



Araştırma Makalesi - Research Article

## Çelik Yapılarda Farklı Dolgu Duvar Tasarımlarının Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Deprem Analiz Yöntemleri ile Araştırılması

### Investigation of Different Filling Wall Design in Steel Structures with Linear and Nonlinear Earthquake Analysis Methods

Muhammet Zeki Özyurt<sup>1\*</sup>, Ömer Faruk Kadioğlu<sup>2</sup>

Geliş / Received: 21/11/2022

Revize / Revised: 10/04/2023

Kabul / Accepted: 10/04/2023

#### ÖZ

Ülkemiz, önemli fay hatlarının üzerinde bulunmaktadır. Çeşitli parametreler açısından yapısal davranışın irdelenmesi yapıların deprem güvenliği için önemlidir. Sıkça tercih edilen taşıyıcı sistem türlerinden olan çelik yapıların davranışı üzerinde dolgu duvar etkisi bu çalışmada incelenmiştir. Uygulamada, dolgu duvarlar genellikle düşey yük olarak analizlere dahil edilirken, modele katılmadıkları için özellikle yatay yük altında yapısal davranış üzerindeki etkileri göz ardı edilmektedir. Bilindiği üzere; dolgu duvarların sayısal modele katılıp katılmamasının yapıların davranışı üzerinde olan etkisinin araştırılması yapı güvenliği açısından da önemli bir durum arz etmektedir. Çalışmada incelenen sayısal modeller SAP2000 programında üç boyutlu olarak analiz edilmiştir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem etkisi altında yapısal davranış incelenmiş ve artırımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapı performansı araştırılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlar ışığında sayısal modelinde dolgu duvarların basınç çubuğu olarak dikkate alındığı durumda, dolgu duvarların yalnızca düşey yük olarak dikkate alındığı duruma göre periyot değerlerinin arttığı, tepe noktası deplasmanlarının azaldığı görülmüştür. Diğer taraftan, aynı incelemede basınç çubuğu olarak dolgu duvarın modele katıldığı durumda taban kesme kuvvetinin arttığı ve daha az deplasman ile plastik mafsallaşma noktasına ulaşıldığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler-** Dolgu Duvar, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artırımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

#### ABSTRACT

Our country is located on important fault lines. Investigation of structural behavior in terms of various parameters is important for earthquake safety of structures. In this study, the effect of infill wall on the behavior of steel structures, which is one of the frequently preferred structural system types, is investigated. In practice, infill walls are usually included in the analysis as vertical loads, but their effects on the structural behavior, especially under horizontal loading, are ignored because they are not included in the model. As it is known, investigating the effect of the inclusion or exclusion of infill walls in the numerical model on the behavior of structures is also important in terms of structural safety. The numerical models examined in the study were analyzed in three dimensions in SAP2000 program. Structural behavior under earthquake effect was investigated by the equivalent seismic load method and the structural performance was investigated by the incremental equivalent seismic load method. In the

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [ozyurt@sakarya.edu.tr](mailto:ozyurt@sakarya.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-1593-4581>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup>İletişim: [omer.kadioglu1@ogr.sakarya.edu.tr](mailto:omer.kadioglu1@ogr.sakarya.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-9838-349X>)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye

light of the results obtained from the analyses, it was observed that the period values increased and the peak displacements decreased when the infill walls were considered as pressure bars in the numerical model compared to the case where the infill walls were considered only as vertical load. On the other hand, in the same investigation, it was concluded that the base shear force increased, and the plastic hinge point was reached with less displacement when the infill wall was included in the model as a pressure bar.

**Keywords- Infill Wall, Equivalent Earthquake Load Method, Pushover Method**

## I. GİRİŞ

Çelik yapı sistemleri, son yıllarda sık tercih edilen yapı türlerindedir. Hem yüksek açıklıklı yapıların tasarlanabilmesi, hem de sünek malzeme yapısından dolayı, deprem bölgelerinde tercih edilen önemli bir yapı sistemi haline gelmiştir. Çelik yapı sistemlerinin özellikle ofis kısımlarında sıkça kullanılan dolgu duvarların yapı sistemine etkisi bu çalışmada incelenmiştir. Dolgu duvarlar, mimari sebeplerden dolayı farklı tasarımlar ile yapılara uygulanmaktadır. Uygulama yapılırken dolgu duvarlar yapı modeline düşey yük olarak etki ettirilirken, yatay yük altında yapısal analizlere dahil edilmemektedir. Dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisinin göz ardı edilmesi, deprem etkisi altındaki gerçek davranışının bilinmezliği anlamına gelmektedir. Bu çalışmada, çelik yapılarda dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Türkiye, deprem riski açısından dünyanın önde gelen ülkelerinden birisidir. 1992 yılında Erzincan, 1995 yılında Dinar, 1998 yılında Ceyhan, 1999 yılında Kocaeli ve Düzce, 2002 yılında Afyon, 2011 yılında Van depremleri ile çok sayıda can ve mal kaybı yaşanmıştır. Bu nedenle yapıların deprem performanslarının araştırılması ve deprem güvenliklerinin artırılması elzem bir durum haline gelmiştir. [1]

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, dolgu duvarların yapı performansına etkisinin incelendiği pek çok makale ve teze rastlanmaktadır. [2-5] Bu çalışmalara rağmen, halen dolgu duvarların yapıdan ayrı elemanlar olarak görülmesi ve çözümlerde göz önüne alınmamasının sebebinin yapının davranışına etkisinin tam olarak çözülememesinden kaynaklandığı göze çarpmaktadır. Dolgu duvarın yapı davranışına etkisinin genellikle doğrusal elastik yöntem ile araştırıldığı görülmektedir. Son yıllarda ise doğrusal olmayan çözümler ile de araştırılmasına ağırlık verilmiştir. Plandaki dolgu duvar düzensizliğinin bina deprem performansına etkisinin olup olmadığı konusundaki çalışmalar da yine az sayıdadır. Bu sebeple bu çalışmada, dolgu duvarın yapı hesabına basınç çubuğu olarak katılmasının yapı performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Oluşturulan binalara ait performans seviyeleri belirlenmiş ve dolgu duvar yerleşim parametrelerinin bina performansı üzerindeki etkisi tartışılmıştır. [6]

Bu çalışmada, çok katlı çelik bir işyeri yapısı incelenmiştir. Dolgu duvarın yapılarda sadece yük olarak tanımlanması ile dolgu duvar olarak modellenmesi arasındaki farklar incelenmiştir. Buna göre; her katta dolgu duvar kullanılan, hiçbir katında dolgu duvar kullanılmayan yapıların karşılaştırması yapılarak deprem etkisi altındaki performansları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bu makalede dolgu duvar kullanılan çelik yapıların, dolgu duvar kullanılmayan yapılara göre yanal deplasmanının azaldığı sonucuna varılmıştır. Yapılar hesaplanırken dolgu duvarların hesaba katılmasının elzem olduğu sonucuna varılmıştır.

