

# Mevcut betonarme binaların deprem performanslarının basitleştirilmiş deplasman tabanlı bir yaklaşımla değerlendirilmesi

## Seismic performance evaluation of existing reinforced concrete buildings using simplified displacement-based approach

Harun CEYLAN<sup>1\*</sup>, Abdulhalim KARAŞİN<sup>2</sup>, Barış ERDİL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Teknolojisi Programı, Van Meslek Yüksekokulu, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye.

harunceylan@yyu.edu.tr

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye.

karasin@dicle.edu.tr

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

bariserdil@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 04.06.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 11.12.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.06636

Kabul Tarihi/Accepted: 19.12.2023

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesinde deprem etkisiyle elemanların her iki ucunda oluşan dönmeleri tahmin etmek zor ve karmaşık bir iştir. Dolayısıyla bu çalışmada deprem etkisiyle eleman uçlarında oluşan görelî kat ötelemeleri temelli daha basit formülasyonlar ile bina performansının tahmin edilmesinde güvenilir bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında farklı kat adetlerine, farklı malzeme dayanımlarına ve aynı plana sahip düzgün geometride olan 4 adet betonarme bina tasarlanmış, ayrıca 3 adet mevcut betonarme bina ele alınmıştır. 7 adet bina yaygın olarak yapısal analizler için kullanılan SAP2000 v20, Sta4CAD v14.1, İdeCAD v10 ve ProtaStructure2022 programları ile modellenerek doğrusal performans analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen veriler TBDY2018'de mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla verilen deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar çerçevesinde, oluşturulan deplasman temelli formülasyonlara işlenmiş ve incelenen binalardaki kolonların hasar durumları belirlenmiştir. Önerilen yöntemle göre belirlenen kolon hasar durumları ile TBDY2018'de belirtilen hesap ilkelerine göre yapılan el hesabı sonucu belirlenen kolon hasar bölgeleri arasındaki uyumun her iki asal yönde de %100 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca önerilen yöntemin ele alınan diğer statik paket programlardan elde edilen sonuçlara nazaran bina performansının tespitinde daha güvenli tarafta kalmasının yanı sıra incelenen paket programlarla da genel olarak uyumlu olduğu söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Doğrusal olmayan yöntem, Betonarme, Bina, Deplasman, Kırma kuvveti.

### Abstract

While evaluating the seismic performance of existing buildings according to TBC2018, a difficulty and complexity arises in estimating the rotations that occur at both ends of the load carrying elements under seismic forces. Therefore, in this study, it is aimed to develop a reliable method for estimating the seismic performance of reinforced concrete (RC) buildings using simplified displacement-based formulations. Within the scope of this study, 4 RC buildings having same symmetrical floor plan but with varying number of stories, different material strengths were designed, and 3 existing RC buildings were taken into consideration. All the 7 buildings were modeled using common structural analysis software like SAP2000v20, Sta4CADv14.1, İdeCADv10 and ProtaStructure2022 and linear seismic performance analysis were performed. The data obtained as a result of the analysis were processed into the displacement-based formulations created within the framework of this study to determine the damage state of the columns and associated seismic performance of the existing RC buildings considering the general principles and rules given in TBC2018. It was determined that the compatibility between the column damage conditions determined according to the proposed method and the column damage status determined as a result of the hand calculation made according to the calculation principles specified in TBC2018 was 100% in both principal directions. In addition, it is found that the results found from the proposed method were conservative and generally compatible with the results obtained from the common structural analysis software.

**Keywords:** Nonlinear method, Reinforced concrete, Building, Displacement, Shear force.

## 1 Giriş

Deprem kuşağında bulunan ülkelerdeki mühendislik hizmeti almayan mevcut binaların varlığı, olası sismik hareketler düşünüldüğünde hem insanların can ve mal kayıpları hem de toplumsal ve ekonomik etkileri bakımından büyük bir sorun teşkil etmektedir. Türkiye'nin önemli deprem kuşaklarından biri olan ve yeryüzündeki büyük depremlerin %17'sinin gerçekleştiği Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunması, ülkemizdeki mevcut binaların deprem etkisi altındaki davranışının, diğer bir deyişle performansının belirlenmesi ve

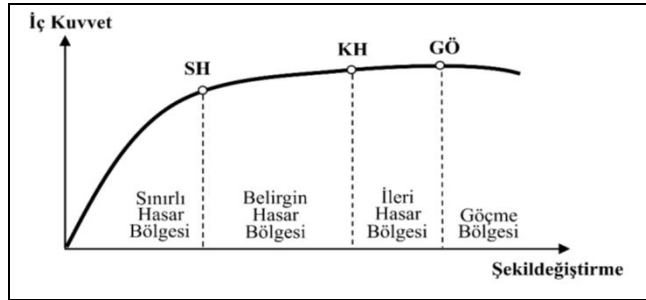
olası bir yetersizlik durumunda gereken tedbirlerin alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Deprem kuşağında yer alan ülkeler, mevcut binaların performanslarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili hükümleri içeren yönetmelikler yayımlayarak yaşanacak olası felaketlerin önüne geçilmesi bakımından önlem almaya çalışmaktadırlar. Ülkemizde de bu amaçla 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY2007) [1] içeriğine, "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" başlığıyla yeni bir bölüm ilave edilmiştir. Bu yeni bölümde mevcut binaların değerlendirilmesinde uygulanacak hesap ilkeleri ve

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

güçlendirme çalışmalarında esas alınacak tasarım ilkeleri verilmiştir. Ancak geçen süreç içinde yaşanan gelişmeler ve ilerlemeler, Deprem Yönetmeliği'nin güncellenmesini gerekli hale getirmiştir. Bu bağlamda 2018 yılında Deprem Yönetmeliği tekrar yenilenmiştir. Eleman hasarlarının tarifinde kullanılan şekil değiştirme sınırları, etkin kesit rijitliklerinin hesabı, yerel zemin sınıflarının tarifi, binalarda oluşacak deprem talebini tarif eden spektrumların hesabı ve performans değerlendirmesi sırasında göz önüne alınması gereken performans hedefleri de dahil olmak üzere 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018) [2], pek çok yeni kriter getirmektedir. DBYBHY2007 [1]'de "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" başlığıyla Bölüm 7'de sunulan kısım; TBDY2018 [2]'de "Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerinin Değerlendirilmesi ve Güçlendirme Tasarımı İçin Özel Kurallar" başlığıyla geliştirilerek Bölüm 15'te verilmiştir. Yönetmeliğin bu bölümüne göre deprem hesabının amacı, mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansını belirlemektir.

TBDY2018 [2]'nin mevcut ve güçlendirilecek tüm binaların ve bina türü yapıların deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kurallarının anlatıldığı Bölüm 15'te; incelenecek binalardan bilgi toplama kriterleri, yapı elemanlarının kesit hasar sınırları/hasar bölgeleri (Şekil 1) ve deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Şekil 1'de sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Hasar sınırları Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ) olarak ifade edilmiş ve kritik kesitlerinin hasarı SH'ya ulaşmayan elemanların Sınırlı Hasar Bölgesi'nde, SH ile KH arasında kalan elemanların Belirgin Hasar Bölgesi'nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanların İleri Hasar Bölgesi'nde, GÖ'yü aşan elemanların ise Göçme Bölgesi'nde yer aldığı belirtilmiştir. Sınırlı hasar ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi durum ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlanmaktadır.



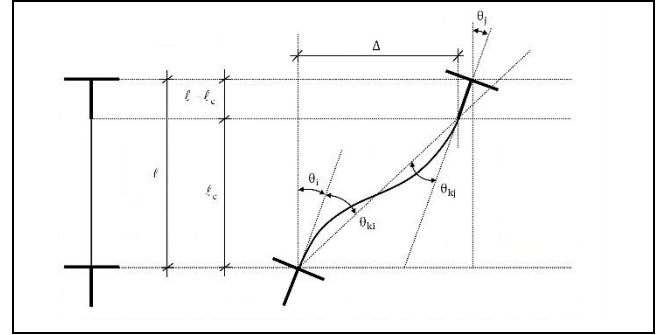
Şekil 1. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri TBDY2018 [2].

Figure 1. Damage limits and states described in TBC2018.

TBDY2018 [2]'de mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansının belirlenmesi amacıyla doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanılabilmesi belirtilmektedir. Bu kapsamda doğrusal hesap yöntemleri kullanılarak düşey taşıyıcıların her bir ucu için yerdeğiştirmiş eksen dönmeleri ( $\theta_{kj}$ ) ve plastik dönme taleplerinin ( $\theta_{pi}$ ) hesaplanması ve plastik dönmeler için izin verilen sınır değerlerle ( $\theta_p^{GÖ, KH, SH}$ ) karşılaştırılması ve değerlendirilmesi sonucunda eleman ve nihayetinde de bina deprem performansı belirlenmektedir.

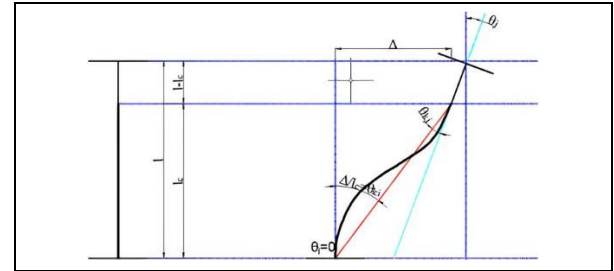
TBDY2018 [2] Şekil 15.A1'de bina analizi sonrasında kolon uçlarında gerçekleşecek dönmeler ile görel kat ötelemelerini birbiri ile ilişkilendirilen ve yerdeğiştirmiş eksen dönmeleri adı ile tarif edilen durumun temsili görüntüsü verilmektedir (Şekil 2). Bu temsili görüntü ara kat düşey taşıyıcı elemanları için verildiğinden, şekilde dönmeler ve yer değiştirmeler düşey taşıyıcı elemanların hem alt hem de üst uçlarında meydana gelmektedir.

Temele rijit olarak bağlanan ve temel noktasında dönme ve yer değiştirme meydana gelmeyen düşey taşıyıcı elemanlar için yerdeğiştirmiş eksen dönmeleri farklı bir şekilde hesaplanacaktır. Elemanın çift eğrilikli ve tek eğrilikli davranması durumunda Şekil 3'te verilen durumlar gelişecektir. Şekil 2 ve Şekil 3'te belirtilen;  $l$  elemanın toplam boyunu,  $l_c$  net açıklığını,  $\Delta$  kat arası görel ötelenmeyi,  $\theta_i$  ve  $\theta_j$  sırasıyla  $i$  ve  $j$  düğüm noktalarının dönmelerini,  $\theta_{ki}$  ve  $\theta_{kj}$  sırasıyla  $i$  ve  $j$  uçlarındaki yerdeğiştirmiş eksen dönmelerini göstermektedir.

