritik bir unsur olarak ele alınmaktadır. Korkmaz vd. (2005), dolgu duvarların bulunduğu ve bulunmadığı durumları karşılaştırarak, alt katta dolgu duvar eksikliğinin rijitlik kaybına ve plastik dönmelerin artmasına yol açtığını göstermiştir. Sivri vd. (2006), dolgu duvarları eşdeğer diyagonal elemanlarla modellemiş ve bu duvarların yapının periyodunu ve deprem davranışını önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya koymuştur. Özmen vd. (2007) ise dolgu duvarların modele dahil edilmesinin genel dayanımı artırmasına rağmen, deplasman kapasitesini azalttığını belirtmiştir.

Bazı çalışmalarda, yönetmelik yaklaşımlarının yetersizliği de vurgulanmıştır. Tezcan vd. (2007), farklı ülkelerdeki deprem hasarlarını inceleyerek TDY-2007'deki yumuşak ve zayıf kat kriterlerinin yetersiz olduğunu ifade etmiş; dolgu duvarların rijitlik hesaplarına mutlaka dahil edilmesi gerektiğini önermiştir. Korkmaz vd. (2010) ve Karasu vd. (2011) de dolgu duvarların yapı kapasitesini belirgin şekilde artırdığını, özellikle alt katta dolgu duvar bulunmamasının deprem performansını olumsuz etkilediğini göstermiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, gerçek deprem verileri ve gelişmiş doğrusal olmayan analizler üzerinden konuyu ele almıştır. Usta vd. (2023), İzmir depreminde hasar gören binaların büyük çoğunluğunda zemin katta dolgu duvar bulunmadığını ortaya koymuş; dolgu duvarların periyot, taban kesme kuvveti ve kat ötelemelerini iyileştirdiğini göstermiştir. Onat ve Evci (2024), farklı dolgu duvar türlerini karşılaştırarak dolgu malzemesinin rijitlik ve sismik davranış üzerinde belirleyici olduğunu belirtmiştir. Yılmaz ve Öncü (2025), zemin katta dolgu duvar eksikliği ve kat yüksekliği artışının, katlar arası ötelemeleri artırarak yapı kırılmasını önemli ölçüde yükselttiğini ortaya koymuştur.

Ulutaş (2024), çok sayıda model bina üzerinde yaptığı kapsamlı çalışmada, zemin kat dolgu duvar eksikliği veya sadece bir yönde dolgu duvar bulunmasının yumuşak ve zayıf kat oluşum riskini ciddi biçimde artırdığını göstermiştir. Garip ve Dibekoğlu (2023) ise dolgu duvarların eşdeğer basınç çubukları ile modellenmesinin, yapı davranışını daha gerçekçi temsil ettiğini; bu modellemede periyot ve tepe noktası yer değiştirmelerinin azaldığını, taban kesme kuvvetlerinin ise arttığını ortaya koymuştur.

Genel olarak literatür, zemin kat yüksekliği artışı ile dolgu duvarların düzensiz veya eksik kullanımının yumuşak kat düzensizliğini doğrudan tetiklediğini ve dolgu duvarların yapı modellerine uygun şekilde dahil edilmemesinin deprem davranışının yanlış değerlendirilmesine yol açtığını açıkça göstermektedir.

### ***Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri***

Betonarme yapılarda dolgu duvarlar genellikle taşıyıcı sistem olarak değerlendirilmez; esas olarak iç ve dış mekanların bölünmesinde kullanılır. Bununla birlikte, literatürde yapılan çalışmalar, dolgu duvarların yapı davranışı üzerinde önemli etkilerinin olduğunu göstermektedir. Ersoy ve Tankut (1992) çalışmalarında, dolgu duvarların rijitlik katsayısının kütle katsayısına oranla oldukça baskın olduğunu ortaya koymuşlardır. Dolgu duvarlı ve duvarsız çerçeveler üzerinde yapılan yatay yük deneylerinde ise, dolgu duvarlı çerçevelerin dayanımlarının duvarsız çerçevelere göre en az iki kat daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Bayülke, 2003).

Betonarme çerçeveler içindeki tuğla dolgu duvarlar, yapının ötelenmelerini kısmen perde duvarlar gibi kısıtlamaktadır. Ancak bu etki, yalnızca depremin başlangıç aşamasında veya hafif şiddetli depremlerde tam olarak geçerlidir. Hasar görmeden önce perde duvar davranışı gösterebilen dolgu duvarlar, plan üzerinde simetrik yerleştirilmiş veya bazı bölgelerde yoğunlaşmışlarsa yapıda burulma etkilerine yol açabilir (Bayülke, 2001).

Deneysel çalışmalar dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altında basit çerçevelere kıyasla daha rijit olduğunu göstermektedir. Örneğin, Negro ve Verzelletti (1996) dolgu duvarlı çerçevelerde maksimum deplasmanın basit çerçevelere göre yaklaşık 2,6 kat daha az olduğunu raporlamıştır. Ancak süneklik açısından basit çerçeveler dolgu duvarlı çerçevelere göre daha üstün davranış göstermektedir; Govindan ve arkadaşları (1986) basit çerçevelerin sünekliklerinin dolgu duvarlı çerçevelere göre yaklaşık 3,29 kat daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Buna karşın dolgu duvarlı çerçeveler, yatay yükler altında daha yüksek dayanım ve sönüm kapasitesi sergilemektedir; ilgili deneylerde sönüm kapasitesindeki artışın da yaklaşık 3,29 kat olduğu gözlenmiştir (Govindan vd., 1986).

Dolgu duvarlar, taşıyıcı sistem davranışını rijitlik, yük taşıma kapasitesi, süneklik ve enerji sönümlenme kapasitesi üzerinden etkilemektedir. Ayrıca dolgu duvarlar, yapının serbest titreşim özelliklerini de değiştirmektedir; bir yandan yapı kütesini artırırken, diğer yandan doğal periyotlarını küçültmektedir. Deprem etkisi altında yapı, başlangıçta çerçeve ve dolgu duvarların birlikte oluşturduğu yatay rijitlik ve toplam kütle ile yükleri karşılamaktadır. Ancak depremin ilerleyen aşamalarında gevrek olan dolgu duvarlar çatlayarak devreden çıkabilir; bu durumda yatay yükler esas olarak çıplak çerçeve tarafından taşınmaya devam ederken, dolgu duvarların etkisi yalnızca kütle katkısıyla sınırlı kalır (Ersin, 1997). Sonuç olarak, dolgu duvarlar özellikle hafif depremlerde veya depremin başlangıç aşamasında, çerçeve ile birlikte hareket ederek yapıya önemli rijitlik kazandırmaktadır. Ancak duvarlar yük taşıyamaz hale geldiğinde, sistem duvarsız çerçeve davranışına yaklaşmaktadır. Yönetmeliklerin bina hesaplarında tuğla, beton veya briket gibi malzemelerden yapılan bölme duvarlarının yük taşımadığı kabul edilmektedir; fakat düşey yükler altında bu duvarların önemli rijitlik ve yatay kuvvet taşıma kapasiteleri bulunduğu deneysel olarak doğrulanmıştır.