### A. Literatür Özeti

Bayrak, O.F ve Bıkçe M. tarafından yapılan ‘Dolgu Duvarın Yapısal Düzensizliklere ve Performansa Etkisinin Mevcut Bir Yapı Üzerinde İncelenmesi’ başlıklı çalışmada, dolgu duvar etkisinin mevcut bir betonarme yapı üzerindeki etkisi incelenmiş ve yapı performansının artmasına karşın burulma ve yumuşak kat düzensizliklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. 23.10.2019 tarihli çalışma, ‘Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi’ Cilt 24 Sayı 3’te yayımlanmıştır. [2]

Akyürek, O., Tekeli H. ve Demir F. Tarafından yapılan ‘Plandaki Dolgu Duvar Yerleşiminin Bina Performansı Üzerine Etkisi’ başlıklı makalede, dolgu duvarın davranışına ve deprem performansına olan etkisi, doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Makalenin sonucuna göre, betonarme yapılarda yerleştirilen dolgu duvarların çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini önemli derecede artırdığı gözlemlenmiştir. 04.09.2017 tarihli çalışma, ‘Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi’ Cilt 10 Sayı 1’de yayımlanmıştır. [6]

Bayrak, O.F., Yedek S., Erdem M.M. ve Bıkçe M. tarafından yapılan ‘Çelik Çerçevesi Yapılar Üzerinde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi’ başlıklı çalışmada, gevrek dolgu duvar malzemesi kullanılarak yapılmış çelik yapılar incelenmiş, bölme duvarlar üzerinde zaman içinde yatay deprem kuvveti, oturma vs. nedenlerle yapısal olmayan elemanlarda meydana gelen çatlaklara dikkat çekilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, çelik yapılara uygun bölme duvar malzemelerinin yaygınlaşması gerektiği gözlemlenmiştir. 2019 tarihli çalışma, Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu’nda yayımlanmıştır. [7]

Sayın, B. ve Kaplan S.A., tarafından yapılan ‘Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Dolgu Duvarın Modellenme Teknikleri’ başlıklı çalışmada, dolgu duvarlar, Sap2000 ve Sta4cad programlarında diagonal basınç çubuğu ve panel olarak modellenmiştir. Sonuçlar gerçeğe yakın olarak gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, dolgu duvar, diagonal basınç çubuğu şeklinde modellenerek yatay yük etkisine maruz bırakıldığında daha rijit davrandığı gözlemlenmiştir. 25.03.2005 tarihli çalışma, Kocaeli Deprem Sempozyumu’nda yayımlanmıştır. [8]

Kaymak F. ve Tuna M.E. tarafından yapılan ‘Kısmi ve Tam Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışının Elasto-Plastik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi’ başlıklı çalışmada, dolgu duvarların yatay yükler altındaki çelik çerçeveler üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, dolgu duvarların boş çerçeveye göre daha az enerji tükettiği gözlemlenmiştir. 25.03.2011 tarihli çalışma, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 26 Sayfa 2’de yayımlanmıştır. [9]

Güder O.S. tarafından yapılan ‘Dolgu Duvarların Yapısal Analizlerde Göz Önüne Alınmasının Düşey Düzensizlik ve Deprem Performansına Etkileri’ başlıklı yüksek lisans tezinde, dolgu duvarların analiz modeline dahil edilmesi durumunda yapının düşey düzensizliğinin ve binanın yapısal performansının nasıl etkileyeceği incelenmiş, yumuşak kat düzensizliğinin yapının performansına etkilerine değinilmiştir. 24.01.2012 tarihinde savunması yapılan bu tez, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nce onaylanmıştır. [10]

Altınağaç D. Tarafından yapılan ‘Doğrusal Olmayan İtme Analizi Yöntemi ile Performans Seviyesi Belirlenen Çelik Bir Yapının Analizi’ başlıklı yüksek lisans tezinde, doğrusal olmayan itme analiz yöntemi ile dört farklı şekilde yatay etkilere karşı güçlendirilmiş çelik çerçeve sistemi doğrusal olmayan statik tasarım yöntemi ve ETABS yapısal analiz programı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ideal çapraz sistemi seçilmiş ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak Merkezi V çaprazlı sistemlerin enerji sönümleme kapasitesinin diğer çapraz sistemlerine göre %50 daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. 07.06.2022 tarihli çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nce onaylanmıştır. [11]

Karşlıoğlu Ö. Tarafından yapılan ‘Çok Katlı Binalarda Bulunan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri’ başlıklı yüksek lisans tezinde, dolgu duvarların deprem etkisi altındaki performansı araştırılmıştır. Çelik bir sistem, SAP2000 programında hesaplanarak periyot, deplasman, taban kesme kuvveti, düzensizlik gibi etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak dolgu duvarların malzeme özelliklerinin hesabının iyi yapılması ve lineer olmayan dinamik analiz yönteminin tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu tez çalışması, 27.09.2005 tarihinde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nce oy birliği ile onaylanmıştır. [12]

Asfuroğlu. S. Tarafından yazılan ‘Çok Katlı Çelik Binaların İtme Analizi’ isimli yüksek lisans tezinde, çok katlı çelik bir binaya nonlinear analiz yapılarak çalışma sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak farklı yönetmeliklerdeki kabullerden dolayı taban kesme kuvvetleri arasında farklar tespit edilmiştir. Bu tez çalışması, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nce onaylanmıştır. [13]

## II. DOLGU DUVAR

Yapı sistemlerinin çözümü yapılırken, dolgu duvarların etkisi hesaba katılmayan parametrelerdir. Bunun nedeni, dolgu duvarların yanal yük geldiğindeki etkisinin ihmal edilmesinin istenmesidir. Yönetmelikler, dolgu duvarların düşey yük etkisinin hesaba katılmasını ancak dolgu duvarların yanal katkısının ihmal edilmesini tavsiye etmektedir. Literatürde, betonarme yapılarda dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışı üzerindeki etkisi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte, çelik yapılarda dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışı üzerindeki etkileri ile ilgili az sayıda çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada, çelik yapılarda dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Dolgu duvarlar, yapı sistemine iki şekilde tanımlanabilirler. Sonlu elemanlar yönteminde bu tipler mikro modelleme veya makro modelleme şeklinde tanımlanmaktadır. Bu çalışmada çapraz çubuklarla canlandırılan makro modelleme yöntemi kullanılmıştır.

### A. Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Olan Etkileri

Dolgu duvarların, yapı ile etkileşimi sırasında olumlu veya olumsuz yönde yapıya katkısı olabilmektedir. Bu etkilerden olumlu olanlar, yapı sistemini güvenli bölgede tutabilmek adına ihmal edilmektedir. Fakat dolgu duvar etkisi hesaba katılmadığı için olumsuz etkisinin nasıl bir etki sağladığı bilinmemektedir.