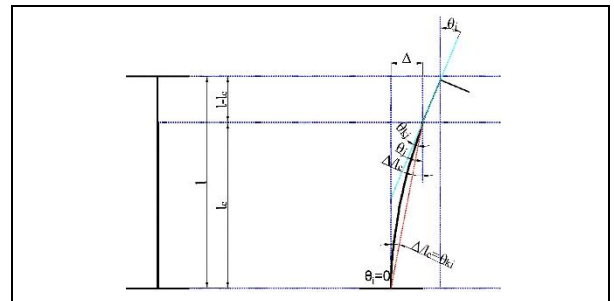


Şekil 2. Yerdeğiştirmiş eksen ve düğüm noktası dönmeleri ile kat arası ötelenmenin ilişkisi [2].

Figure 2. The relationship between story drift, nodal rotations, and chord rotations.



(a): Orta kolon.



(b): Kenar kolon veya perde duvar.

Şekil 3. Zemin kat kolonlarında yerdeğiştirmiş eksen ve düğüm noktası dönmeleri ile kat arası ötelenmenin ilişkisi.

Figure 3. The relationship between story drift, nodal rotations, and chord rotations in ground floor columns.

Mpampatsikos ve diğ. [3] yerdeğiştirmiş eksen dönmesi kapasitesinin ele alınan elemanın hem geometrik ve mekanik özelliklerine hem de sismik girdiye bağı olduğunu bu nedenle kapasitenin elemanın kendine özgü bir özelliğı olmadığını ve sismik talebin bir fonksiyonu olarak hesaplamak gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmada ayrıca sismik talebe olan bağımlılığın ortadan kaldırılması ve karmaşık teorik hesaplamaları daha basit ampirik formüllerle değıştirilmesinin değıerlendirmeyi çok daha basit hale getireceğini vurgulamışlardır.

Mevcut betonarme binaların deprem performansları elemanların performanslarına bağı olduğundan elemanların yük (veya moment) ve deplasman (eğrilik veya dönme) kapasitelerinin hesabında yapılacak varsayımlar davranışı da doğrudan etkileyecektir. Deprem performans hesaplarını standart bir çözümünün olabilmesi, hesap yapacak mühendislerin varsayımları kolayca yapabilmesi ve işlem süresini kısaltması amacı ile deprem yönetmeliklerinde yöntemler tarif edilmektedir. Her ne kadar yöntemler çoğı hesabı anlaşılır ve kolay uygulanır hale getirirse de betonarme bir binanın deprem performansının el hesabı ile yapılması önemli bir zamana ihtiyaç duyduğundan pratik olamaktadır. Hem işi hızlandırmak hem de kolaylaştırmak adına yapısal analiz programları geliştirilmiştir. Türkiye’de en yaygın kullanılan üç paket program genel isimleri ile Sta4CAD, İdeCAD ve ProtaStructure’dır. Bu üç program da yönetmelik kurallarını dikkate alarak kullanıcıya kontrollü bir tasarım ve değıerlendirme imkânı vermektedir. Programlar her ne kadar yönetmelikteki kuralları dikkate alıyor olsa da bina analizi hususundaki farklılıklar sebebi ile farklı sonuçlara ulaşabilmektedir. Örneğın Serimer [4] tez çalışmasında, düzensiz bir geometriye sahip bir binayı ProtaStructure, İdeCAD, Sta4CAD ve iki boyutlu analiz yapan “Babalioğlu programlarını” kullanarak analiz etmiş ve SAP2000 paket programını referans olarak değıerlendirmelerde bulunmuştur. Analiz sonucunda kolonlardaki burulma momenti bakımından paket programlardaki çıktıların SAP2000 paket programıyla tutarlı sonuçlar vermediğı, kolonlara etki eden kesme kuvveti bakımından sadece ProtaStructure programının referans paket programıyla uyduğu ve dolayısıyla piyasada kullanılan paket programların düzenli olmayan binaların statik analizini yaparken hatalı sonuçlar verebileceğini ifade etmiştir.

Kuyucular ve Kandak [5] yapmış oldukları çalışmada betonarme karkas yapı tasarımı için ülkemizde en çok kullanılan üç yazılım İdeCAD, ProtaStructure ve Sta4CAD ile tasarlanan 6 farklı çok basit yapının sonuçlarını karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda statik değıerlerdeki yazılım kaynaklı farklılıklar, özellikle çok katlı, perdeli ve düzensiz yapılar için yüksek olduğunu ancak toplam yapı ağırlığı gibi birincil değıerlerdeki farklılığın nispeten küçük olduğunu belirtmiştir.

Gelibolu [6], DBYBHY-2007’yi esas alarak aynı kat yükleri altında 5 katlı iki binayı; Sta4CAD ve SAP2000 paket programları ile mod birleştirme yöntemine göre deprem kuvvetleri ve düzensizlikler açısından karşılaştırmıştır. Yapılan analiz sonucunda ele alınan parametreler bakımından kullanılan paket programlardan elde edilen çıktıların birbirine çok yakın olduğu ortaya konmuştur.

Sırlıbaş [7] tez çalışmasında, depreme karşı dayanıklı yapıların projelendirilmesinde Sta4CAD (panel/poligon perdeli modelleme) ve ETABS programlarını kullanarak analiz yapmış ve çıkan sonuçları karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre

taşıyıcı sistemi simetrik olmayan ve yüksek katlı betonarme yapıların analiz sonuçları arasında ciddi farklılıklar görülmüştür. Çalışmada ayrıca kullanılan paket programlara bağı olarak metraj farklılıklarının olduğu belirtilmiştir.

Bir başka tez çalışmasında Shirinov [8], DBYBHY2007 hükümleri çerçevesinde 1 katlı, 3 katlı ve 5 katlı binalar tasarlayarak bu binaları mevcut binalar olarak kabul ederek İdeCAD, Sta4CAD ve SAP2000 programları ile performans analizlerini yapmıştır. Analiz sonuçlarına göre doğal titreşim periyotları ve taban kesme kuvvetlerinin birbirine yakın olduğu ancak ele alınan 4 farklı bina örneğinden ikisinin bina performans düzeyleri bakımından farklı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Karayer ve Severcan [9] tarafından özel sektörde sıklıkla kullanılan paket programlarla çizilen projeler analiz sürecinde hata verilmemesi durumunda ilgili kamu kurumlarına incelenmesine rağmen doğru kabul edilip uygulama aşamasına geçilebildiğı ancak piyasada kullanılan hangi paket programın en doğru sonuçları verdiği konusunun ise tartışmalı olduğu ifade edilmiştir.

Karayer ve Severcan [9], On beş katlı olan taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve ve betonarme karma sistem olan farklı tiplerde iki yapı modelini SAP2000, İdeCAD ve Sta4CAD statik paket programlarıyla analiz etmiştir. Analiz sonuçları, DBYBHY2007 kurallarına dayanarak, bina ağırlıkları, doğal titreşim periyotları, etkin kütle katılım oranları, deprem kuvvetleri, yumuşak kat düzensizlikleri ve ikinci mertebe etkileri açısından bu paket program çıktılarının karşılaştırmasını içermektedir. Çalışmada Ele alınan parametrelerin paket programlardaki çıktıları kıyaslandığında; Bina ağırlıkları bakımından SAP2000 programının diğeri paket programlara nazaran daha yüksek sonuçlar verdiği, doğal titreşim periyot değıerleri incelendiğinde ise İdeCAD programının diğeri paket programlara göre daha düşük sonuçlar sunduğı belirtilmiştir. İncelenen diğeri parametreler bakımından ise her üç statik paket program çıktıları arasında anlamlı bir farkın olmadığı belirtilmiştir.

Kolak [10] yapmış olduğu tez çalışmasında, zemin + 7 kattan oluşan ve taşıyıcı sistemi betonarme karma sistem olan bir binanın artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak deprem performans analizini için SAP2000 ve ProtaStructure programları yardımıyla yapmıştır. Analiz sonuçlarına göre taban kesme kuvvetleri bakımından iki paket program çıktıları arasındaki farkın %4’ün altında, tepe noktası yer değıistirmesi bakımından paket program çıktıları arasındaki farkın ise %1’in altında olduğu belirtilmiş olup ProtaStructure programıyla elde edilen sonuçların SAP2000 programı ile tutarlı olduğu ifade edilmiştir.

Yukarıda özetleri verilen çalışmalar genel olarak değıerlendirildiğinde mevcut yapısal analiz programlarının düzenli geometriye ve taşıyıcı sistem elemanlarına sahip betonarme bina analizi ve değıerlendirmesinde benzer sonuçlar verdiği fakat bina geometrisi ve taşıyıcı sisteminin düzensiz olması durumunda önemli farklılıklar ortaya çıkabildiğı ifade edilmiştir.

TBDY2018 [2]’de bireysel eleman performansının belirlenmesinde eleman uç dönmeleri ve görelî kat yerdeğıistirmeleri kullanılmakta ve moment-dönme kapasitesi ile kıyaslanmaktadır. Yapısal analizde yapılacak varsayımlar uç dönmelerini doğrudan etkileyebileceğinden eleman performansını da etkileyecektir. Ayrıca elemanın moment-dönme kapasitesi de bazı varsayımlara bağı olduklarından bu

varsayımların da değerlendirmeyi etkileme ihtimali bulunmaktadır. Dolayısıyla TBDY2018 [2]'de betonarme binaların deprem performans değerlendirme sürecinin eleman kapasitelerine bağlı olması sebebi ile mevcut yapısal analiz programlarının değerlendirmelerinde önemli farklılıklar ortaya çıkabileceği düşünülmektedir.

Mevcut bina değerlendirmesinde deprem etkisiyle elemanların her iki ucunda oluşan dönmeleri tahmin etmek zor ve karmaşık bir iş olduğundan bu çalışmada TBDY2018 [2]'de verilen şekil değiştirme sınırları referans alınarak, eleman uç dönmeleri kullanılmadan sadece kesme kuvveti ve göreceli kat ötelemesi tabanlı bir yöntem önerilmektedir. Yapısal analizlerde sıklıkla kullanılan üç program ile SAP2000 programı kullanılarak el hesabı ile analizler yapılarak önerilen yöntemin güvenilirliği test edilmiştir.