Literatürde yumuşak kat düzensizliği; zemin kat yüksekliği, dolgu duvar varlığı ve taşıyıcı sistem türü gibi parametreler açısından ayrı ayrı ele alınmıştır. Ancak bu parametrelerin birlikte ve karşılaştırmalı olarak, farklı kat sayıları ile perdeli ve perdesiz betonarme sistemler için sistematik biçimde incelendiği çalışmalar sınırlıdır. Özellikle dolgu duvarların yapısal rijitliğe katkısının göz ardı edilmesi, yumuşak kat oluşumunun gerçekçi biçimde değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı kat sayılarına sahip betonarme binalarda zemin kat yüksekliği ve dolgu duvar varlığının yumuşak kat düzensizliği ve kat ötelemeleri üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak inceleyerek, literatürdeki bu boşluğu doldurmak ve tasarım aşamasına yönelik daha gerçekçi değerlendirmeler sunmaktır.

### **BETONARME YAPI MODELİNİN ÖZELLİKLERİ**

Bu çalışmada, betonarme çerçeve sistemine sahip bir yapı modeli üzerinde, kat adedi, zemin kat yüksekliği, betonarme perde ve dolgu duvar kullanımı gibi parametrelerin, yumuşak kat üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tüm

analizler, SAP2000 (v15.0.1) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, planda bir doğrultuda altı ve diğer doğrultuda üç açıklığa sahip bir yapı modeli seçilmiştir. Üst katların yüksekliği tüm modellerde 3,0 m olarak alınırken, zemin kat yüksekliği değiştirilmiş ( $h_z = 3,0$  m,  $h_z = 4,0$  m,  $h_z = 5,0$  m) ve “komşu katlar arası rijitlik düzensizliği” oluşumunun etkileri incelenmiştir. Ayrıca, kat adedinin artmasıyla (3, 6 ve 12 katlı binalar) yumuşak kat davranışının değişimi araştırılmıştır. Dolgu duvarlar, modelin tüm iç ve dış çerçevelerinde kullanılmış ve yapının rijitlik dağılımının her iki doğrultuda simetrik olması sağlanmıştır.

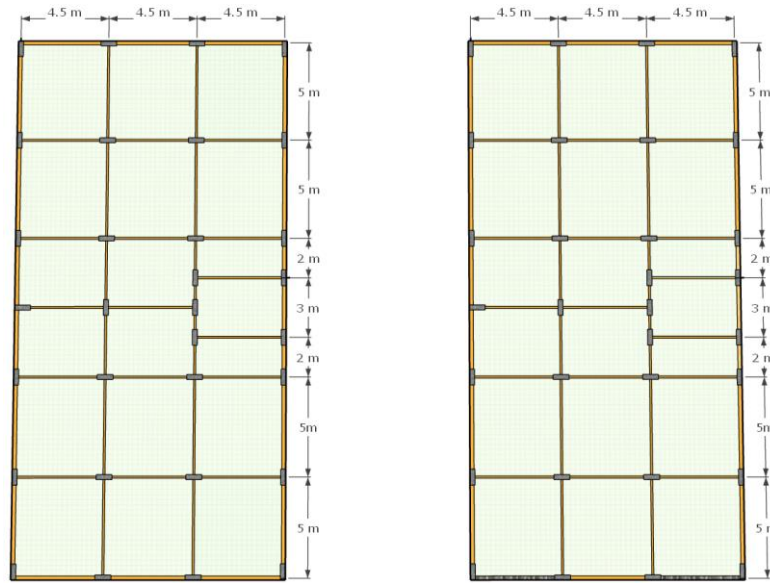
Yapı modeli, ZC yerel zemin sınıfı üzerinde, temelde tam ankastre bağlantı varsayımıyla oluşturulmuştur. Deprem analizlerinde, yapının dinamik tepkilerini belirlemek amacıyla modal analiz yöntemi kullanılmış ve modların katkıları birleştirilerek yapının davranışı değerlendirilmiştir. Kat sayısına bağlı olarak seçilen mod sayıları, 3 katlı yapılar için 9, 6 katlı yapılar için 18 ve 12 katlı yapılar için 36 olarak belirlenmiştir.

Seçilen çerçeve sisteminde kolon kesitleri  $25 \times 80$  cm, kiriş kesitleri  $25 \times 50$  cm olarak belirlenmiş (Doğangün, 2007) ve kirişlere kendi ağırlıkları ile sıva ve kaplama yükleri eklenmiştir bu yükler TS 498’den alınmıştır. Döşemeler 15 cm kalınlığında olup, öz ağırlık ve kaplama yükleri hesaba katılmış ve yatay doğrultuda rijit diyafram olarak modellenmiştir.

Çalışmada C20 beton sınıfı, Türkiye’de mevcut alçak ve orta katlı yapı stokunu temsil etmesi amacıyla seçilmiştir. Bu seçim, yumuşak kat düzensizliğinin gerçek yapı davranışına etkilerini daha doğru yansıtmaktadır. Yapıda elastisite modülü  $2,85 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>, Poisson oranı 0,25 olarak kabul edilmiştir.

Dolgu duvarlar, iç duvarlarda 10 cm, dış duvarlarda 20 cm kalınlıkta olup, Elastisite modülü  $1,0 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup> ve Poisson oranı 0,20 olarak alınmıştır; toplam sıva kalınlığı 4 cm olarak dikkate alınmıştır. Dolgu duvarlar, SAP2000 ortamında taşıyıcı sistem elemanları (kiriş–kolon çerçevesi ve perdeler) ile uyumlu olacak şekilde üç boyutlu olarak kabuk (shell) elemanlar kullanılarak modellenmiştir (Baran vd., 2022; Kılıç. vd., 2020; Fındık, 2024). Bu modelleme sayesinde, duvarların yatay rijitlik, kat ötelemesi ve global dinamik davranış üzerindeki etkileri analize doğrudan dahil edilmiştir.