### **B. Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Olan Olumlu Etkileri**

a) *Düşey Yüklere Karşı Etkileri:* Kiriş altlarına gelen dolgu duvarların olduğu kirişlerin, dolgu duvar olmayan kirişlere nazaran daha az sehim yaptığı gözlemlenmektedir. Özellikle eğilme momenti bölgelerinde ve mesnet bölgelerinde betonarme yapılarda çatlaklar gözlemlenmiştir. [14]

b) *Yatay Yüklere Karşı Etkileri:* Yapıya gelecek olan rüzgar deprem gibi yanal kuvvetler karşısında dolgu duvarlar taşıma kapasitesine ulaşana kadar çelik çapraz gibi çalıştığı belirlenmiştir. Bu sayede yapıda yükün geldiği yönde ötelemelerini azalttığı gözlemlenmiştir. [14]

c) *Rijitliğe Katkıları:* Dolgu duvarlar, b maddesinde belirtildiği üzere yatay yüklere karşı katkı sağlamaktadır. Bu özelliği ile kat ötelemelerini azaltarak yapı rijitliğini artırır. Rijitliğe olan katkıları göz önüne almadan yapılan hesaplar ile yapı katkısının gözlemlendiği hesaplar arasında önemli farklar vardır.

d) *Enerji Sönümlemeye Katkıları:* Yapılara gelen deprem kuvvetlerinden dolayı oluşan enerji, özellikle mesnet bölgelerindeki zorlanmalardan dolayı bu bölgeleri zorlamaktadır. Bu birleşim bölgelerinde dolgu duvar olmasının, dolgu duvarın kendi içinde oluşan çatlaklar sayesinde önemli etkide enerji sönümlediği gözlemlenmiştir. Büyük depremlerdeki etkisi çok büyük olmamakla beraber ve küçük ve orta şiddetli depremlerde tahribat olmasını engellediği söylenebilir. [10]

### **C. Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Olan Olumsuz Etkileri**

a) *Burulma Etkileri:* Mimari nedenlerden dolayı planda düzensiz yerleştirilen dolgu duvarlar, yapının ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi arasında eksantrisiteye neden olabilmektedir. Bu nedenle yapıda dolgu duvar olması öngörülemez burulma etkileri yaratabilir.

b) *Zayıf Kat Etkileri:* Dolgu duvarlar, mimari sebeplerden dolayı üst kat ile alt kat arasında çok farklı duvar düzenlemeleri olması durumunda zayıf kat düzensizliğine neden olabilmektedir.

c) *Yumuşak Kat Etkileri:* Genellikle zemin katlarında işyeri olan yapılarda gözlemlenen bu durum, belirli katlarda dolgu duvarın yoğun olarak kullanılması diğer katlarda daha az kullanılması ile yapının rijitliğinde dengesizlik olması ile meydana gelmektedir. Üst katlardaki rijitliği karşılayabilmek adına duvar olmayan zemin kat kolonlarının yüksek enerji tüketmesi ile yapıda ciddi hasarlar meydana getirmektedir. Dolgu duvarlar, yapı analizinde yok sayıldığı için bu durumun oluşması da öngörülemez olur.

d) *Kısa Kolon Etkileri:* Mimari sebeplerden dolayı dolgu duvarlar, kat yüksekliği boyunca devam ettirilmeyerek boşluk bırakılması sebebiyle, kolon üst ve alt ucunda olması beklenen ve buna göre tasarlanan yapıda beklenmedik plastik mafsalların oluşması durumudur. Momentlere bağlı dönme etkisi ile oluşan bu durumun yanında kolonların tasarlandıkları maksimum kuvvetten daha büyük kesme kuvvetlerine maruz kalmalarına sebep olmaktadır. [10]

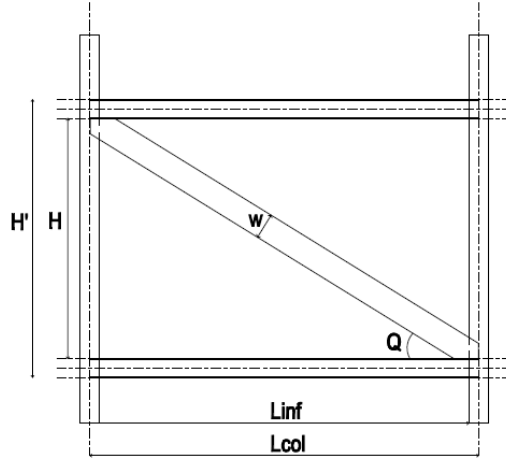
### **D. Dolgu Duvar Hesabı**

Dolgu duvarlar, her ne kadar yapısal analiz programında ihmal edilse de özellikle çok katlı yapılarda yanal dinamik kuvvetlere karşı önemli katkı sağlamaktadır. Uzun yıllardır yapılan çalışmalar, bu verileri desteklemektedir.

Çelik çerçeve sistemlerde, çerçeve arasında kullanılan dolgu duvarların çelik çapraz benzeri bir davranış sergilemesi nedeniyle çerçevelerde rijitlik sağladığı gözlemlenmiştir. Bu durumu analiz programına anlatmanın en kolay yolu ise dolgu duvarları basınç çubuğu şeklinde göstermektir.

Dolgu duvarların rijitliğe katkıları inceleyen çalışmalardan başlıcası Mainstone modelidir. [8]. Bu çalışmada, Mainstone modeli kullanılmıştır. İlgili model, dolgu duvar çalışmasında en sık kullanılan yöntemdir. Mainstone modeline göre, modellerin test edilmesi sırasında, duvar merkezlerinde diagonal çatlaklar tespit edilmiş, modelin karşılıklı çapraz yüklenmemiş köşelerinde çerçeve ile dolgu duvar arasında boşluklar oluşmuş, yüklenmiş iki köşede de tam bir temas gözlemlenmiştir.

Mainstone modeli hesaplanırken dolgu duvar, iki ucu mafsallı bir basınç çubuğu olarak analiz programına anlatılmaktadır. Bu çubukların rijitliği, bağlandıkları çerçevenin elastisite modülünün azaltma katsayısı ve etkin duvar genişliği parametreleri üzerinden modellenir. Modellenen kesitlerin dayanımları ise kullanılan malzemenin daha önce laboratuvar şartlarında yapılmış mukavemet deneyleri sonuçlarından alınır. Şekil 1'de, eşdeğer basınç çubuğu modeli gösterilmektedir.



Şekil 1. Eşdeğer Basınç Çubuğu Modeli (Equivalent Compression Bar Model) [16]

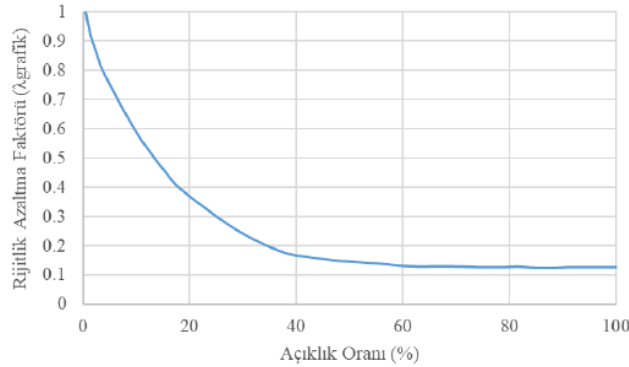
- $\Lambda_h$  = Görelî rijitlik parametresi
- $w$  = Rijitlik parametresi
- $E_z$  = Dolgu duvarın elastisite modülü
- $E_b$  = Çerçevenin elastisite modülü
- $t$  = Dolgu duvarın kalınlığı
- $I_s$  = Kolonların atalet momenti
- $H$  = Dolgu duvarın yüksekliği
- $Q$  = Açık
- $d_z$  = Eşdeğer basınç çubuğu uzunluğu
- $k_{duvar}$  = Köşegen basınç elemanının aksel rijitliği