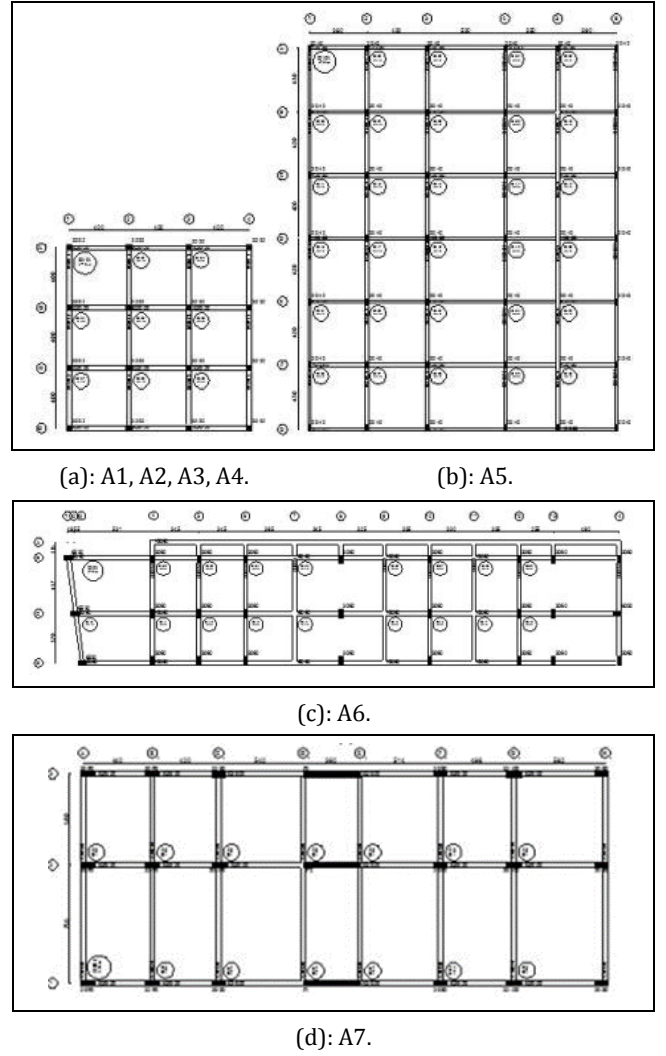
## 2 Materyal ve yöntem

### 2.1 Çalışma kapsamında ele alınan bina bilgileri

Bu çalışmada aynı plana ve düzenli geometriye sahip olmasına rağmen farklı kat adeti ve malzeme dayanımlarına sahip 4 adet betonarme bina tasarlanmış, bunlara ilave olarak düzenli geometriye sahip 3 adet mevcut bina olmak üzere toplam 7 adet bina ele alınarak Sta4CADv14.1, İdeCADv10 ve ProtaStructure2022 statik paket programları ile modellenmiş ve doğrusal performans analizleri yapılmıştır. Ayrıca SAP2000v20 programı kullanılarak ele alınan binalar bir kez daha modellenerek analiz edilmiştir. SAP2000'de yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler TBDY2018 [2]'de mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla verilen deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar çerçevesinde, Microsoft Excel Programı'nda oluşturulan formülasyonlara işlenmiş ve incelenen mevcut binalardaki düşey taşıyıcıların hasar durumları belirlenmiştir.

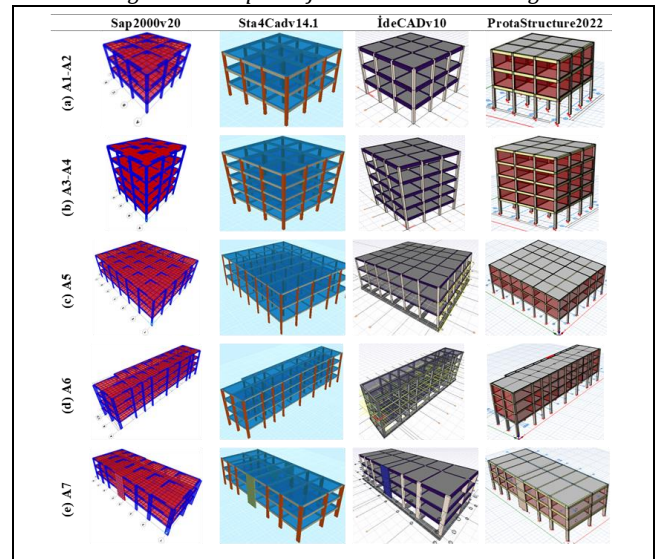
Çalışmada bodrum katı olmayan Şekil 4(a)'da gösterilen aynı plana ve kolon kesitlerine sahip 3 katlı C10 beton ve S220 donatı malzeme kalitelerine sahip A1 No.lu bina; 3 katlı C25 beton ve S420 donatı malzeme kalitesine sahip A2 No.lu bina; 5 katlı, C10 beton ve S220 donatı malzeme özelliklerine sahip A3 numaralı bina; 5 katlı C25 beton ve S420 donatı malzeme özelliklerinin olduğu A4 No.lu bina olmak üzere düzenli geometriye sahip dört adet bina mevcut bina modeli olarak oluşturulmuş ve incelenmiştir. Yine çalışma kapsamında Van il sınırları içinde bulunan planları Şekil 4(b) ve Şekil 4(d)'de gösterilen; 3 katlı C10 ve S220 malzeme dayanımlı A5 ve A7 No.lu binalar ile Şekil 4(c)'de gösterilen 4 katlı C10 ve S220 malzeme dayanımlı A6 No.lu bina olmak üzere düzenli geometriye sahip üç adet mevcut bina da ele alınmıştır.

Aks aralıkları 4 m olacak şekilde her bir yönde 4 aks tanımlanan, her bir kat yüksekliği 3 m olan ve planı Şekil 4(a)'da gösterilen A1, A2, A3 ve A4 numaralı binaların tüm kolonlarının 35x35cm, tüm kirişlerin 30x50cm ebatlarında olduğu ve binaların Van il sınırında olduğu varsayılarak deprem yükü hesaplanmıştır. Planları Şekil 4(a)'da verilen ve üç katlı olarak tasarlanan A1 ve A2 binaları Şekil 5(a)'da, Şekil 4(a)'da verilen ve beş katlı olarak tasarlanan A3 ve A4 binaları Şekil 5(b)'de, Şekil 4(b)'de verilen A5 binası Şekil 5(c)'de, Şekil 4(c)'de verilen A6 binası Şekil 5(d)'de ve son olarak Şekil 4(d)'de verilen A7 binası Şekil 5(e)'de gösterildiği gibi Sta4CADv14.1, İdeCADv10, ProtaStructure2022 ve SAP2000v20 programları ile modellenerek deprem performans analizleri yapılmıştır.



Şekil 4. İncelenen binaların plan görünüşleri.

Figure 4. The plan of the examined buildings.



Şekil 5. İncelenen binaların yapısal analiz programlarında çizilmiş 3D modelleri.

Figure 5. The 3D models of the examined buildings modeled in structural analysis programs.

Ayrıca mevcut betonarme bina analizleri için Şekil 4(b)'de gösterilen tüm kolonları 20x40 cm ve tüm kirişleri 20x30 cm ölçülerinde olan mevcut A5 binası, Şekil 4(c)'de gösterilen 3 adet kolonu 30x65 cm, diğer kolonları 30x60 cm ve tüm kirişleri 30x30cm ebatlarında olan mevcut A6 binası ile Şekil 4(d)'de belirtilen ve kolon ölçüleri 30x80 cm-35x100 cm aralığında 6 farklı ebatla toplam 27 kolonu bulunan ve tüm kirişleri 30x50 cm olan mevcut A7 binası için yerinde alınan bilgiler kullanılarak binalar yine 4 farklı yapısal analiz programı kullanılarak modellenmiş (Şekil 5) ve deprem performans analizleri yapılmıştır.

Kullanılan statik analiz programlarında ele alınan tüm binaların döşeme kalınlıkları 15 cm ve döşeme üzerindeki hareketli yükleri ise 0,2 t/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. A1, A2, A3 ve A4 binalarında kiriş üzerindeki duvar yükleri hem iç hem de dış kirişlerde 0,56 t/m; A7 binasında 0,51 t/m olarak programlara tanımlanışken A5 ve A6 binaları için dış kiriş üzerindeki duvar yükleri 0,51 t/m, iç kiriş üzerindeki duvar yükleri ise 0,41 t/m olarak programlara veri girişi yapılmıştır.

## 2.2 Kullanılan yapısal analiz programı

STA4CAD, betonarme ve çelik yapıların 3D modellemesini ve statik analizini gerçekleştirmek ve mevcut bina performans analizi için kullanılan bir yapısal analiz programıdır. Program, kullanıcı basit arayüze sahip olup, yapı modelleme, malzeme tanımlama, yük atama ve analiz gibi işlemlerin kolaylıkla gerçekleştirilmesini sağlar. Program, farklı ülkelerin yapı tasarım standartlarına uygun tasarım yapabilme opsiyonuna sahip olup kullanıcılar, program sayesinde ulusal veya uluslararası standartlara göre yapılarını tasarlayabilir ve analiz edebilirler. Program, farklı malzeme tiplerini (beton, çelik, ahşap, vb.) ve bunların mekanik özelliklerini tanımlayabilme imkanı sunmaktadır. Ayrıca program ile çeşitli yük tipleri tanımlanabilir ve analiz edilebilir. Yapıya etki eden yüklerin hesaplanmasıyla yapısal performansın değerlendirilmesi sağlanır [11].

ProtaStructure2022, yapı bilgi modellemesi, sonlu elemanlar yöntemi, yönetmelik destekli tasarım ve bina güçlendirme analizleri gibi inşaat mühendisliği alanında kapsamlı bir yazılım programıdır. Çelik, kompozit ve betonarme yapı elemanlarını tek bir entegre modelde birleştirerek tasarım sürecini kolaylaştırır. Program, yapı bileşenlerinin detaylı bir şekilde modellenmesini sağlayan yapı bilgi modellemesi konseptini kullanır. Sonlu elemanlar yöntemi, matematiksel algoritmalarla yapının davranışını sayısal olarak analiz etmeyi mümkün kılar. ProtaStructure2022, yerel ve uluslararası yapı tasarım standartlarına uyumlu olarak çalışır ve performans değerlendirmesi ile bina güçlendirme analizlerinde etkili bir yapısal analiz programıdır [12].

İdeCAD Statik, yapı sistemlerinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesini sağlayan özel bir yapısal analiz programıdır. Program, yapıların modellenmesi, sonlu elemanlar analizi, yönetmelik uyumlu tasarım, performans değerlendirmesi ve güçlendirme gibi işlemleri gerçekleştirir. İdeCAD Statik, farklı diyafram tiplerini destekleyen bir yapısal analiz aracıdır. Program sayesinde betonarme, çelik veya karma yapılar, deprem yönetmeliğine uygun olarak modellenebilir. Ayrıca, kabuk elemanları da kullanarak döşemeler, perdeler, çubuklar ve temeller gibi yapı bileşenleri birlikte analiz edilebilir [13].

SAP2000, Amerika merkezli Computers and Structures, Inc. tarafından geliştirilen bir programdır. Uluslararası alanda yaygın kullanılan bu yapısal analiz yazılımı, çeşitli ülkelerin

yönetmeliklerine uygun olarak tasarım ve analiz yapabilir. Çubuk, plaka, kabuk ve hacimsel elemanları destekleyen SAP2000, betonarme, çelik, kompozit ve ahşap yapılar için yönetmelik destekli tasarımlar sunar. Entegrasyon yeteneğiyle AutoCAD, Revit ve Excel gibi yazılımlarla uyumlu çalışır ve analiz sonuçlarını ayrıntılı raporlar ve grafiklerle sunabilir [14].