Yapının deprem davranışını incelemek amacıyla modal analiz yöntemi kullanılmıştır. Analizlerde, her katta 2 yatay ve 1 dönme serbestlik derecesi olacak şekilde modlar dikkate alınmış; toplam mod sayısı kat sayısı ve serbestlik derecelerine bağlı olarak belirlenmiştir. Analizler sonucunda, 3 katlı yapıda 9 mod, 6 katlı yapıda 18 mod ve 12 katlı yapıda 36 mod ile %95 kütle katılım oranı sağlandığı görülmüştür. Bu sayede, seçilen mod sayılarının her doğrultuda toplam yapı kütlelerinin en az %95’ini kapsadığı doğrulanmıştır. Zemin sınıfı olarak ZC seçilmiş ve tasarım spektrumu kısa ve uzun periyot sınırları sırasıyla  $T_A = 0,15$  s ve  $T_B = 0,60$  s olarak alınmıştır. Aşağıda Tablo 1’de analiz edilen yapıların özellikleri gösterilmiştir ve Şekil 2’de yapıların betonarme perdesiz ve betonarme perdeli kat planı gösterilmiştir. Şekil 3’de yapıların üç boyutlu SAP2000 (v15.0.1) modeli görünüşü verilmiştir.



Betonarme Perdesiz

Betonarme Perdeli

Şekil 2. Yapıların Betonarme Perdesiz Ve Betonarme Perdeli Kat Planı

**Tablo 1.** Analizlerdeki Yapıların Özellikleri

Analiz no	Kat adedi	Zemin kat yüksekliği	Zemin katta duvar	Üst katlarda duvar	Yapıda perde duvarlar	Analiz no	Kat adedi	Zemin kat yüksekliği	Zemin katta duvar	Üst katlarda duvar	Yapıda perde duvarlar
1	3	3	Var	Var	Yok	28	6	4	Var	Var	Var
2	3	3	Yok	Var	Yok	29	6	4	Yok	Var	Var
3	3	3	Yok	Yok	Yok	30	6	4	Yok	Yok	Var
4	3	3	Var	Var	Var	31	6	5	Var	Var	Yok
5	3	3	Yok	Var	Var	32	6	5	Yok	Var	Yok
6	3	3	Yok	Yok	Var	33	6	5	Yok	Yok	Yok
7	3	4	Var	Var	Yok	34	6	5	Var	Var	Var
8	3	4	Yok	Var	Yok	35	6	5	Yok	Var	Var
9	3	4	Yok	Yok	Yok	36	6	5	Yok	Yok	Var
10	3	4	Var	Var	Var	37	12	3	Var	Var	Yok
11	3	4	Yok	Var	Var	38	12	3	Yok	Var	Yok
12	3	4	Yok	Yok	Var	39	12	3	Yok	Yok	Yok
13	3	5	Var	Var	Yok	40	12	3	Var	Var	Var
14	3	5	Yok	Var	Yok	41	12	3	Yok	Var	Var
15	3	5	Yok	Yok	Yok	42	12	3	Yok	Yok	Var
16	3	5	Var	Var	Var	43	12	4	Var	Var	Yok
17	3	5	Yok	Var	Var	44	12	4	Yok	Var	Yok
18	3	5	Yok	Yok	Var	45	12	4	Yok	Yok	Yok
19	6	3	Var	Var	Yok	46	12	4	Var	Var	Var
20	6	3	Yok	Var	Yok	47	12	4	Yok	Var	Var
21	6	3	Yok	Yok	Yok	48	12	4	Yok	Yok	Var
22	6	3	Var	Var	Var	49	12	5	Var	Var	Yok
23	6	3	Yok	Var	Var	50	12	5	Yok	Var	Yok
24	6	3	Yok	Yok	Var	51	12	5	Yok	Yok	Yok
25	6	4	Var	Var	Yok	52	12	5	Var	Var	Var
26	6	4	Yok	Var	Yok	53	12	5	Yok	Var	Var
27	6	4	Yok	Yok	Yok	54	12	5	Yok	Yok	Var

## BULGULAR VE İRDELEMELER

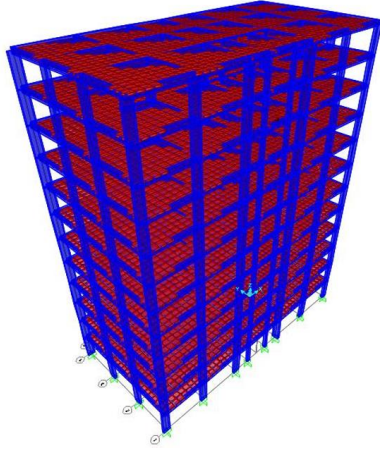
Bu çalışmada, SAP2000 (v15.0.1) programı kullanılarak toplam 54 farklı modelleme ve analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın kapsamı göz önünde bulundurularak, burada yalnızca bazı temsili modellerin 3 boyutlu ilk üç mod şekilleri sunulmaktadır. Şekil 3’de 12 katlı ve farklı parametrelerle tanımlanmış betonarme yapıların üç boyutlu SAP2000 modellemeleri gösterilmiştir.

Gerçekleştirilen tüm analizler sonucunda, ortalama görelî kat ötelemeleri ( $\Delta_i$ ) ve bu değerlere bağılı olarak hesaplanan komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) katsayıları ( $\eta_{ki}$ ) elde edilmiştir. Dinamik analizler sonucunda elde edilen bulgular ışığında, zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine bağılı değişimi incelenmiştir.

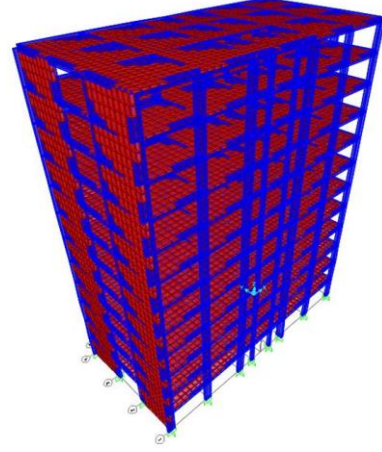
Betonarme perdesiz 3 katlı yapılar arasında yalnızca karkas (dolgu duvarsız) modellerde (Analiz No: 3, 9 ve 15) zemin katında yumuşak kat durumu gözlenmemiştir. Aynı modellerin perdeli versiyonlarında ise dolgu duvarlı modellerde zemin katında yumuşak kat oluşmamıştır.