Çalışmada, FEMA 306'da [15] önerilen ve Mainstone'un [16] çalışmalarından elde edilen eşitlikler kullanılmıştır. Buna göre:

$$\Lambda_{duvar} = \sqrt[4]{\frac{E_z \cdot t \cdot \sin 2Q}{4 \cdot E_b \cdot I_s \cdot H}} \quad (1)$$

$$k_{duvar} = \frac{w \cdot \Lambda_{duvar} \cdot t \cdot E_z}{d_z} \quad (2)$$

Asteris'in 2003 yılında yaptığı çalışmada, mimari sebeplerden dolayı yapıda bırakılan boşlukların yapı dayanımını ne ölçüde etkilediği belirlenmelidir. Buna göre; dolgu duvarda bırakılan boşluk yüzdesi (boşluk alanı/dolgu duvar alanı) bağılı olarak bir rijitlik azaltma faktörü ( $\Lambda_{grafik}$ ) şeklinde önermiştir.  $w$  rijitlik parametresi ile rijitlik azaltma faktörü ile çarpılması, duvar boşluğu ile ilgili yaygın kullanılan bir yöntemdir. Şekil2'deki grafikte, açıklık oranı ile rijitlik azaltma faktörü arasındaki ilişki belirtilmiştir. [15]



Şekil 2. Açıklık Oranı İle Rijitlik Azaltma Faktörü Arasındaki İlişki [15]

### E. Dolgu Duvarın Sap2000 Programında Tanımlanması

Dolgu duvar basınç çubuğu modeli, SAP2000 programına aşağıdaki şekilde tanımlanır:

- Araç çubuğu kısmından material tanımlanır. 'Define-Material' butonuna basılır.

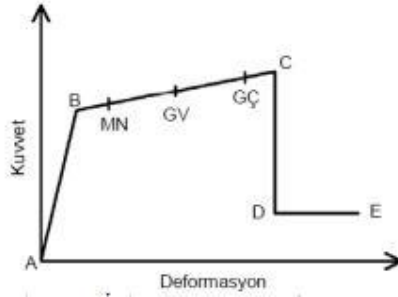
- b) 'Add New Material' butonuna basılarak 'Material Property Data' sayfası açılır. Bu sayfada tanımlamak istenen materialin ismi ve mekanik özellikleri girilir. Malzemenin elastisite modülü, poisson oranı, genleşme katsayısı değerleri girilir.
- c) Material tanımlaması yapıldıktan sonra kesit tanımlaması yapılır. 'Define- Section Properties-Frame Sections' butonlarına sırası ile basılır. Burada çıkan sayfada 'Rectangular Section' sayfası seçilir.
- d) 'Section Name' kısmına kesite ne isim vermek istenir ise yazılır. Eş değer basınç çubuğu sonuçlarında çıkan duvar derinliği ve duvar genişliği değerlerine göre 'Depth ve Width' değerleri girilir ve bu sayfadan da çıkılır.
- e) Malzeme tanımlaması sonrasında programın solunda yer alan 'Draw Frame/Cable' butonuna basılarak eş değer basınç çubuğu modeli çerçeveye çizilir.

### III. HESAP YÖNTEMLERİ

#### A. Artırımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminde Kesit Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

Bina performans değerlendirmesi yapılırken, yapının deprem etkisi altındaki performansının yanı sıra yapıda oluşan hasar, ekonomik etkisi ve yapının sonraki kullanım durumu ile bütün olarak düşünülür. Deprem sonrası yapılarda olacak hasara ve yapının önem katsayısına göre sınıflandırmalar yapılmıştır. Yapıların sınıflandırması yapılırken MN, GV, GÇ performans seviyeleri kullanılır. Şekil 2.18'de, kesit hasar seviyelerini gösteren kuvvet deformasyon tablosu belirtilmiştir.[3]

Doğrusal olmayan yöntemlerde amaç, binanın doğrusal olmayan davranışını yansıtan bir model üzerinde, deprem yönetmeliklerinde belirlenen kriterlere uygun olarak, talep noktasındaki kesit değerlerinin ve doğrusal olmayan davranış istemlerinin hesaplanmasıdır. [17]



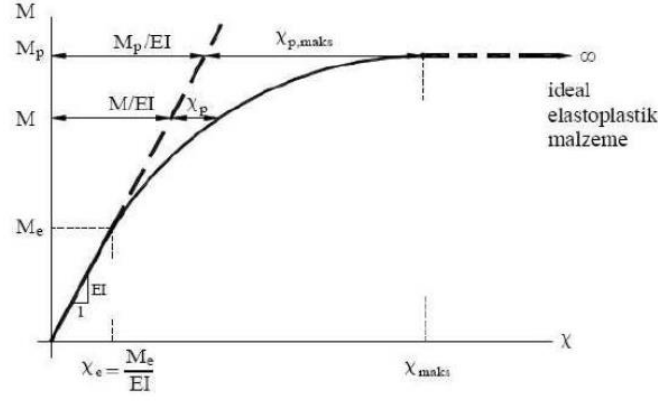
Şekil 3. Kesit Hasar Seviyeleri [5]

- a) MN: 'Minimum Güvenlik Sınırı' Kritik kesitte elastic ötesi davranışın başlangıcı. [5]
- b) GV: 'Güvenlik Sınırı' Kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastic ötesi davranış sınırı. [5]
- c) GÇ: 'Göçme Sınırı' Kesitin göçme öncesi davranış sınırı. [5]

#### B. Plastik Mafsal Kabulü

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal elastik şekil değiştirmeye oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilir. Bu hipoteze plastik mafsal hipotezi adı verilir. [18]

Gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 4'te verilen düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait momenti diyagramını gösterilmektedir. [18]

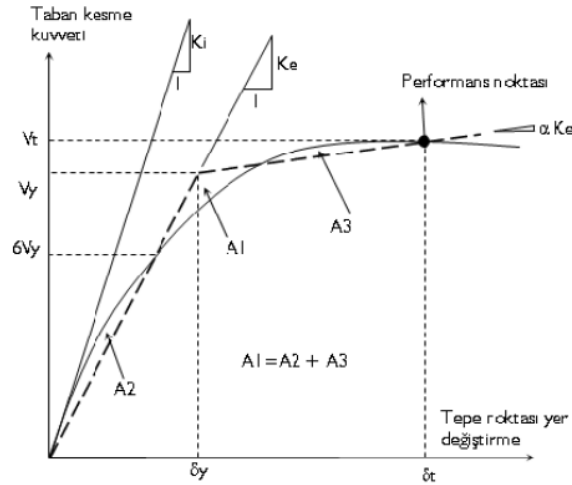


Şekil 4. Düzlem Çubuk Elemanın Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı [18]