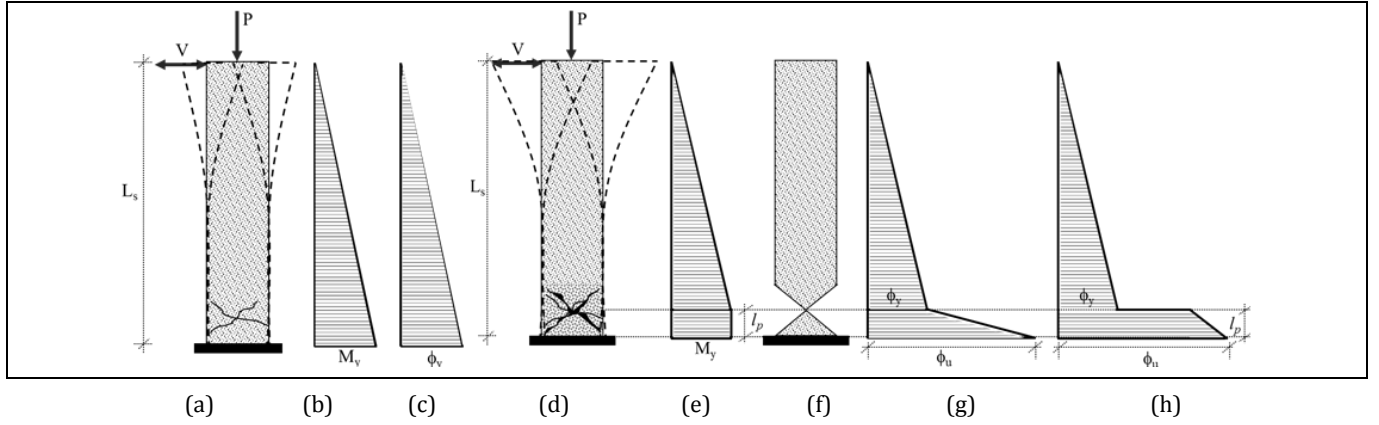
## 2.3 Yöntem

Boyuna doğrultudaki eksenine dik yönde etkiyen bir yük altında betonarme bir eleman eğilecektir. Bu eğilme neticesinde moment ( $M$ ) ile birlikte elemanda eğrilik ( $\phi$ ) oluşacaktır. Moment ile eğrilik arasındaki ilişki başlangıçta doğrusal iken beton çatladıkça doğrusallık bozulacak fakat akma noktasına kadar eğrilik ile birlikte taşınan moment de artacaktır. Akma momentine ulaşıldığında ise moment değeri elemanın sargılama özelliği ve eksenel yük seviyesine bağlı olarak ya hafif artışlar sergileyecek ya da artamayacak ve donatılar yükü deplasman ile taşımaya çalışarak büyük eğriliklere ulaşmak istenecektir.  $M - \phi$  eğrisinin herhangi bir noktasındaki eğimin eğilme rijitliğine ( $EI$ ) karşılık geldiği bilindiğinden, moment artışı ile birlikte rijitlik azalmakta ve eğrilik artmaktadır.

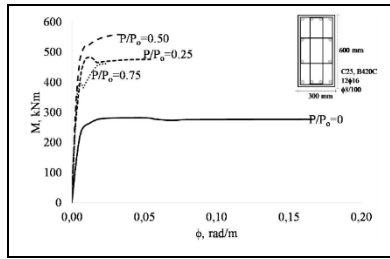
$M - \phi$  eğrisi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir [15],[16]. En önemli faktörler arasında eksenel yük seviyesi ve sargı miktarı gösterilebilir. Şekil 6(a)'dan görüleceği üzere eksenel yük seviyesi arttıkça eleman gevrekleşmekte ve belirli bir eksenel yük seviyesine kadar moment kapasitesi artmakta (genellikle dengeli kırılmaya kadar) daha sonra ise moment kapasitesinde azalma gözlenmektedir. Sargı etkisinin incelendiği Şekil 6(b)'de ise sargı miktarının azalması ile elemanın süneklik yeteneğinin azaldığı görülebilir.

$M - \phi$  eğrisi tipik bir betonarme elemanın dayanımı, rijitliği ve sünekliği ile ilgili önemli bilgiler vermektedir. Dolayısıyla bu grafik kullanılarak elemanın moment-dönme ( $M - \theta$ ) ve kesme kuvveti-yatay deplasman ( $V - \Delta$ ) ilişkileri de elde edilebilmektedir.  $M - \phi$  eğrisi eğrisel bir karaktere sahip olduğundan  $M - \theta$  ve  $V - \Delta$  ilişkilerine dönüştürülmesi zahmetli olabilmektedir. Bu sebeple  $M - \phi$  eğrisi çoğunlukla iki doğrulu veya üç doğrulu olacak şekilde Eşit Enerji Kuralı prensibine göre idealleştirilmektedir. Ayrıca idealleştirme için farklı varsayımlar da yapılabilmektedir [17],[18]. Bu çalışmada  $M - \phi$  eğrileri Eşit Enerji Kuralı kullanılarak iki doğrulu şekilde idealize edilmiştir Şekil 6(c) ve Şekil 6(d).

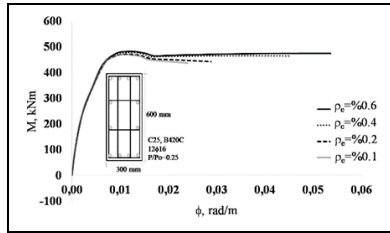
İdealize edilmiş  $M - \phi$  eğrilerini  $M - \theta$  ve  $V - \Delta$  ilişkilerine dönüştürmek için moment-alan teoremi kullanılabilir [19]. Şekil 7(a)'da verilen kolona etkiyen yatay  $V$  kuvveti kolon tabanında moment oluşturmada Şekil 7(b) ve bu moment değeri akma momentine ulaşıncaya kadar artabilmektedir. Akma momentine ulaşıldığında kolon tabanındaki eğrilik akma eğrilğine ulaşacaktır Şekil 7(c). Kolon akma momentine ulaştığında geçmeyecek aksine moment değeri ve dolayısıyla taşınan kesme kuvveti önemli düzeyde değişmeden deforme olmaya devam edecektir Şekil 7(d) ve Şekil 7(e). Deformasyon artışı ile birlikte zorlanan kesitlerde plastikleşmeler başlayacak Şekil 7(f) ve nihai eğrilğe kadar eleman zorlandıktan sonra göçecektir Şekil 7(g). Burada en önemli hususlardan birisi elemanın en çok zorlanan bölümünün ne kadar plastikleşeceği. Plastik mafsallı boyu ( $l_p$ ) bu zorlamanın miktarını yansıtmaya çalışmaktadır.



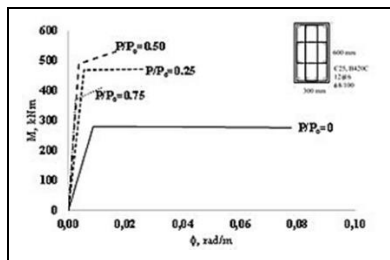
Şekil 6. M- $\phi$  eğrisini etkileyen faktörler.  
Figure 6. Factors affecting M- $\phi$  curves.



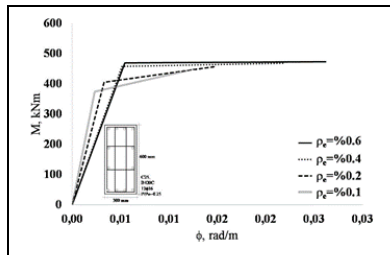
(a): Eksenel yük oranının M- $\phi$  eğrisine etkisi.



(b): Sargı oranının M- $\phi$  eğrisine etkisi.



(c): İdealize edilmiş M- $\phi$  ( $P/P_o$  etkisi).



(d): İdealize edilmiş M- $\phi$  eğrileri (sargı etkisi).

Şekil 7. Moment diyagramının eğrilik diyagramına dönüşümü.  
Figure 7. Conversion of moment diagram to curvature diagram.

Betonarme kolonların yatay yük-yatay deplasman tepkisinin önceden bilinmesi binanın deprem performansının tahmin edilebilmesi açısından önemlidir. Elemanın moment kapasitesi aşıldığı durumda eleman hasar göreceği için plastik mafsallı oluşacaktır ve bu mafsallı noktadaki kuvvet dağılımı değişecektir. Plastik mafsallı noktasındaki bu zorluğu aşmak için plastik mafsallı boyu tanımlanmıştır. Plastik mafsallı boyu Şekil 7'de gösterilen hasar görmüş bölgenin uzunluğu olarak dikkate alınmakta ve  $l_p$  ile ifade edilmektedir.

Plastik mafsallı boyu ile ilgili olarak yaklaşık 70 yıldır deneyler yapılmakta ve öneriler sunulmaktadır. Bu çalışmada plastik mafsallı boyunun çeliğin işlenebilirliğine [20], eksenel yükü [19]-[21], beton dayanımına [19]-[21], boyuna donatı çapına [22], boyuna donatı akma dayanımına [22], eleman kesit boyutlarına [2],[19]-[23] ve elemanın kesme açıklığına [19]-[24] bağlı olduğu ifade edilmiş ve Tablo 1'de özeti verilen denklemler önerilmiştir.

Tablo 1. Plastik mafsallı boyu ile ilgili olarak önerilmiş denklemler.

Table 1. Plastic hinge length equations available in the literature.

| Referans Çalışma           | Önerilen Denklem   |     |
|----------------------------|--|-----|
| Baker (1956)               | $l_p \leq dk_1 k_2 k_3 \left(\frac{L_s}{d}\right)^{0.25}$  | (1) |
| Corley (1966)              | $l_p \leq \frac{d}{2} + 0.2 \frac{L_s}{\sqrt{d}}$  | (2) |
| Park ve diğ. (1982)        | $l_p \leq 0.4h$  | (3) |
| Paulay ve Priestley (1992) | $l_p \leq 0.08L_s + 0.022d_b f_y$ ve sonuç olarak $l_p \leq 0.5h$  | (4) |
| Bae ve Bayrak (2008)       | $l_p = \left\{ \left[ 0.3 \left(\frac{P}{P_o}\right) + 3 \left(\frac{A_s}{A_g}\right) - 0.1 \right] \left(\frac{L_s}{h}\right) + 0.25 \right\} h \geq 0.25h$ | (5) |
| Mortezaei (2014)           | $l_p = 0.85 \left[ 1 + 0.45 \frac{P}{P_o} \right] \left(\frac{L_s}{h}\right)^{0.2} kh \quad \left(\frac{P}{P_o} > 0.2\right)$                                | (6) |
| TBDY2018                   | $l_p = 0.55h \quad \left(\frac{P}{P_o} \leq 0.2\right)$<br>$l_p = 0.5h$  | (7) |

Denklemlerde  $L_S$  kritik kesit ile eğriliğin yön değiştirdiği nokta arasındaki mesafeyi,  $d$  kesitin faydalı yüksekliğini,  $h$  kesit yüksekliğini,  $k_1$  çeliğin işlenme durumunu,  $k_2$  eksenel yük seviyesini,  $k_3$  ise beton dayanımına bağlı olarak verilen katsayıları,  $d_b$  boyuna donatı çapını ifade etmektedir.