6 ve 12 katlı betonarme perdeli ve perdesiz yapılarda, zemin katı dolgu duvarsız, üst katları dolgu duvarlı olan modellerin zemin katlarında yumuşak kat durumu meydana gelmiştir. Bu durum, zemin kattaki eksik duvarın, üst katlara kıyasla önemli ölçüde düşük rijitliğe sahip olduğunu göstermektedir. Sadece zemin kat yüksekliği üst katlarla aynı olduğunda ( $h_z = 3,0$  m), yönetmelik sınırı olan 2,0 değerine yaklaşılmakta; diğer yüksekliklerde katsayılar, zemin kat yüksekliği ile orantılı olarak artmaktadır.

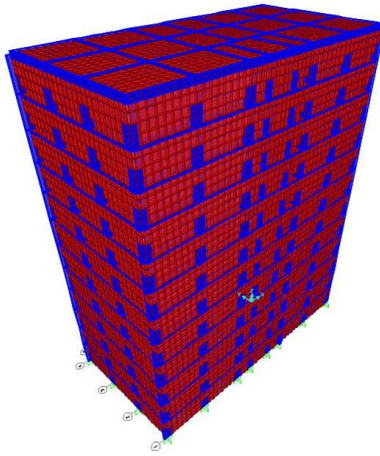
Kat bazında yumuşak kat düzensizliği değişimi incelendiğinde, 6 ve 12 katlı yapılarda yalnızca zemin katta dolgu duvar olmayan modellerde düzensizlik katsayısı ani bir düşüşle 2,0 değerinin altına inmekte, üst katlara doğru tekrar



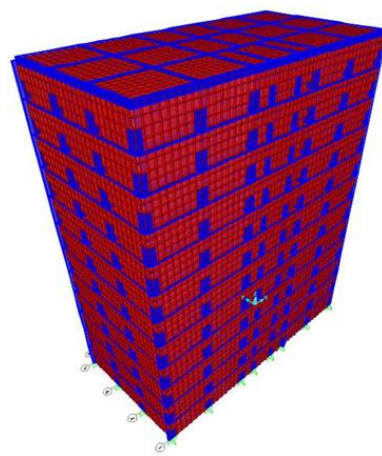
a. Betonarme Perdesiz - Dolgu Duvarsız (Karkas)



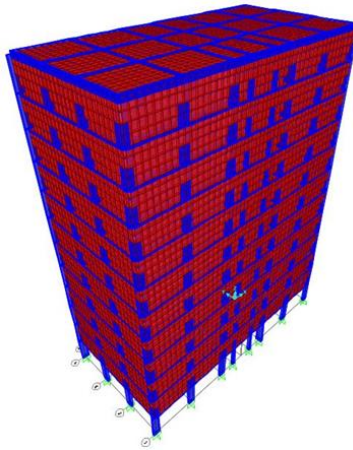
b. Betonarme Perdeli - Dolgu Duvarsız (Karkas)



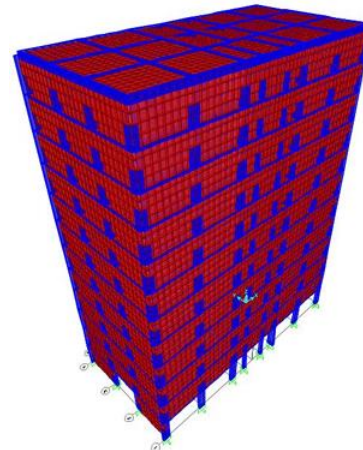
c. Betonarme Perdesiz - Dolgu Duvarlı



d. Betonarme Perdeli - Dolgu Duvarlı



e. Betonarme Perdesiz - Zemin Kat Dolgu Duvarsız  
(Üst Katlar Dolgu Duvarlı)

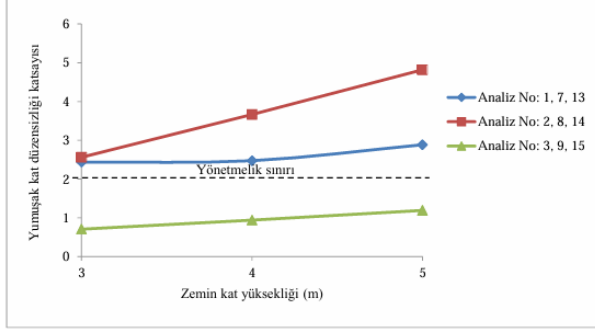


f. Betonarme Perdeli - Zemin Kat Dolgu Duvarsız  
(Üst Katlar Dolgu Duvarlı)

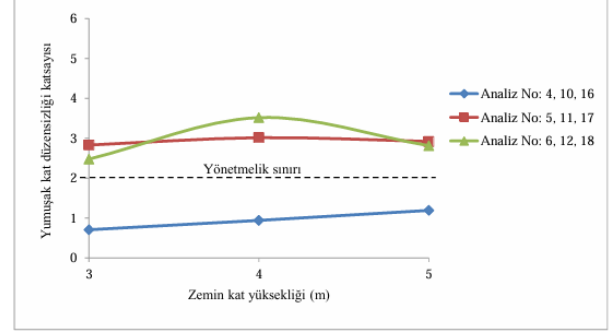
Şekil 3. Yapıların Üç Boyutlu SAP2000 (v15.0.1) Modeli Görünüşü

yükselme eğilimi göstermektedir. Bu bulgular, yumuşak kat oluşumu açısından en olumsuz durumun, dolgu duvarsız yüksek zemin katlı yapılarda ortaya çıktığını göstermektedir.

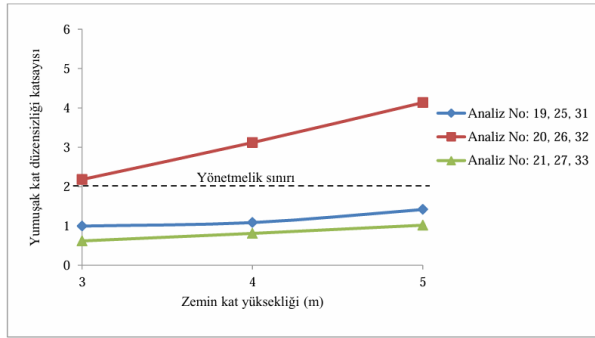
Şekil 4, betonarme perdeli ve perdesiz 3,6, 12 katlı yapıların yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliklerine oranını göstermektedir. Şekil 5, zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat sayısı ve zemin kat yüksekliği ile değişimini ortaya koyarken Şekil 6 yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimini sunmaktadır. Bu şekiller zemin kat yüksekliği, kat sayısı ve perde beton durumunun yumuşak kat düzensizliği üzerindeki etkilerini göstermektedir.