### C. Hedef Tepe Yer Değiştirmenin Bulunması

Hesap edilen yapının deprem esnasında yapacağı maksimum deplasman davranışının tahminidir. FEMA yöntemi, deplasman talebinin karşılanması için nümerik çözüm sağlamaktadır. Performans noktasının hesabında, kapasite eğrisi iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. Bu doğrulardan birincisinin eğimi ( $K_e$ ), ikincisinin eğimi ise elastoplastik ( $K_s$ ) rijitliği temsil eder. [19]

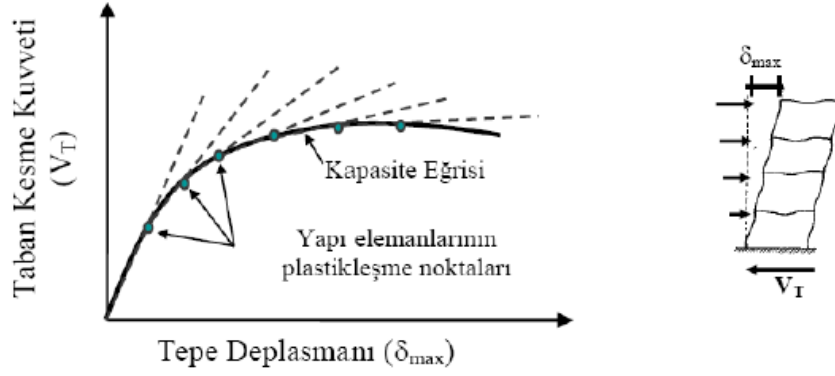
İdealleştirme yapılırken, gerçek idealleştirilmiş kapasite diyagramları altında kalan alanların eşit olmasına dikkat edilir. Ayrıca  $K_e$  eğimli doğrunun kapasite eğrisinin kesiştiği noktanın ordinatının  $K_e$  ve  $K_s$  eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0.6 katı olması koşulu sağlanır. Bu durum, Şekil 5'te gösterilmiştir. [19, 20]



Şekil 5. Performans Noktasının Hesabı [19]

### D. Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi

Yapının kapasite eğrisini elde etmek için yapı, sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre hesaplanarak limit duruma ulaşıncaya kadar izlenir. Her yük değeri için toplam taban kesme kuvveti ( $V_t$ ) ve buna karşılık gelen en üst kat yatay deplasmanı (tepe deplasmanı) arasındaki grafik çizilir. Bu durum, Şekil 6'da ifade edilmiştir. [18]



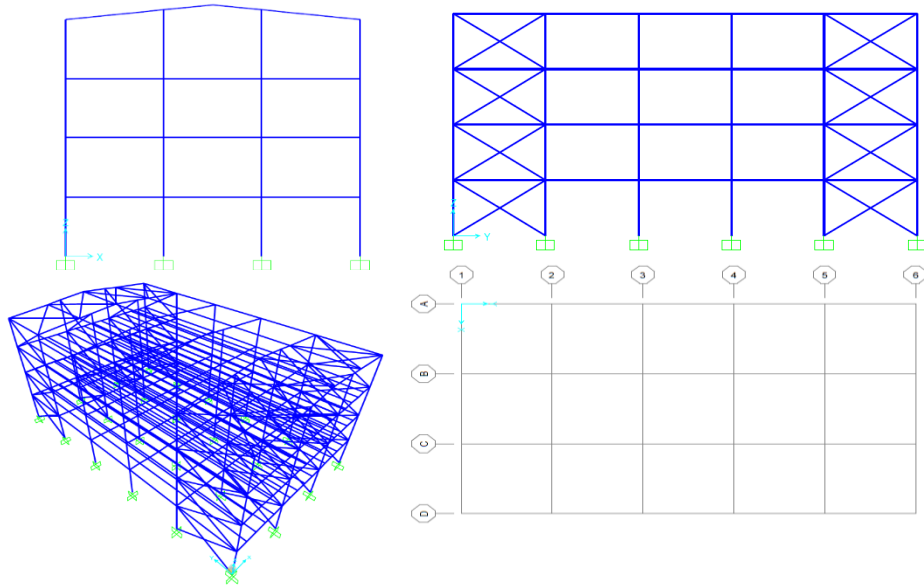
Şekil 6. Lineer Olmayan Teori İle Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi [18]

Malzemelerdeki plastik şekil değiştirmeler, plastik kesit bölgelerinde yoğunlaşmakta ve bunun dışındaki bölgelerde lineer-elastik olduğu kabul edilmektedir. Kirişler, plastikleşirken yalnızca eğilme momenti ile ortaya çıktığı, kolonların ise eğilme momenti ve normal kuvvet ile meydana geldiği kabul edilmektedir. [18]

FEMA 356'da önerilen değerler esas alınarak moment-plastik dönme bağıntısı pekleşen rijit davranış olarak kabul edilmiştir. [18]

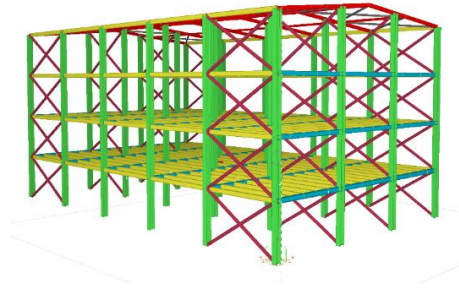
#### IV. SAYISAL ÇALIŞMA

Bu araştırmada, tamamı dolgu duvarlı ve tamamı dolgu duvarsız iki yapı incelenmiştir. Bu iki tip, konstrüktif olarak aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Sadece baş ve son aksında çapraz sistemi vardır. Kat yüksekliği tüm katlarda 3m'dir. Herbir kolon arası, X yönünde ve Y yönünde olmak üzere 5 metredir (Şekil 3). Çatı eğimi %10 olacak şekilde tasarlanmıştır. Rüzgar ve kar yükleri, yapı konumunun Sakarya'nın Akyazı İlçesi için bölge değerleri elde edilerek hesaplanmış ve TS498 esaslarına göre yük hesapları yapılmıştır. Zemin parametreleri, yine Sakarya'nın Akyazı İlçesinde yapılmış olan bir zemin etüdü baz alınarak belirlenmiştir. Bu zemin değerleri, Türkiye Deprem Tehlike Haritası [21] verileri ile teyid edilmiştir. Çalışmada, dolgu duvarları sadece duvar yükü olarak göz önünde bulundurulup modele katılmayan yapı tipi A, dolgu duvarları iki ucu mafsallı bir basınç çubuğu olarak modele katılan yapı tipi ise B olarak adlandırılmıştır (Şekil 4 ve Şekil 5). Çalışmada dolgu duvar olarak YTONG kullanılmıştır.