Plastik mafsal boyu  $M - \phi$  ilişkisinde nihai eğrilik, nihai dönme ve nihai deplasman ile doğrudan bağlantılıdır ve plastik mafsal boyunun azalması ile kat deplasmanları artmaktadır [25]. Deprem yönetmeliklerinde hem daha basit olması hem de işlem kolaylığı açısından sabit plastik mafsal boyları tarif edilmekte ve eleman hasar sınırları buna göre belirlenmektedir. Hem güvenli tarafta kalması hem de pratik olması açısından TBDY2018’de tanımlanan plastik mafsal boyu ( $l_p = 0.5h$ ) bu çalışmada referans olarak alınmıştır.

Moment-alan teoremi uyarınca Şekil 7(c)’de verilen eğrilik grafiğinin alanı akma dönmesini ( $\theta_y$ ), bu alanın momentin sıfır olduğu serbest uca göre momenti ise akma deplasmanını ( $\Delta_y$ ) verecektir. Aynı şekilde Şekil 7(g)’deki nihai eğrilik grafiğinin altındaki alan ile nihai dönme kapasitesi ( $\theta_u$ ), bu alanın yine momentin sıfır olduğu noktaya göre alınan momenti ile de nihai deplasman ( $\Delta_u$ ) bulunabilecektir. Şekil 7(g) güvenli tarafta kalacak bir yaklaşımla basitleştirilerek Şekil 7(h)’daki gibi ele alınabilir. Bu bilgiler ışığında,

Akma durumu için;

$$\theta_y = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)\phi_y}{2} = \frac{L\phi_y}{4} \text{ rad} \quad (10)$$

$$\Delta_y = \frac{L^2\phi_y}{12} m \quad (11)$$

Nihai durum için;

$$\theta_u = \frac{L\phi_y}{4} + l_p(\phi_u - \phi_y) \text{ rad} \quad (12)$$

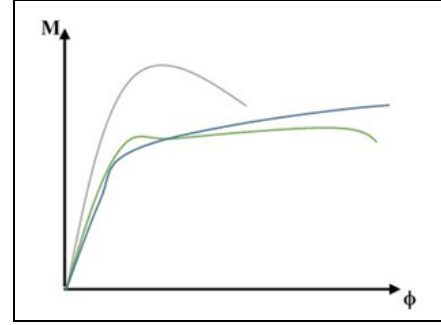
$$\Delta_u = \frac{L^2\phi_y}{12} + l_p(\phi_u - \phi_y)\left(\frac{L}{2} - \frac{l_p}{2}\right) m \quad (13)$$

denklemleri yazılabilir. Burada  $L$  elemanın net boyunu ifade etmektedir ve yaklaşık  $2L_S$  alınabilir. Denklem 10 – 13 kullanılarak Şekil 8’de gösterildiği üzere  $M - \phi$  ilişkisinden  $V - \Delta$  ilişkisine geçilebilmektedir. Nihai dönme ve deplasman değerleri plastik mafsal boyu varsayımından doğrudan etkilemektedir.

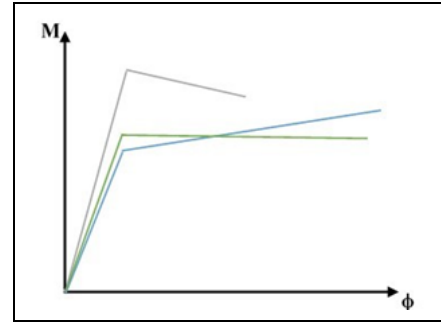
Bu çalışmada sadece kritik kattaki düşey taşıyıcı elemanlar (kolonlar) dikkate alınmakta ve kolonların  $V - \Delta$  ilişkisi kullanılarak deprem performansı belirlenmeye çalışılmaktadır. Burada eğrilikten deplasmana geçildiğinde hasar tahminini gerçeğe yakın yapabilmek adına deplasman değerleri belirli katsayılar ile çarpılarak grafikler kalibre edilmektedir. Önerilen yöntemde eleman hasar sınırları Şekil 9’da verilmiştir. Burada  $V - \Delta$  kapasite grafiği üzerinde gösterilen sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bu hasar sınırları Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ) sınır değerleridir.

SH ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, KH kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, GÖ ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlanmaktadır. Kritik kesitlerinin hasarı SH’ya ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi’nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, KH ile GÖ arasında kalan

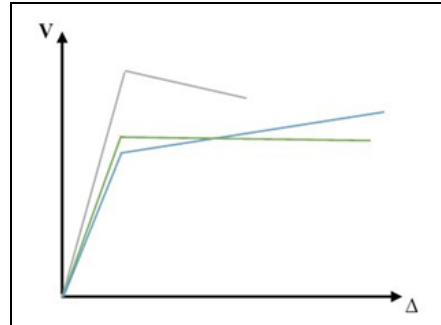
elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde ve GÖ’yü aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde yer almaktadırlar.



(a)



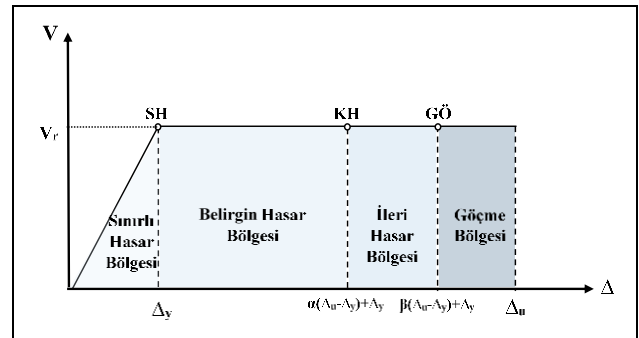
(b)



(c)

Şekil 8(a):  $M - \phi$  ilişkisi, (b) İdealize edilmiş  $M - \phi$  ilişkisi. (c):  $V - \Delta$  ilişkisi.

Figure 8(a):  $M - \phi$  relationship. (b): Idealized  $M - \phi$  relationship. (c):  $V - \Delta$  relationship.



Şekil 9. Önerilen yöntemle göre kesit hasar sınırları ve bölgeleri.

Figure 9. Damage boundaries and regions according to proposed method.

Çalışmada düşey yükler ile birlikte depremin ortak etkisi altında yapılan yapısal analizler neticesinde düşey taşıyıcı elemanlara etkiyen eksenel yük, kesme kuvvetleri ve momentler kaydedilmekte, aynı zamanda düşey taşıyıcı elemanlar için elde edilen deplasman ve dönme değerleri kullanılarak "Eşit Enerji Kuralı"na göre geliştirilen formülasyonlarla taşıyıcı eleman bazında elemanların hasar durumları ve sınırları  $V - \Delta$  grafiği üzerinde belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

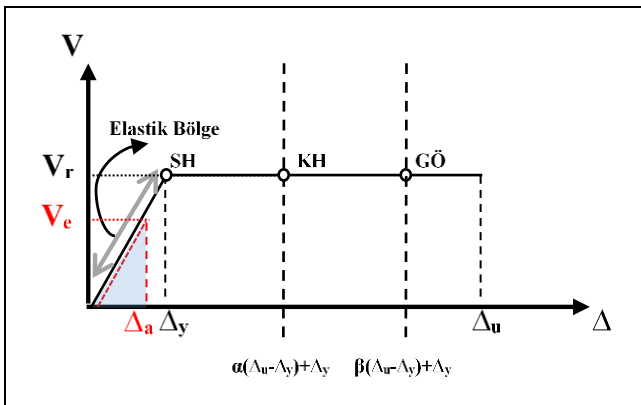
- TBDY2018'de belirtilen doğrusal analiz kuralları kullanılarak yapısal model oluşturulmaktadır,
- Modelde elemanların çatlamamış oldukları varsayılmıştır,
- Kritik kat zemin kattır,
- Kritik kattaki düşey taşıyıcı elemanlar (kolonlar ve perde duvarlar) dikkate alınmıştır.

Şekil 9'da verilen hasar sınırları ve bu sınırlara bağlı oluşan hasar bölgeleri referans alınarak önerilen yöntemdeki formülasyonlarda belirtilen  $V_e$  ve  $\Delta_a$  kolonun yapısal analizler neticesinde düşey yükler ve depremin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvvetini ve yatay deplasmanı,  $V_r$  kolonun TS500 [26] ve TBDY2018 [2] kurallarına göre hesaplanan kesme kuvveti kapasitesini,  $\Delta_y$  akma durumundaki deplasmanı,  $\alpha$  Belirgin Hasar Bölgesi ile İleri Hasar Bölgesini kontrol eden katsayıyı,  $\beta$  İleri Hasar Bölgesi ile Göçme Bölgesini kontrol eden katsayıyı ve  $\Delta_u$  ise nihai deplasmanı ifade etmektedir.

Yöntemde geliştirilen formülasyonlar ve bu formülasyonlara bağlı olarak oluşturulan kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri aşağıda belirtilmiştir.

Sınırlı Hasar Bölgesi (SH): Geliştirilen yöntemde elemanın doğrusal analizi ile elde edilen kesme kuvveti ( $V_e$ ) ve deplasman değerinin ( $\Delta_a$ ) Şekil 10'da gösterilen  $V-\Delta$  grafiğinde yerleşimi sonucu oluşan üçgensel alanın ( $\frac{V_e \Delta_a}{2}$ ) elastik bölgede kalması ( $\frac{V_r \Delta_y}{2}$ ), incelenen düşey taşıyıcı elemanın (SH) bölgesinde olduğunu göstermektedir (Denklem 14).

$$\frac{V_e \Delta_a}{2} \leq \frac{V_r \Delta_y}{2} \rightarrow \text{"SH"} \quad (14)$$

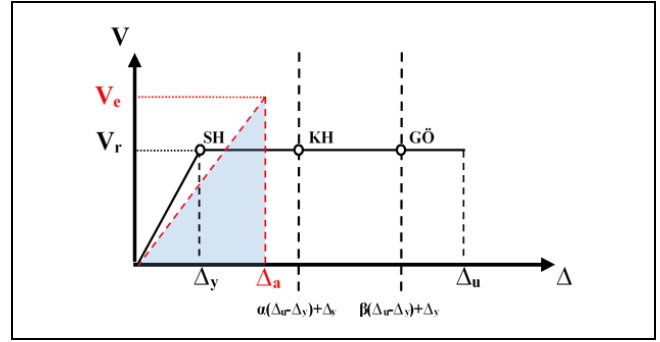


Şekil 10. Geliştirilen yöntemde tanımlanan "Sınırlı hasar bölgesi".