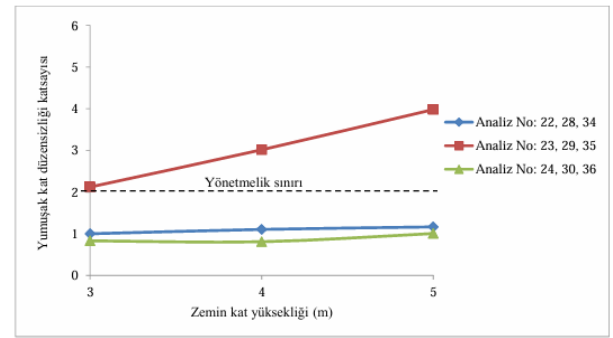
a. Betonarme Perdesiz 3 Katlı Yapılar



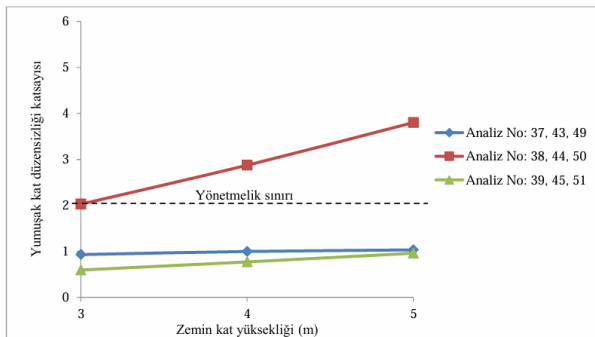
b. Betonarme Perdeli 3 Katlı Yapılar



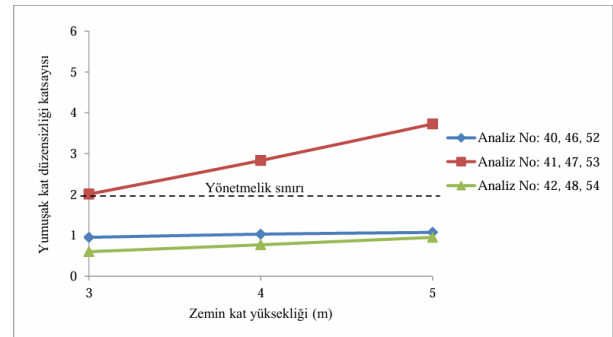
c. Betonarme Perdesiz 6 Katlı Yapılar



d. Betonarme Perdeli 6 Katlı Yapılar

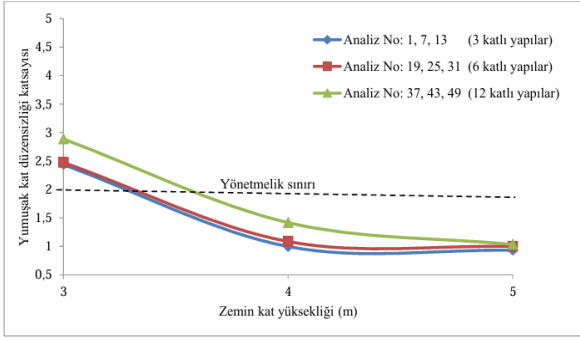


e. Betonarme Perdesiz 12 Katlı Yapılar

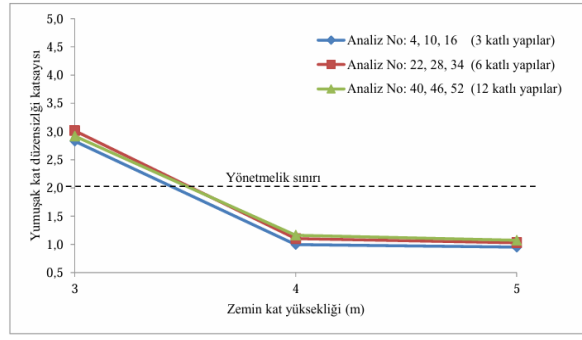


f. Betonarme Perdeli 12 Katlı Yapılar

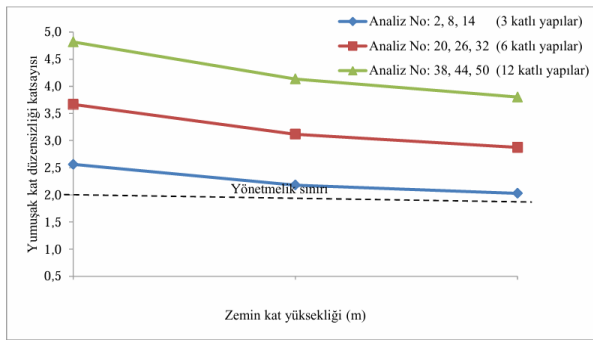
Şekil 4. Betonarme Perdeli Ve Perdesiz 3,6, 12 Katlı Yapıların Yumuşak Kat Düzensizliğinin Zemin Kat Yüksekliklerine Oranı



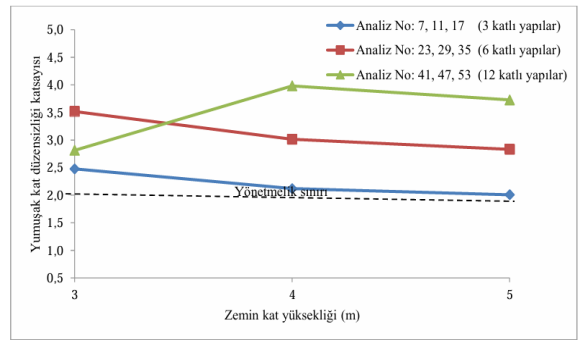
a. Betonarme Perdesiz, Tüm Katlar Dolgu Duvarlı Yapılar



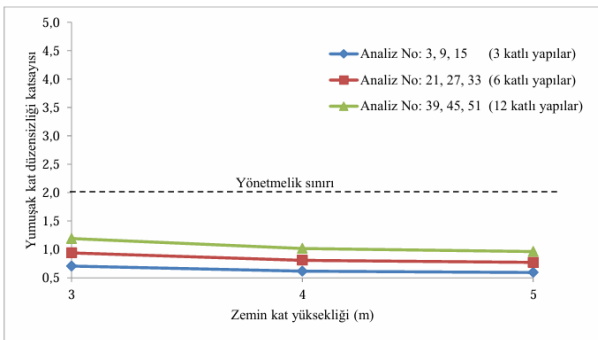
b. Betonarme Perdeli, Tüm Katlar Dolgu Duvarlı Yapılar