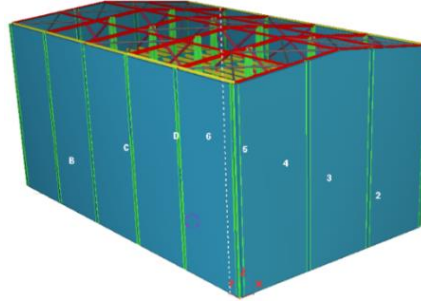


Şekil 7. Çalışmada İncelenen Yapı Tiplerinin Plan ve Kesitleri





Şekil 8. A Tipi Yapının Üç Boyutlu Bilgisayar Modeli



Şekil 9. B Tipi Yapının Üç Boyutlu Bilgisayar Modeli

#### A. Çalışmanın Sabitleri

Yapılar, 15 m-25 m olacak şekilde tasarlanmıştır. İki yapı da çelik olacak şekilde hesap yapılmıştır. Her katta 0.7 mm deck trapez, 10 cm beton olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Yapı kesitlerinde de görülebileceği üzere 3 kat ve çatı olacak şekilde tasarlanmıştır. İki yapının da tüm taşıyıcıları araştırmanın esası dolgu duvarın yapı davranışına olan etkisinin araştırılması olması sebebiyle sabit tutulmuştur. Buna göre kolonlar HEA340, kat kirişleri HEA240, kat tali kirişleri IPE240, çatı makasları IPE200, cephe çaprazları CHS168\*6, çatı çaprazları CHS114\*5, çatı stabilitesi CHS139\*4 profiller kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sabitler aşağıda belirtilmiştir.

a) Binaların kullanım alanı	:	375 m <sup>2</sup>
b) Binaların kullanım amacı	:	İşyeri-Fabrika
c) Eleman tipi	:	Çelik (S275)
d) Çelik elastisite modülü	:	200000 Mpa
e) Kar yükü	:	75 kg/m <sup>2</sup>
f) Rüzgar yükü	:	80 kg/m <sup>2</sup>
g) KaplamaYükü (Aşık+Sandviç Panel)	:	35 kg/m <sup>2</sup>
h) Deprem yer hareketi düzeyi	:	DD-2
i) Yerel zemin sınıfı	:	ZD
j) Yatay elastik tasarım spektrumu	:	T(A)=0,099(s), T(B)=0,494(s)
a. T(B)=0,494(s)	:	
k) Bina önem katsayısı	:	1
l) Bina kullanım sınıfı	:	BKS=3
m) Bina yükseklik sınıfı	:	BYS=6
n) Deprem Tasarım Sınıfı	:	1
o) Zemin taşıma gücü değeri	:	qt:20 t/m <sup>2</sup>
p) Yük kombinasyonları	:	TBDY2018 Kombinasyonları
q) Sismik katsayılar	:	S <sub>s</sub> =1,751, S <sub>1</sub> =0,47, PGA=0,712, PGV=55,090, S <sub>DS</sub> =1,751, S <sub>DI</sub> =0,864
r) Kullanılan Yönetmelik	:	TBDY2018 [22]
s) Süneklik Düzeyi	:	Yüksek
t) Deprem Yükü Azaltma Katsayısı	:	4
u) Dolgu Duvar Cinsi	:	YTONG

#### B. Çalışmanın Değişkenleri

Bu araştırmanın amacı, dolgu duvarların yapı performansına etkisinin hesap modellerine etkilmesi gerektiğinin önemini belirlemektir. Bu sebeple çalışmada yalnızca dolgu duvarın olup olmaması durumu değişkenlik göstermektedir.

## V. SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Tablo 1 ve Tablo 2’de yapılan hesaplar sonucunda A tipi ve B tipi yapıların ağırlık merkezi için elde edilen koordinatlar metre olarak verilmiştir. Dolgu duvarın olup olmaması durumunun yapı ağırlık merkezini, buna bağlı olarak taban kesme kuvvetini ne denli etkilediğinin bulunabilmesi amacı ile ağırlık merkezi hesabı yapılmıştır.

**Tablo 1.** A Tipi Yapı Ağırlık Merkezi Tablosu

Kat	X (m)	Y (m)	Z (m)
3	7.5	12.50	9
2	7.5	12.50	6
1	7.5	12.50	3

**Tablo 2.** B Tipi Yapı Ağırlık Merkezi Tablosu

Kat	X (m)	Y (m)	Z (m)
3	7.48	12.49	9
2	7.5	12.50	6
1	7.5	12.49	3

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan analizlerin neticesinde elde edilen görelî kat ötelemelerine ait sonuçlar aşağıdaki tablolarda (Tablo 3 ve Tablo 4) verilmiştir.

**Tablo 3.** A Tipi Yapı Görelî Kat Ötelemeleri Tablosu

Kat	Deprem Yönü	Deplasman (mm)
1	X	6.51
1	Y	0.58
2	X	10.65
2	Y	0.71
3	X	8.98
3	Y	0.52

**Tablo 4.** B Tipi Yapı Görelî Kat Ötelemeleri Tablosu

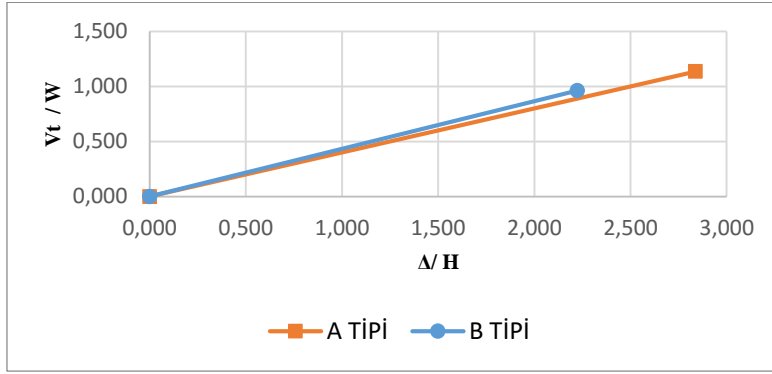
Kat	Deprem Yönü	Deplasman (mm)
1	X	5.67
1	Y	0.41
2	X	8.03
2	Y	0.48
3	X	5.98
3	Y	0.34

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen Taban Kesme Kuvveti ( $V_t$ ) Tepe Noktası Yer değıştirmesi ( $\Delta$ ), Yapı Toplam Ağırlığı ( $W$ ) ve Periyot ( $T$ ) değıerleri Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 5.** Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Elde Edilen Analiz Sonuçları

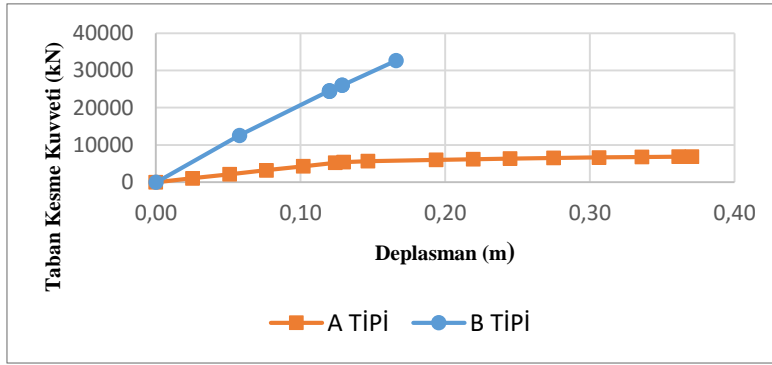
Yapı Tipi	$\eta_{bi}$	$V_{tx}$ (kN)	$V_{ty}$ (kN)	$\Delta_x$ (mm)	$\Delta_y$ (mm)	$W$ (kN)	$T$ (sn)
A	1	1099.71	3580.20	34.05	14.03	968,14	0.678
B	1	1527.34	3871.79	26,69	13,61	1585,54	0.527

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen kapasite grafiğı Şekil 10'da verilmiştir. Taban Kesme Kuvveti ( $V_t$ ) / Yapı Toplam Ağırlığı ( $W$ )-Tepe Noktası Yer değıştirmesi ( $\Delta$ ) / Toplam Yapı Yüksekliğı parametreleri karşılaştırılmıştır.