Figure 10. "Minimum Damage State" defined according to the proposed method

Belirgin Hasar Bölgesi (BH): Geliştirilen yöntemde elemanın doğrusal analizi ile elde edilen  $V_e$  ve  $\Delta_a$ 'nın Şekil 11'de gösterilen  $V-\Delta$  grafiğinde yerleşimi sonucu oluşan üçgensel alanın ( $\frac{V_e \Delta_a}{2}$ ) elastik bölgeyi geçmesi ile oluşan üçgensel ve dörtgensel alanı ( $(\Delta_u - \Delta_y)V_r \alpha$ ) içine alacak kadar deplasman yapması, incelenen taşıyıcı elemanın (BH) bölgesinde olduğunu göstermektedir (Denklem 15).

$$\frac{V_r \Delta_y}{2} \leq \frac{V_e \Delta_a}{2} \leq \frac{V_r \Delta_y}{2} + (\Delta_u - \Delta_y)V_r \alpha \rightarrow \text{"BH"} \quad (15)$$

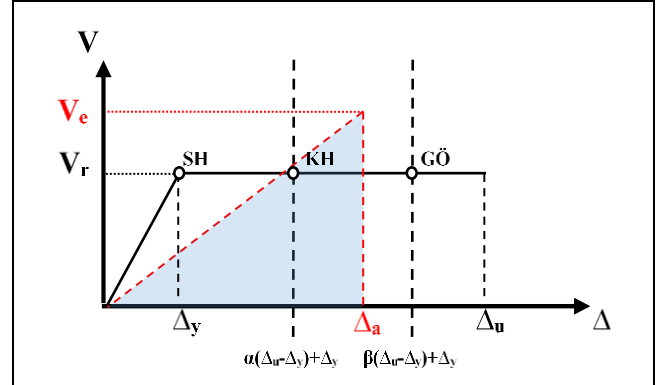


Şekil 11. Geliştirilen yöntemde tanımlanan "Belirgin Hasar Bölgesi".

Figure 11. "Significant Damage State" defined according to the proposed method.

İleri Hasar Bölgesi (İH): Geliştirilen yöntemde elemanın doğrusal analizi ile elde edilen  $V_e$  ve  $\Delta_a$ 'nın Şekil 12'de gösterilen  $V-\Delta$  grafiğinde yerleşimi sonucu oluşan üçgensel alanın ( $\frac{V_e \Delta_a}{2}$ )  $\alpha$  ile  $\beta$  sınır bölgeleri arasında kalması ile oluşan alan sınırı kadar deplasman yapması, incelenen taşıyıcı elemanın (İH) bölgesinde olduğunu göstermektedir (Denklem 16).

$$\frac{V_r \Delta_y}{2} + (\Delta_u - \Delta_y)V_r \alpha \leq \frac{V_e \Delta_a}{2} \leq \frac{V_r \Delta_y}{2} + (\Delta_u - \Delta_y)V_r \beta \rightarrow \text{"İH"} \quad (16)$$



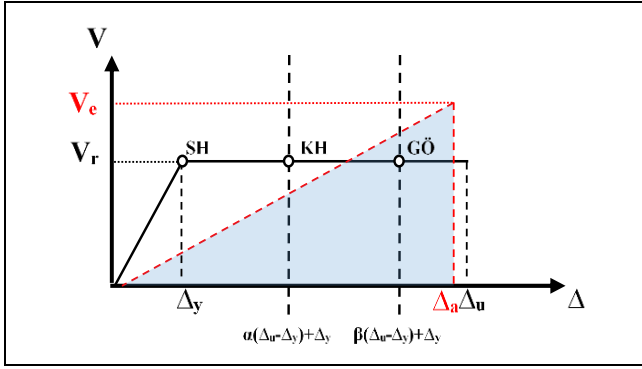
Şekil 12. Geliştirilen yöntemde tanımlanan "İleri Hasar Bölgesi".

Figure 12. "Advanced Damage State" defined according to the proposed method.

Göçme Bölgesi (GB): Geliştirilen yöntemde elemanın doğrusal analizi ile elde edilen  $V_e$  ve  $\Delta_a$ 'nın Şekil 13'te gösterilen  $V-\Delta$  grafiğinde yerleşimi sonucu oluşan üçgensel alanın ( $\frac{V_e \Delta_a}{2}$ )  $\beta$  ile belirlenen sınır bölgesini geçmesi ile oluşan alan sınırı kadar deplasman yapması, incelenen taşıyıcı elemanın (GB) bölgesinde olduğunu göstermektedir (Denklem 17).

$$\frac{V_r \Delta_y}{2} + (\Delta_u - \Delta_y)V_r \beta \leq \frac{V_e \Delta_a}{2} \rightarrow \text{"GB"} \quad (17)$$





Şekil 13. Geliştirilen yöntemle tanımlanan "Göçme Bölgesi".

Figure 13. "Collapse State" defined according to the proposed method.

### 3 Bulgular ve tartışma

Çalışma kapsamında önerilen deplasman tabanlı yöntemin güvenilirliğini sınamak amacıyla 4 adet simetrik ve 3 adet asimetrik plana sahip bina SAP2000v20, Sta4CADv14.1, ProtaStructure2022 ve İdeCADv10 yapısal analiz programları ile modellenmiş ve TBDY2108 kuralları çerçevesinde deprem performans analizleri yapılmıştır.

#### 3.1 Modellerin kütle ve periyot karşılaştırmaları

İnceleme kapsamındaki binalar TBDY2018'de doğrusal analiz yöntemleri için belirtilen kurallar (örneğin TBDY2018 ile uyumlu olacak şekilde kolon, giriş ve döşeme elemanları için eğilme rijitliği ( $EI$ ) değerleri sırasıyla başlangıç rijitliklerinin

%70, %35 ve %25'i alınarak etkin kesit rijitlikleri kullanılmıştır) dikkate alınarak modellenmiş ve öncelikle kütle ve dinamik özellikleri karşılaştırılarak bu özelliklerin birbirlerine yakın olması için kalibrasyonlar uygulanmıştır. Tablo 2'de incelenen binaların son kalibrasyonundan elde edilen kütle ( $m$ ) ve ilk üç moda ait periyotları ( $T1, T2$  ve  $T3$ ) karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca tabloda SAP2000v20 ile elde edilen kütle ve periyotlar referans alınarak diğer yapısal analiz programlarından elde edilen değerlerin farkı da gösterilmiştir. Tablodan görüleceği üzere kütleler %3.75 ile %11.96 arasında farklılık göstermektedir. Bunun kabul edilebilir bir fark olduğu değerlendirilmiştir. Birinci doğal titreşim periyotları karşılaştırıldığında ise daha yakın sonuçlara ulaşıldığı ve farkın %0 ile %6.6 arasında olduğu belirlenmiştir. Benzer farklar  $T2$  ve  $T3$ 'te de gözlenmiştir. Sonuç olarak incelenen 7 adet binanın kütle ve dinamik özelliklerinin 4 farklı programda da birbirine yakın olduğu belirlenmiş ve deprem performans analizleri yapılmıştır.

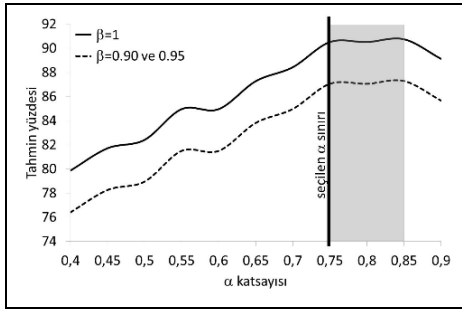
#### 3.2 Hasar sınır değerlerinin belirlenmesi

Önerilen deplasman tabanlı değerlendirmede BH ile İH bölgelerini ayıran  $\alpha$  ve İH ile GB bölgelerini ayıran  $\beta$  katsayılarının kalibrasyonunun yapılması ve uygun katsayıların bulunması gerekmektedir. Bu kapsamda incelenen kolonlara ait kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen formülasyonlar ışığında farklı özelliklere sahip 7 bina (A1, A3, A5 ve A7) analiz edilerek toplamda 64 kolondan elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Formülasyonlarda kullanılan ve BH ile İH bölgelerini ayıran  $\alpha$  katsayısı için farklı değerler tanımlanarak İH ile GB arasındaki sınır değer olan  $\beta$  katsayısı için en uygun sınır değer araştırılmıştır (Şekil 14).

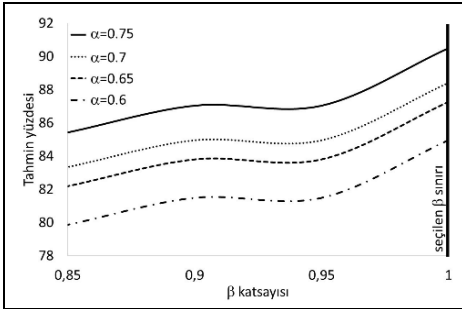
Tablo 2. Ele alınan binaların paket programlara göre belirlenen bina kütleleri (m) ve periyotları (T).

Table 2. The masses (m) and periods (T) of the examined buildings determined according to the structural analysis programs.

| Binalar | Paket Programlar   | m (ton) | T1 (s) | T2 (s) | T3 (s) | m <sub>Fark</sub> ,% | T1 <sub>Fark</sub> ,% |
|---------|--------------------|---------|--------|--------|--------|----------------------|-----------------------|
| A1      | SAP2000v20         | 540.0   | 0.75   | 0.75   | 0.63   | -                    | -                     |
|         | Sta4CADv14.1       | 492.9   | 0.74   | 0.74   | 0.56   | -8.72                | -1.33                 |
|         | ProtaStructure2022 | 491.7   | 0.76   | 0.76   | 0.66   | -8.94                | 1.33                  |
|         | İdeCADv10          | 475.4   | 0.72   | 0.72   | 0.60   | -11.96               | -4.00                 |
| A2      | SAP2000v20         | 540.0   | 0.54   | 0.54   | 0.45   | -                    | -                     |
|         | Sta4CADv14.1       | 492.9   | 0.53   | 0.53   | 0.40   | -8.72                | -1.85                 |
|         | ProtaStructure2022 | 491.7   | 0.55   | 0.55   | 0.48   | -8.94                | 1.85                  |
|         | İdeCADv10          | 475.4   | 0.52   | 0.52   | 0.44   | -11.96               | -3.70                 |
| A3      | SAP2000v20         | 935.9   | 1.27   | 1.27   | 1.06   | -                    | -                     |
|         | Sta4CADv14.1       | 854.2   | 1.26   | 1.26   | 0.95   | -8.73                | -0.79                 |
|         | ProtaStructure2022 | 852.3   | 1.28   | 1.28   | 1.12   | -8.93                | 0.79                  |
|         | İdeCADv10          | 825.1   | 1.22   | 1.22   | 1.00   | -11.84               | -3.94                 |
| A4      | SAP2000v20         | 935.9   | 0.92   | 0.92   | 0.77   | -                    | -                     |
|         | Sta4CADv14.1       | 854.2   | 0.91   | 0.91   | 0.69   | -8.73                | -1.09                 |
|         | ProtaStructure2022 | 852.3   | 0.93   | 0.93   | 0.81   | -8.93                | 1.09                  |
|         | İdeCADv10          | 825.1   | 0.88   | 0.88   | 0.73   | -11.84               | -4.35                 |
| A5      | SAP2000v20         | 1294.3  | 1.80   | 1.35   | 1.21   | -                    | -                     |
|         | Sta4CADv14.1       | 1213.3  | 1.86   | 1.40   | 1.22   | -6.26                | 3.33                  |
|         | ProtaStructure2022 | 1212.5  | 1.80   | 1.36   | 1.23   | -6.32                | 0.00                  |
|         | İdeCADv10          | 1177.3  | 1.69   | 1.47   | 1.15   | -9.04                | -6.11                 |
| A6      | SAP2000v20         | 1481.7  | 1.52   | 1.40   | 1.25   | -                    | -                     |
|         | Sta4CADv14.1       | 1352.1  | 1.56   | 1.49   | 1.25   | -8.75                | 2.63                  |
|         | ProtaStructure2022 | 1380.8  | 1.52   | 1.43   | 1.25   | -6.81                | 0.00                  |
|         | İdeCADv10          | 1390.6  | 1.45   | 1.31   | 1.18   | -6.15                | -4.61                 |
| A7      | SAP2000v20         | 1344.3  | 1.06   | 0.54   | 0.35   | -                    | -                     |
|         | Sta4CADv14.1       | 1250.0  | 1.02   | 0.51   | 0.33   | -7.01                | -3.77                 |
|         | ProtaStructure2022 | 1278.3  | 0.99   | 0.54   | 0.33   | -4.91                | -6.60                 |
|         | İdeCADv10          | 1293.9  | 1.04   | 0.50   | 0.33   | -3.75                | -1.89                 |



(a):  $\alpha$  katsayısının belirlenmesi.