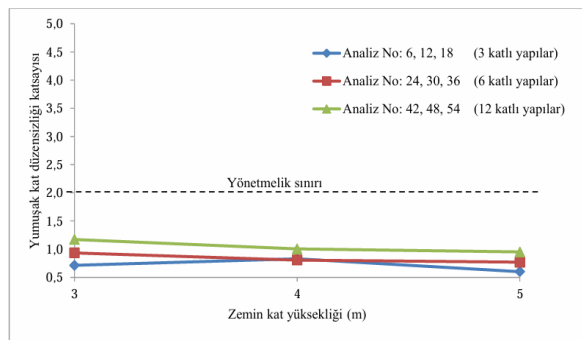
c. Betonarme Perdesiz, Zemin Katı Dolgu Duvarsız, Tüm Katlar Dolgu Duvarlı Yapılar



d. Betonarme Perdeli, Zemin Katı Dolgu Duvarsız, Tüm Katlar Dolgu Duvarlı Yapılar

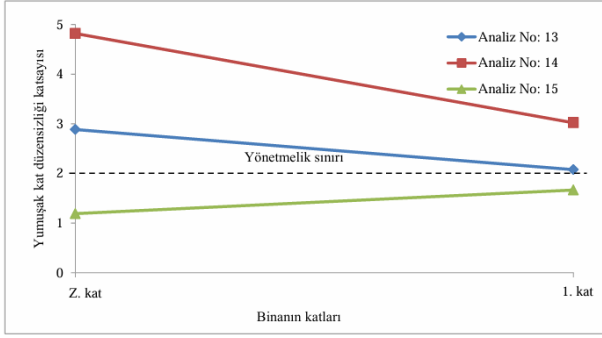


e. Betonarme Perdesiz Ve Dolgu Duvarsız Yapılar

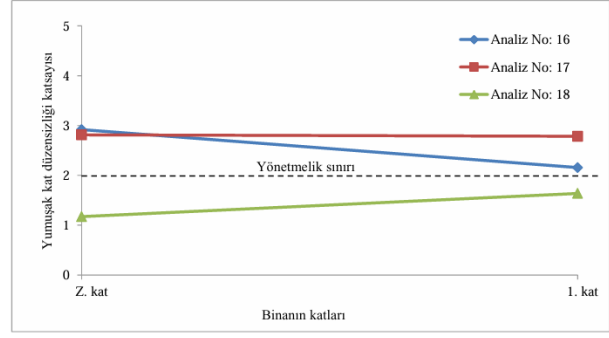


f. Betonarme Perdeli Ve Dolgu Duvarsız Yapılar

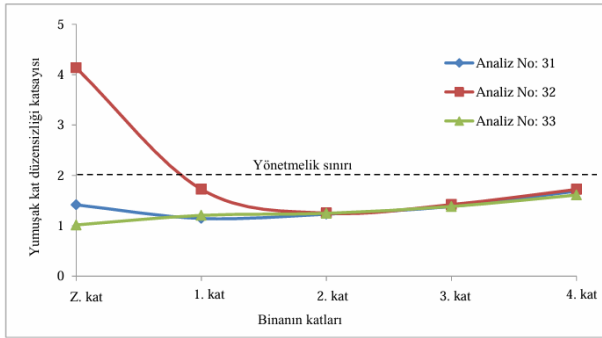
Şekil 5. Zemin Kattaki Yumuşak Kat Düzensizliğinin Binanın Kat Adedi Ve Zemin Kat Yüksekliği İle Değişimi



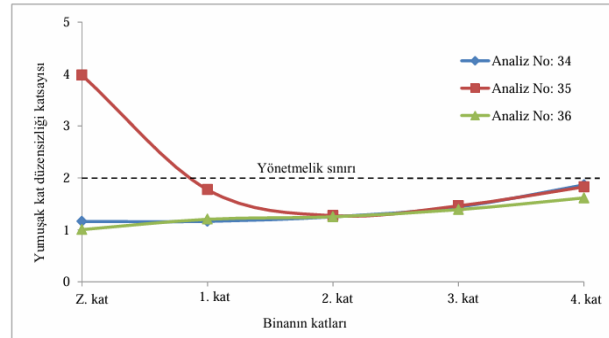
a. Betonarme Perdesiz 3 Katlı Yapılar (hz=5.0 m)



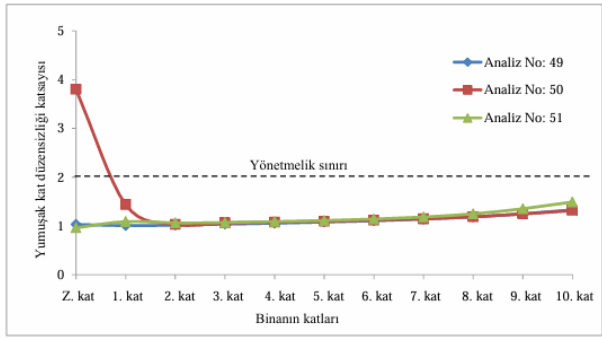
b. Betonarme Perdeli 3 Katlı Yapılar (hz=5.0 m)



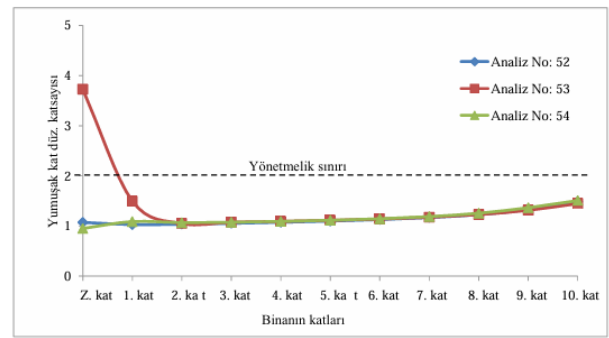
c. Betonarme Perdesiz 6 Katlı Yapılar (hz=5.0 m)



d. Betonarme Perdeli 6 Katlı Yapılar (hz=5.0 m)



e. Betonarme Perdesiz 12 Katlı Yapılar (hz=5.0 m)



f. Betonarme Perdeli 12 Katlı Yapılar (hz=5.0 m)

Şekil 6. Yumuşak Kat Düzensizliğinin Katlara Göre Değişimi

Gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda, zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine bağlı değişimi incelenmiştir.

- Üç katlı betonarme perdesiz yapılar arasında, yalnızca karkas (dolgu duvarsız) modellerde (Analiz No: 3, 9 ve 15) zemin kat seviyesinde yumuşak kat oluşumu gözlenmemiştir. Aynı modellerin perdeli tiplerinde ise (Analiz No: 6, 12 ve 18), dolgu duvarlı olanlarda zemin kat seviyesinde yumuşak kat düzensizliği meydana gelmemiştir.
- Zemin kat yüksekliği 5 m olan üç katlı betonarme dolgu duvarlı ve perdeli yapılarda (Analiz No: 13, 14, 16 ve 17), zemin kat ve birinci kat seviyesinde yumuşak kat düzensizliği ortaya çıkmamıştır. Bu bulgular, düşük katlı yapılarda dolgu duvar varlığının yumuşak kat oluşumunu doğrudan etkilediğini göstermektedir.