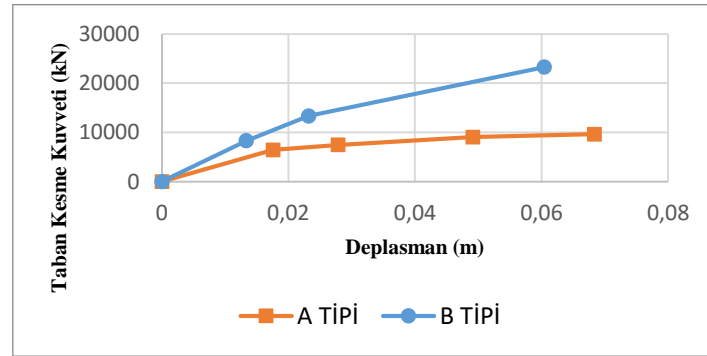


Şekil 10. Eşdeğer Deprem Yüğü X Yönu Kesme Kuvveti-Taşıma Kapasitesi Grafiğı

Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen Taban Kesme Kuvveti ( $V_t$ ) Tepe Noktası Yer değıştirmesi değerleri X ve Y yönu için Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 11. Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Analizi -Taban Kesme Kuvveti-Deplasman (X Yönu)



Şekil 12. Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Analizi -Taban Kesme Kuvveti-Deplasman (Y Yönu)

Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Analiz Yöntemi ile belirlenen plastik mafsallaşma adımları ve hasar yüzdelerinin olduğı tablolar (Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9) aşağıda belirtilmiştir.

. **Tablo 6.** A Tipi Modelde X Yönünde Deprem İçin Plastik Mafsallaşma Adımları Tablosu

Adım	Deplasman(mm)	SH-KH	KH-GÖ	GÖ Üzeri
0	-2,083E-14	0	0	0
1	-25,5	0	0	0
2	-51	0	0	0
3	-76,5	0	0	0
4	-102	0	0	0
5	-124,141991	0	0	0
6	-129,786104	0	0	0
7	-146,604839	0	0	0
8	-193,871856	0	0	0
9	-219,371856	0	0	0
10	-244,871856	48	0	0
11	-275,097377	58	0	2
12	-306,433109	82	0	2
13	-336,088333	94	0	2
14	-361,588333	94	0	2
15	-370,547603	94	0	2

**Tablo 7.** A Tipi Modelde Y Yönünde Deprem İçin Plastik Mafsallaşma Adımları Tablosu

Adım	Deplasman(mm)	SH-KH	KH-GÖ	GÖ Üzeri
0	-0,016447	0	0	0
1	-17,577784	0	0	0
2	-26,94982	0	0	0
3	-27,819014	0	0	0
4	-27,824114	8	0	0
5	-49,161325	40	0	0
6	-68,351494	40	8	0

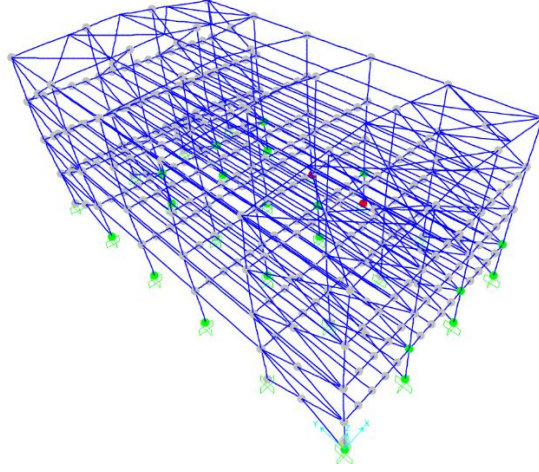
**Tablo 8.** B Tipi Modelde X Yönünde Deprem İçin Plastik Mafsallaşma Adımları Tablosu

Adım	Deplasman	SH-KH	KH-GÖ	GÖ Üzeri
0	0,27003	0	0	0
1	-57,843992	0	0	0
2	-120,075988	0	0	4
3	-120,075988	1	0	4
4	-120,075988	1	0	4
5	-128,853782	1	0	4
6	-128,869116	1	0	5
7	-166,082565	18	0	7

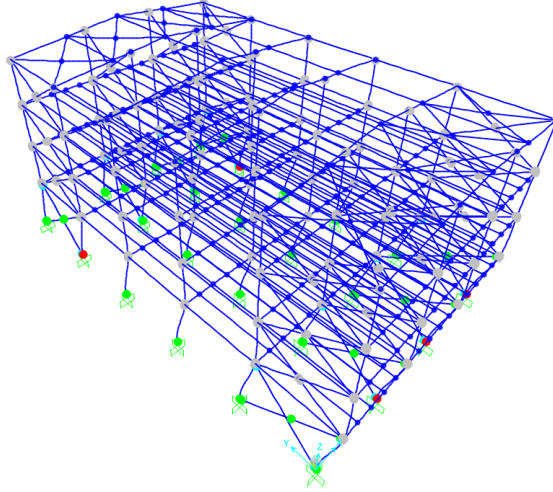
**Tablo 9.** B Tipi Modelde Y Yönünde Deprem İçin Plastik Mafsallaşma Adımları Tablosu

Adım	Deplasman	SH-KH	KH-GÖ	GÖ Üzeri
0	0,100761	0	0	0
1	-13,325429	0	0	0
2	-23,209973	0	0	0
3	-60,414521	48	0	0

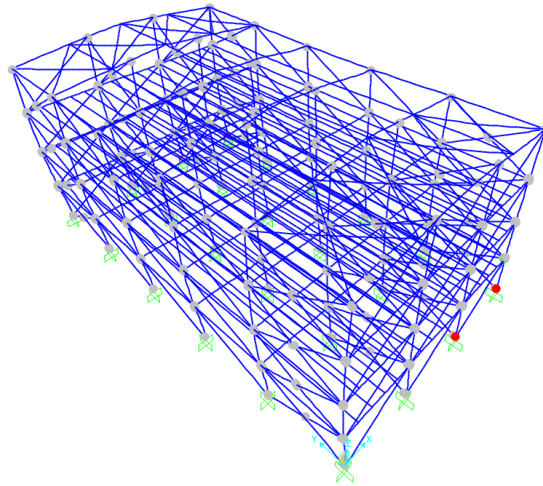
Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Analiz Yöntemi ile belirlenen plastik mafsallaşma noktalarının olduğu şekiller (Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15, Şekil 16) aşağıda belirtilmiştir.