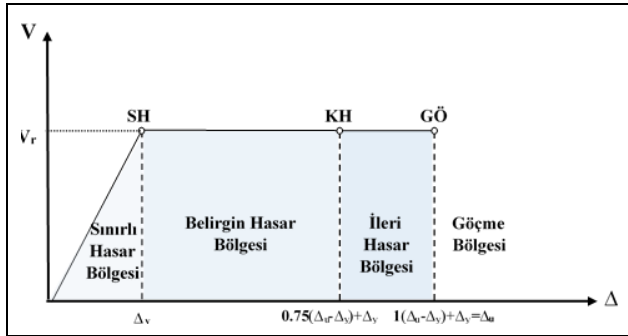


(b):  $\beta$  katsayısının belirlenmesi.

Şekil 14. Önerilen Yöntemin sınır değerlerinin belirlenmesi.

Figure 14. Determination of the limiting values of the proposed method.

Formülasyonlarda kullanılan  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayıları ile kesme kuvveti-deplasman grafiğinde belirtilen KH ve GÖ sınır değerleri için belirlenen 0.75 ve 1 değerleri kullanılarak; geliştirilen deplasman tabanlı yöntem için nihai kesit hasar sınırları ve bölgeleri Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15. Önerilen yönteme göre kesit hasar nihai sınırları ve bölgeleri.

Figure 15. The final boundaries and damage regions according to the proposed method.

Tablo 3. Önerilen yöntemin el hesabı ve diğer paket programlar ile uyumu (%).

Table 3. Compatibility of the proposed method with hand calculation and other programs (%).

| Bina | El Hesabı (SAP2000v20) | İdeCADv10 | ProtaStructure2022 | Sta4CADv14.1 |
|------|------------------------|-----------|--------------------|--------------|
| A1   | 100                    | 75        | 75                 | 75           |
| A2   | 100                    | 0         | 100                | 0            |
| A3   | 100                    | 31.3      | 50                 | 25           |
| A4   | 100                    | 25        | 100                | 100          |
| A5   | 100                    | 100       | 100                | 100          |
| A6   | 100                    | 100       | 96.3               | 100          |
| A7   | 100                    | 66.7      | 61.1               | 61.1         |
| Ort. | 100                    | 56.9      | 83.2               | 65.9         |

Şekilde "Kesme Kuvveti ( $V$ )-Deplasman ( $\Delta$ )" grafiği üzerinde gösterilen sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bu hasar sınırları; Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ) sınır değerleridir. KH ve GÖ sınır değerlerinin belirlenmesinde kullanılan  $\alpha$  katsayısı  $\Delta_u$  ve  $\Delta_y$  arasındaki mesafenin %75'ini;  $\beta$  katsayısı ise  $\Delta_u$  ve  $\Delta_y$  arasındaki mesafenin tamamını ifade etmektedir.

### 3.3 İncelenen binalarda önerilen yöntemin TBDY2018 (el hesabı) ve diğer paket programlar ile karşılaştırılması

$\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarının belirlenmesi için kullanılan 4 binaya ilave olarak farklı özelliklere sahip 3 adet bina da SAP2000v20 ile modellenildikten sonra mod birleştirme yöntemi ile doğrusal analiz yapılarak TBDY2018'de mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla verilen deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar çerçevesinde zemin katta yer alan kolonlara ait hasar bölgesi belirlenmiştir.

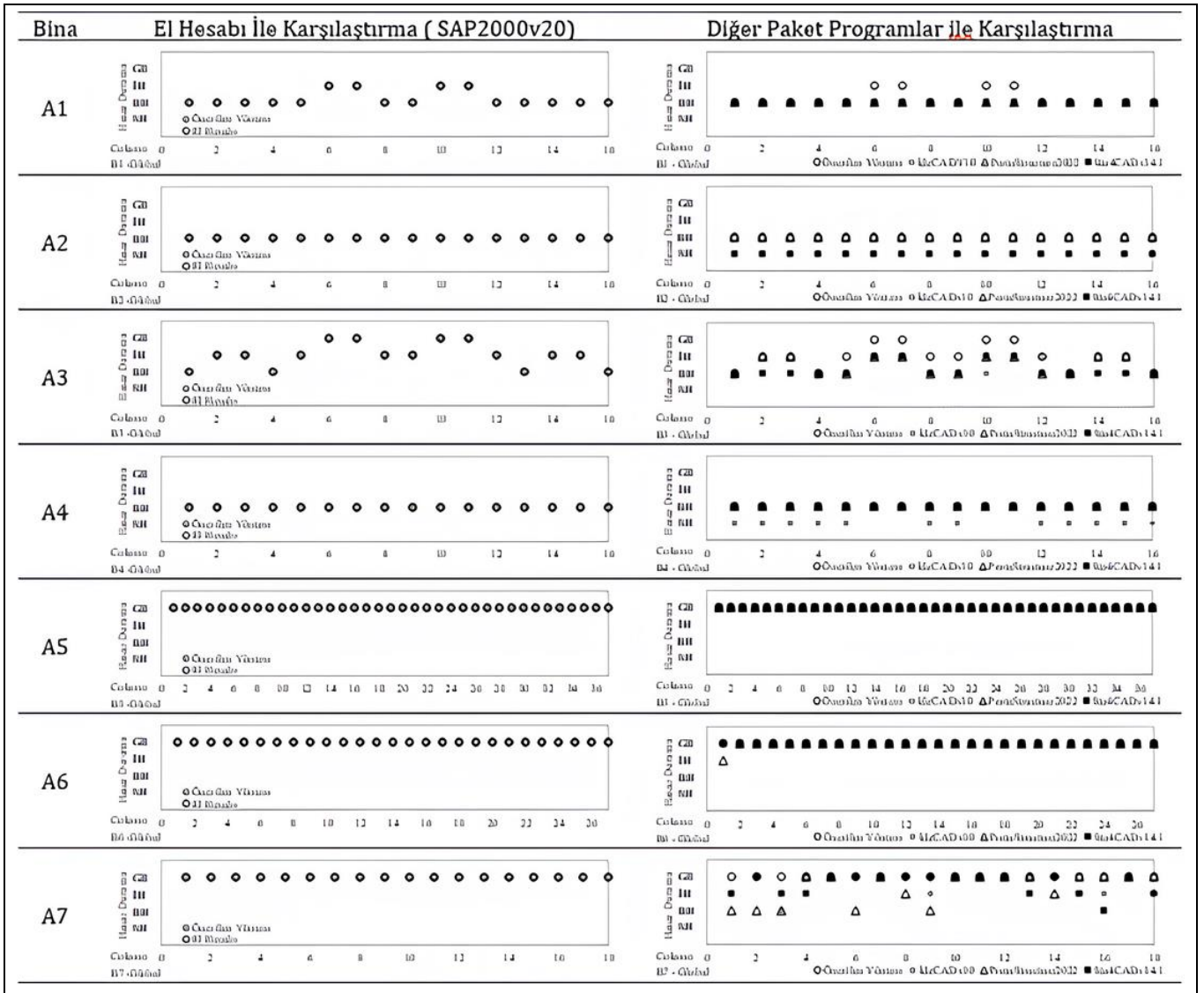
Çalışma kapsamında önerilen yöntem ile değerlendirme yapabilmek için aynı binalar SAP2000v20 ile etkin kesit rijitlikleri tanımlanmadan mod birleştirme yöntemi ile bir kez daha modellenmiş ve analiz edilmiştir. Analizler neticesinde zemin katta yer alan kolonlara etkiyen kesme kuvvetleri ile kolon deplasmanları dikkate alınarak kolonların ayrı ayrı hasar durumları hesaplanmıştır.

Şekil 16'da ele alınan bütün binaların zemin kat kolonlarının deprem performansları global yönde (kolonların hasar durumu bakımından  $x$  ve  $y$  yönlerinden kritik olan yöndeki hasar durumu) için karşılaştırmalı olarak verilmiş ve Tablo 3'te uyum yüzdeleri özetlenmiştir.

Şekil 16'dan görüleceği üzere TBDY2018 [2]'de mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla verilen deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar çerçevesinde yapılan *El Hesabı* ile önerilen yöntemin ele alınan tüm binalarda %100 uyumlu çıktığı belirlenmiştir.

Şekil 16'da önerilen yöntemin diğer paket programlarla olan uyumu incelendiğinde ise önerilen yöntemin diğer paket programlara nazaran daha güvenli tarafta kalmakla beraber genel olarak uyumlu çıktığı görülmektedir.

Tablo 3 incelendiğinde çalışma kapsamında önerilen yöntemin piyasada sıklıkla kullanılan statik paket programlardan ProtaStructure2022 ile olan uyumun Sta4CADv14.1 ve İdeCADv10 ile olan uyumdan daha iyi olduğu görülmektedir. Önerilen yöntem ile paket programlar arasındaki uyumun çok az olduğu ya da hiç olmadığı binalarda da kolonların yer aldığı hasar bölgeleri birbirine yakın olduğu Şekil 16'da görülmektedir.



Şekil 16. Bina performanslarının karşılaştırılması.

Figure 16. Comparison of building performances.

Örneğin A2 binasında önerilen yöntemin Sta4CADv14.1 ve İdeCADv10 ile uyumun 0 olduğu belirlenmiş olup Şekil 16 incelendiğinde ele alınan binaların önerilen yöntem ve ProtaStructure2022 ile analizi sonucunda tüm kolonların BH bölgesinde olduğu görülürken Sta4CADv14.1 ve İdeCADv10 ile yapılan analiz sonucunda ise SH bölgesinde yer aldıkları görülmektedir.