- Altı ve on iki katlı betonarme perdeli ve perdesiz yapılarda, yalnızca zemin katı dolgu duvarsız ve üst katları dolgu duvarlı modellerde zemin kat seviyesinde yumuşak kat oluşumu gözlenmiştir. Bu durum, zemin kattaki dolgu eksikliğinin, söz konusu katın üst katlara kıyasla önemli ölçüde daha düşük rijitliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Zemin kat yüksekliğinin üst katlarla eşit olduğu durumlarda ( $h_z = 3,0$  m) yumuşak kat katsayısı yönetmelik sınırı olan 2,0 değerine yaklaşmakta; daha yüksek zemin kat yüksekliklerinde ise katsayılar, zemin kat yüksekliği ile orantılı olarak artış göstermektedir.
- Yumuşak kat düzensizliğinin katlar boyunca değişimini gösteren eğriler incelendiğinde, zemin katı dolgu duvarsız modellerde düzensizlik katsayısının ani bir düşüşle 2,0 değerinin altına indiği ve üst katlara doğru yeniden artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu değerlendirmeler, yumuşak kat oluşumu açısından en olumsuz durumun, dolgu duvarsız ve yüksek zemin kata sahip yapılarda meydana geldiğini ortaya koymaktadır.

## SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, betonarme bina türlerinde komşu katlar arasındaki rijitlik düzensizliğinin (yumuşak kat) deprem davranışı üzerindeki etkileri, farklı parametre setleri kullanılarak kapsamlı biçimde incelenmiştir. Bu amaçla, SAP2000 (v15.0.1) yazılımında oluşturulan toplam 54 farklı yapı modeli için doğrusal dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Parametrik analiz kapsamında; bina toplam kat yükseklikleri (3, 6 ve 12 m), zemin kat yükseklikleri (3, 4 ve 5 m), dolgu duvarlı–duvarsız durumlar ile perdeli–perdesiz taşıyıcı sistem konfigürasyonları değişken olarak ele alınmış ve her bir kombinasyonun yapısal dinamik tepkiye etkisi detaylı olarak değerlendirilmiştir. Betonarme yapılarda komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) üzerinde yapılan parametrik analizlerine göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Üç katlı betonarme yapılarda, yalnızca karkas (dolgu duvarsız) modellerde, hem perdesiz hem de perdeli sistemlerde zemin kat seviyesinde yumuşak kat oluşumu gözlenmemiştir.
- Üç katlı betonarme yapı modellerinde ( $h_z = 5,0$  m), (Analiz No: 13 ve 14), zemin katta dolgu duvar bulunmayan modellerde yumuşak kat oranı 4,819 ile TBDY'deki sınır olan 2,0'in yaklaşık %140 üzerinde iken, zemin kat dolgu duvar eklendiğinde bu oran 2,885'e düşmekte ve sınırın üzerinde kalmaktadır. Yumuşak kat oranının yönetmelik sınırının üzerinde olması, bu katlarda deprem sırasında yüksek öteleme ve hasar riskinin arttığını göstermektedir.
- Analiz No: 13 ve 14'e göre, üç katlı betonarme yapılarda zemin katı dolgu duvarsız modellerde perde duvarın eklenmesi, yumuşak kat oranını yaklaşık %42 azaltmakta ve böylece yapısal performansı önemli ölçüde iyileştirmektedir. Bu bulgular, dolgu duvarların taşıyıcı sisteme etkin şekilde dahil edilmesinin, yumuşak kat riskini azaltmada kritik olduğunu göstermektedir.
- Altı ve on iki katlı betonarme perdeli ve perdesiz yapılarda, yalnızca zemin katı dolgu duvarsız ve üst katları dolgu duvarlı modellerde zemin kat seviyesinde yumuşak kat oluşumu gözlenmiştir. Zemin kat yüksekliği üst katlarla eşit olduğunda ( $h_z = 3,0$  m), yönetmelik sınırı olan 2,0 değerine yaklaşılmakta; daha yüksek zemin kat yüksekliklerinde ise katsayılar, zemin kat yüksekliği ile orantılı olarak artmaktadır.
- Zemin katı dolgu duvarsız 6 katlı (Analiz No: 32 ve 35) ve 12 katlı (Analiz No: 50 ve 53) betonarme yapılarda ( $h_z = 5,0$  m), perde duvar eklenmesi yumuşak kat oranını sırasıyla yaklaşık %3,7 ve %2 oranında azaltmakta, böylece yapısal performansa olumlu bir katkı sağlamaktadır. Bu sonuç, tasarım sırasında perde duvarın tek başına olmasa da yapısal performansa olumlu katkı sağladığını göstermektedir.
- Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimini gösteren eğriler incelendiğinde, altı ve on iki katlı yapılarda yalnızca zemin katı dolgu duvarsız olan modellerde zemin kat seviyesinde yumuşak kat düzensizliği ortaya çıkmaktadır. Bu düzensizlik katsayısı zemin katta ani bir düşüş göstererek 2,0 değerinin altına inerken, üst katlara doğru yeniden artış eğilimi göstermektedir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda, yumuşak kat oluşumu açısından en olumsuz durumun, dolgu duvarsız ve yüksek zemin kata sahip yapılarda meydana geldiği anlaşılmaktadır.
- Sonuç olarak; bu çalışmadan elde edilen bulgular, kolon-kiriş çerçeve tipindeki betonarme yapılarda komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği olarak tanımlanan yumuşak kat düzensizliğinin, katlardaki dolgu duvar varlığı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, söz konusu sonuçların yalnızca

çalışma kapsamındaki yapı tipleri ve modellemelere dayandığı, farklı plan geometrilerine sahip yapılarda yapılacak ilave analizlerin konuya önemli katkılar sağlayabileceği açıktır. Ayrıca, yapı analizlerinde dolgu duvarların yalnızca yük olarak değil, taşıyıcı eleman olarak modele dahil edilmesi, mevcut yumuşak kat düzensizliğinin göz ardı edilmesinin önüne geçilmesini sağlayacaktır.

### **Yapay Zeka Katkı Beyanı**

Bu makale tamamen herhangi bir yapay zeka aracının yardımı olmadan yazılmış, düzenlenmiş, analiz edilmiş ve hazırlanmıştır. Metin, veri analizi ve şekiller dahil tüm içeriğin yalnızca yazarlar tarafından oluşturulduğunu beyan ederim.