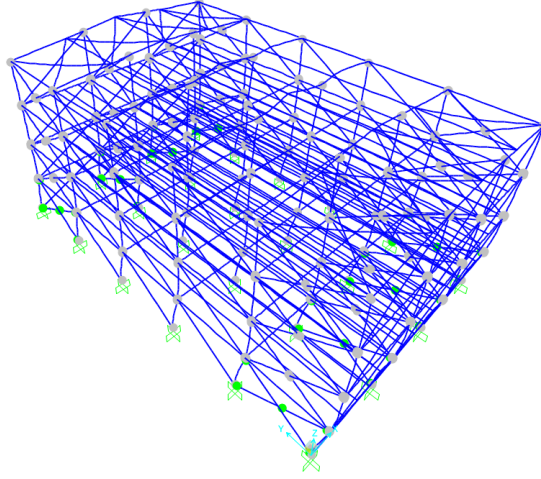
Şekil 13. A Tipi X Yönü Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Plastik Mafsallaşma Noktaları



Şekil 14. A Tipi Y Yönü Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Plastik Mafsallaşma Noktaları



Şekil 15. B Tipi X Yönü Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Plastik Mafsallaşma Noktaları



Şekil 16. B Tipi Y Yönü Artırımsal Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi Plastik Mafsallaşma Noktaları

## VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çelik yapılarda dolgu duvarların sayısal modelde göz önünde bulundurulmasının yapısal davranışa etkisinin araştırılması için eşdeğer deprem yükü yöntemi ve artırımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizler yapılmıştır. Bu kapsamda; dolgu duvarın yalnızca yük olarak analize katıldığı A tipi ve dolgu duvarın basınç çubuğu olarak modele katıldığı B tipi isimli iki farklı model oluşturularak yapılan analizlerin sonuçları incelenmiştir. Buna göre:

Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analiz sonuçlarına göre; dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modelde dikkate alındığı durumda, dolgu duvarların modellenmeyip yük olarak dikkate alındığı duruma göre ağırlığı %38 artmakta buna bağlı olarak periyodu %22 azalmaktadır. Kesme kuvveti, kapasite diyagramı değerlendirildiğinde; dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modele katıldığı durumda daha yüksek taban kesme kuvvetinin karşılanabildiği, dolgu duvarların yalnız yük olarak dikkate alındığı durumda daha yüksek deplasmanlar altında göçme noktasına ulaşıldığı sonucuna varılmıştır.

Artırımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan performans analizi sonuçlarını göstermekte olan Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8'de A tipi ve B tipi yapılar için plastik mafsallaşma adımları görülmektedir. Hem X yönü hem Y yönünde; dolgu duvarların modellenmeyip yük olarak dikkate alındığı durumda, dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modelde dikkate alındığı duruma göre daha yüksek deplasmanda plastik mafsallaşmanın başladığı ve daha yüksek deplasman ile göçme noktasına ulaşıldığı görülmektedir. Yapıların taban kesme kuvveti karşılama kapasitesi kıyaslandığında, A tipi yapıların B tipine göre daha az taban kesme kuvveti ile plastik mafsallaşmaya başladığı ve göçme noktasına ulaştığı, ancak B tipinin A tipine göre daha gevrek davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

Literatürde, dolgu duvarların yapı performansına etkisinin incelendiği çok sayıda deneysel çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma sonuçları; mimari sebeplerle kullanılan dolgu duvarların, modelde dikkate alınmaması durumlarının yapısal davranış ve performans sonuçlarına önemli ölçüde etki ettiği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar analizlerde dolgu duvar etkisinin; yapıların analizlerinde dolgu duvarların sadece yük olarak dikkate alınması ile değil basınç çubuğu şeklinde modele katılması suretiyle göz önünde bulundurulmasının gerektiği gerçeğini ortaya çıkarmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Karasin, İ. B. & Öncü, M. E. (2022). Farklı Dolgu Tipleri için Çerçevelerin İtme Analizi ile Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, ICAENS 2022, 91-96.
- [2] Bayrak, O.F. & Bikçe, M. (2019). Dolgu duvarların yapısal düzensizliklere ve performansa etkisinin mevcut bir yapı üzerinde incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(3), 241-254.
- [3] Temur, F. (2007). *Statik itme (Pushover) yöntemi kullanılarak yapıların analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [4] Hanoğlu, K.B. (2002). *Fiber Reinforced Plastic Overlay Retrofit of Hollow Clay Tile Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames*. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Arslan, M.H., Köroğlu, M.A. & Köken, A. (2016). Binaların Yapısal Performansının Statik İtme Analizi İle Belirlenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 71-84.
- [6] Akyürek, O., Tekeli, H., & Demir, F. (2018). Plandaki Dolgu Duvar Yerleşiminin Bina Performansı Üzerine Etkisi, *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(1), 42-55.

- [7] Bayrak, O.F., & Yedek, S. (2017). Çelik çerçeveli yapılar özelinde dolgu duvar etkisinin incelenmesi. *Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*, 26-28 Ekim, Gaziantep, 139-146.
- [8] Sayın, B., & Kaplan, S.A. (2005). Deprem etkisi altındaki betonarme yapılarda dolgu duvarların modellenme teknikleri. *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart, Kocaeli, 474-480.
- [9] Kaymak, F. & Tuna, M. (2013). Kısmi ve tam dolgu duvarlı çelik çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışının elasto-plastik analiz yöntemi ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2).
- [10] Güder S.O. (2012), Dolgu Duvarların Yapısal Analizlerde Göz Önüne Alınmasının Düşey Düzensizlik ve Deprem Performansına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Altınağaç, D. (2022). *Doğrusal olmayan itme analizi yöntemi ile performans seviyesi belirlenen çelik bir yapının analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Karlıoğlu, Ö. (2005). *Çok katlı binalarda bulunan tuğla dolgu duvarların yapı davranışına etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [13] Azfuroğlu, S. (2018). *Çok Katlı Çelik Binaların İtme Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] Bayülke, N. (2003), Betonarme Yapının Dolgu Duvarı, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 4(426), 85-98.
- [15] FEMA 356 (2000), Presebtandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*. Washington D.C.
- [16] Mainstone, R.J. (2007), Çerçevelerde Dolgu Duvar Modellerinin İncelenmesi, *Proc. Supplement, Trans. Of Instn. Of Civil Engrs.*, State Univ. of New York.
- [17] Foroughi, S. & Yüksel, B. (2022). TBDY 2018'e göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Betonarme Yapı Sistemlerinin Performans Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 33-55.
- [18] Arslan, M. H., Köroğlu, M. A. & Köken, A. (2016). Binaların Yapısal Performansının Statik İtme Analizi ile Belirlenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 71-84.
- [19] İdecad 5 Enterprise 5.510 Versiyonu Kullanma Kılavuzu (2007).
- [20] Severcan, M. H. & Sınan, B. (2019). Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Performansının Analizi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 936-947.
- [21] Türkiye Deprem Tehlike Haritası. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>, (15.09.2022).
- [22] Türkiye Deprem Yönetmeliği, (2018). *Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar*.