### **KAYNAKLAR**

- AFAD (2023). 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Hasar Raporu. <https://www.afad.gov.tr>
- Altıntop, M. A. (2007). Yumuşak kat düzensizliğine sahip binaların analizi (Yüksek Lisans Tezi). Atılım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Atar, M., et al. (2024). Investigation of the damage conditions of reinforced concrete buildings and steel structures in Malatya Province following the February 6, 2023 Kahramanmaraş, Turkey earthquake. *Deprem Araştırma Dergisi*, 6(1), 60–80. <https://doi.org/10.46464/tdad.1394039>
- Avcil, F., Işık, E., İzol, R., Büyüksaraç, A., Arkan, E., Arslan, M. H., ... & Harirchian, E. (2024). Effects of the February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquake on structures in Kahramanmaraş city. *Natural Hazards*, 120(3), 2953–2991. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06314-1>
- Baran, B., Bozdoğan, K. B., & Atabey, İ. İ. (2022). Farklı duvar malzemelerine sahip yığma bir binanın 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(3), 1066–1075. <https://doi.org/10.21923/jesd.989947>
- Bayülke, N. (2001). Depreme dayanıklı betonarme ve yığma yapı tasarımı. İzmir: İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi.
- Bayülke, N. (2003). Betonarme yapının dolgu duvarı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 426, 4, 85–98.
- Computers and Structures, Inc. (2018). SAP2000 v15.01 programı. Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, ABD.
- Çakıl, B., İnce, O., Osmanlı, Ö. F., Taş, Ö. F., Karaton, M., & Sayın, E. (2025). Betonarme binalarda zemin kat yüksekliğindeki artışın yumuşak kat düzensizliği üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(4), 1662–1672. <https://doi.org/10.17780/ksujes.1612972>
- Doğangün, A. (2007). Betonarme yapıların hesap ve tasarımı. İstanbul: Birsan Yayınevi.
- Doğangün, A., & Livaoğlu, R. (2002, Eylül). Yumuşak kat düzensizliğinin yapı davranışına etkileri. IV. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir, Bildiriler Kitabı, 479–489.
- Ersin, U. D. (1997). Küçük titreşim ölçümleri ve dolgu duvarlarının mekanik modele yansıtılması (Yüksek Lisans Tezi). İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ersoy, U., & Tankut, T. (1992). Hysteretic response of reinforced concrete infilled frames. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 118(8).s
- Fındık, M. (2024). Sismik ve boyutsal parametrelerin istinat duvarlarının maliyetine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(1), 69–80. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1354036>
- Garip, Z. Ş., & Dibekoğlu, Ş. (2023). Deprem etkisindeki betonarme binalarda dolgu duvarların davranışa etkilerinin incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 15(2), 344–360. <https://doi.org/10.29137/umagd.1178219>
- Govindan, P., & Santhakumar, A. R. (1986). Ductility of infilled frames. *ACI Journal*, 567–576.
- Güney, D. (2012). Van earthquakes (23 October 2011 and 9 November 2011) and performance of masonry and adobe structures. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 3337–3342. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-3337-2012>

- Işık, G. (2006). Betonarme binaların zemin katında oluşabilen kısa kolon ve yumuşak kat davranışının incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- İrtem, E., Türker, K., & Hasgül, U. (2005). Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4(4), İstanbul.
- Karasu, T. O., Erdem, R. T., Demir, A., & Bağcı, M. (2011). Yumuşak kat düzensizliği bulunan betonarme bir binanın performansının incelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13(1), 61–69.
- Kılıç, İ., Bozdoğan, K. B., Aydın, S., ... & Gök, S. G. (2020). Kule tipi yapıların dinamik davranışının belirlenmesi: Kırklareli Hızırbey Camii Minare. Politeknik Dergisi, 23(1), 19–26. <https://doi.org/10.2339/politeknik.481857>
- Korkmaz, A., Uçar, T., & İrtem, E. (2005). Yumuşak kat düzensizliğinin ve dolgu duvarların betonarme binaların deprem davranışına etkileri. IMO Teknik Kongre, Antalya.
- Korkmaz, K. A., & Uçar, T. (2006). Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışına etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11(2), 65–76. <https://izlik.org/JA95LC34RR>
- Korkmaz, K. A., Uçar, T., & Düzgün, M. (2010, Şubat). Yapısal düzensizlikleri olan betonarme yapıların deprem davranışlarının değerlendirilmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Bildiriler Kitabı, 123–138. <https://izlik.org/JA28SD57NX>
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (1999). 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Raporu. Ankara: MTA. <https://deprem.duzce.edu.tr/sayfa/e7ff/12-kasim-1999-duzce-depremi>
- Negro, P., & Verzeletti, G. (1996). Effect of infills on the global behavior of R/C frames: Energy considerations from pseudodynamic tests. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 753–773. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199608\)25:8<753::AID-EQE578>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199608)25:8<753::AID-EQE578>3.0.CO;2-Q)
- Onat, Ö., & Evcı, P. U. (2024). A parametric study in reinforced concrete frames with different infill wall materials. Bulletin of Earthquake Engineering, 22(9), 4447–4476. <https://doi.org/10.1007/s10518-024-01936-7>
- Ozturk, M., Arslan, M. H., & Korkmaz, H. H. (2023). Effect on RC buildings of 6 February 2023 Turkey earthquake doublets and new doctrines for seismic design. Engineering Failure Analysis, 153, 107521. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107521>
- Sandıkçı, T. (2014). Bina türü betonarme bir yapıda yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sezen, H., Whittaker, A. S., Elwood, K. J., & Mosalam, K. M. (2003). Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey. Engineering Structures, 25(1), 103–114. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(02\)00121-9](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(02)00121-9)
- Tezcan, S., Yazıcı, A., Özdemir, Z., & Erkal, A. (2007, Ekim). Zayıf kat-yumuşak kat düzensizliği. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 339–349.
- TS (2000). TS 498: Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.
- Ulutaş, H. (2024). Investigation of the causes of soft-storey and weak-storey formations in low- and mid-rise RC buildings in Türkiye. Buildings, 14(5), 1308. <https://doi.org/10.3390/buildings14051308>
- Usta, P., Onat, Ö., & Bozdağ, Ö. (2023). Effect of masonry infill walls on the nonlinear response of reinforced concrete structure: October 30, 2020 İzmir earthquake case. Engineering Failure Analysis, 146, 107081. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107081>
- Yılmaz, A., & Öncü, M. E. (2025). Deprem etkisi altında yumuşak kat düzensizliğine sahip betonarme binaların hasar görülebilirlik analizi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28(3), 1574–1590. <https://doi.org/10.17780/ksujes.1735286>