### 3.4 Önerilen yöntemin uygulama adımları

Yukarıdaki bölümlerde betonarme binaların kritik katlarındaki kolonların deprem performanslarının belirlenmesinde kesme kuvveti ( $V$ ) ve deplasman ( $\Delta$ ) ilişkisinin kullanılabilceği ortaya konulduğundan dolayı önerilen yöntemin uygulama adımlarının detayları bu bölümde verilmiştir.

- İncelenecek betonarme binadan TBDY2018'de belirtilen kurallar dikkate alınarak malzeme, kesit vs. bilgileri toplanacaktır,
- Betonarme bina sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir yapısal analiz programı ile modelleneyecektir. Modelleme,

- Etkin kesit rijitlikleri kullanılmayacaktır,
- $R$  ve  $I$  katsayıları kullanılmayacaktır,
- TBDY2018'de belirtilen kütle katılım oranını sağlayacak şekilde yeterli sayıda mod sayısı kullanılacaktır,
- Doğrusal analiz yapılacaktır,
- Eşdeğer deprem yükü yöntemi veya mod birleştirme yöntemlerinden biri kullanılarak deprem yükü binaya her iki yönde TBDY2018 kuralları çerçevesinde etki ettirilecektir.

- Analiz sonucunda kolon kesme kuvveti depremin her iki yönü ile uyumlu olacak şekilde alınacaktır,
- Analiz sonucunda kolonun her iki ucu için depremin her iki yönü ile uyumlu olacak şekilde yatay deplasmanlar alınarak görelî kat deplasmanları ( $\Delta = \Delta_j - \Delta_i$ ) hesaplanacaktır. Burada  $\Delta_j$  kolonun üst ucunun yatay deplasmanı,  $\Delta_i$  ise kolonun alt ucunun yatay deplasmanıdır,

- TBDY2018'de belirtilen kurallar kullanılarak kolonun her iki asal yönü için moment-eğrilik ( $M - \phi$ ) analizi yapılacak ve  $M - \phi$  grafiği eşit enerji kuralı kullanılarak iki doğrulu şekilde idealize edilerek  $M_y - \phi_y$  ve  $M_u - \phi_u$  çiftleri belirlenecektir. Burada  $M_y$  kolonun akma momentini,  $M_u$  nihai momentini,  $\phi_y$  kolonun akma noktasındaki eğriliğini ve  $\phi_u$  nihai eğriliği ifade etmektedir.  $\phi_u$  değeri akma momentinin maksimum %85 düştüğü değer ile hesaplanacaktır,
- İdealize edilmiş  $M - \phi$  grafiği moment-alan yöntemi kullanılarak  $V - \Delta$  grafiğine dönüştürülecektir. Dönüşüm sonrası  $V_y - \Delta_y$  ve  $V_u - \Delta_u$  çiftleri elde edilecektir (Denklem 18 – 20). Denklemlerde  $L_c$  kolonun boyunu,  $L_{cn}$  kolonun net açıklığını ve  $L_p$  plastik mafsalsal boyunu (0.5h) ifade etmektedir.

$$V_y = V_u = \frac{2M_y}{L_c} \quad (18)$$

$$\Delta_y = \frac{\phi_y L_{cn}^2}{12} \quad (19)$$

$$\Delta_u = \Delta_y + (\phi_u - \phi_y) l_p \left( \frac{L_{cn} - l_p}{2} \right) \quad (20)$$

- Denklem 14, 15, 16 ve 17 kullanılarak kolonun deprem performansına karar verilecektir.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında; düzenli geometriye sahip 7 adet bina için doğrusal elastik analiz yöntemlerinden, Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak deprem performans analizi yapılmıştır. Performans analizi için SAP2000v20, Sta4CADv14.1, İdeCADv10 ve ProtaStructure2022 statik paket programları kullanılmıştır. Yapılan analizler ve Tartışma bölümünde özetlenen sonuçların ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Doğrusal olmayan hesaplarda kullanılan parametrelerin bina performanslarını doğrudan etkilemesi sebebi ile Moment-Eğrilik Analizi için güvenilir bir malzeme modeline ihtiyaç duyulmakla beraber uygun bir plastik mafsalsal uzunluğunun da dikkate alınması gerekmektedir,
- Önerilen yöntemde kesit hasar sınır bölgelerinin belirlenmesi için kesme kuvveti-deplasman grafiğinde KH ve GÖ sınır değerlerinin belirlenmesinde kullanılan  $\alpha$  katsayısı  $\Delta_u$  ve  $\Delta_y$  arasındaki mesafenin %75'ini;  $\beta$  katsayısı ise  $\Delta_u$  ve  $\Delta_y$  arasındaki mesafenin tamamını ifade edecek şekilde Belirgin Hasar Bölgesi ile İleri Hasar Bölgesi'ni ayıran KH sınır değerinin " $0.75(\Delta_u - \Delta_y) + \Delta_y$ " ve İleri Hasar Bölgesi ile Göçme Bölgesi'ni ayıran GÖ sınır değerinin " $1.00(\Delta_u - \Delta_y) + \Delta_y$ " olmasına karar verilmiştir,
- Mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla önerilen deplasmana dayalı yöntemin TBDY-2018'de belirtilen hesap ilkelerine göre yapılan el hesabı sonucu belirlenen kolon hasar bölgeleri ile global yönde birbirleriyle tam olarak (%100) uyumlu belirlenmiştir,
- Mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla önerilen deplasmana dayalı yöntemin piyasada yaygın olarak kullanılan Sta4CADv14.1, İdeCADv10 ve ProtaStructure2022 statik paket programlarına nazaran genel olarak daha güvenli

tarafta kalındığı; ayrıca önerilen yöntemin güvenli tarafta kalmasının yanı sıra incelenen paket programlarla da genel olarak uyumlu olduğu söylenebilir. Önerilen yöntemin ele alınan statik paket programlarından ProtaStructure2022 ile olan uyumunun diğer paket programlara göre nispeten daha uyumlu olduğu belirlenmiştir,

- Önerilen yöntemin düşük ve orta yükseklikteki binalara uygulanması tavsiye edilmektedir.

#### 5 Conclusions

Within the scope of this study, seismic performance analysis using the Modal Combination Method was conducted for 7 buildings with regular geometries. SAP2000v20, Sta4CADv14.1, İdeCADv10, and ProtaStructure2022 structural software packages were used for the performance analysis. Based on the analyses conducted and the results summarized in the Discussion section, the following conclusions were obtained.

- Due to the influence of the parameters used in the nonlinear analysis methods to evaluate the building performance, a reliable material model is needed for the Moment-Curvature Analysis, along with considering an appropriate plastic hinge length,
- In the proposed method, the  $\alpha$  coefficient, which determines the KH and GÖ limit values in the shear force-displacement curve for identifying the damage boundary regions, is determined as " $0.75(\Delta_u - \Delta_y) + \Delta_y$ ," representing 75% of the distance between  $\Delta_u$  and  $\Delta_y$ . Similarly, the  $\beta$  coefficient, which separates the Advanced Damage Region and the Collapse Region, is determined as " $1.00(\Delta_u - \Delta_y) + \Delta_y$ " representing the full distance between  $\Delta_u$  and  $\Delta_y$ ,
- It has been decided that the proposed displacement-based method for determining the seismic performance of existing buildings perfectly matches (100%) the column damage regions determined through hand calculations based on the design principles stated in TBDY-2018,
- Compared to the commonly used structural software packages such as Sta4CADv14.1, İdeCADv10, and ProtaStructure2022, the proposed displacement-based method generally remains on the safer side for assessing the seismic performance of existing buildings. Additionally, it can be stated that the proposed method is generally compatible with the analyzed software packages while maintaining a conservative approach. The compatibility of the proposed method with ProtaStructure2022 is relatively higher compared to other software packages,
- The proposed method is recommended to be used for low and medium-rise buildings.

#### 6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Harun CEYLAN ve Barış ERDİL fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi başlıklarında; Abdulhalim KARAŞIN sonuçların incelenmesi yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

## 7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 8 Kaynaklar

- [1] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. "T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı", Ankara, Türkiye, 26454, 2007.
- [2] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. "Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı". Ankara, Türkiye, 30364, 2018.
- [3] Mpampatsikos V, Nascimbene R, Petrini L. "A critical review of the R.C. frame existing building assessment procedure according to eurocode 8 and Italian seismic code". *Journal of Earthquake Engineering*, 134(12), 1818-1828, 2008.
- [4] Serimer G. Betonarme Binaların Performans Düzeylerinin Farklı Yazılımlar Kullanılarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [5] Kuyucular A, Kandak ÖÖ. "Statik-betonarme tasarım için Türkiye'de kullanılan ticari paket yazılımların farklı sonuçları". *X. Akademik Bilişim Konferansı*, Çanakkale, Türkiye, 30 Ocak-1 Şubat 2008.
- [6] Gelibolu İS. Sta4CAD Paket Programı İle SAP2000 Analiz Programının Mod Birleştirme Yöntemi Kullanarak Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2008.
- [7] Sırlıbaş C. Sta4CAD Farklı Tipteki Betonarme Yapıların Sta4cad Ve Etabs Programları İle Çözülmesi ve Sonuçların Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [8] Shirinov J. Betonarme Binaların Performans Düzeylerinin Farklı Yazılımlar Kullanılarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [9] Karayer A, Severcan MH. "Farklı tip betonarme yapıların paket programlar ile analizi ve karşılaştırılması". *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 1(2), 41-50, 2014.
- [10] Kolak MN. Çok Katlı Yapıların Farklı Paket Programlar İle Deprem Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2018.
- [11] Sta4-CAD. Versiyon 14.1. Sta Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şt., İstanbul, Türkiye, 2015. <http://www.sta4.net/> (01.06.2023).
- [12] ProtaStructure2022. "Versiyon 6.0.512. Prota Yazılım". Ankara, Türkiye, 2014. <https://www.protayazilim.com/protastucture> (01.06.2023).
- [13] İdeCAD. Versiyon 10. "İde Yapı". Bursa, Türkiye, 2014. <https://www.idecad.com.tr/> (01.06.2023).
- [14] SAP2000. Version 20. "Structural Software for Analysis and Design, Computers and Structures". Inc, USA. <https://www.csiamerica.com/products/sap2000> (01.06.2023).
- [15] Mander JB, Priestley MJN, Park R. "Observed stress-strain behavior of confined concrete". *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1826, 1998.
- [16] Ersoy U, Özcebe G. "Moment-curvature relationship of confined concrete sections". *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, 9(DEC), 5549-5553, 1998.
- [17] Federal Emergency Management Agency. "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures". Washington (DC), FEMA-440. 2005.
- [18] Applied Technology Council. "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings". Vols. 1 and 2. California, SSC96-01, 1996.
- [19] Bae S, Bayrak O. "Plastic hinge length of reinforced concrete columns". *ACI Structural Journal*, 105(3), 290-300, 2008.
- [20] Baker ALL. *Ultimate Load Theory Applied To The Design Of Reinforced And Prestressed Concrete Frames*. 1<sup>st</sup> ed. London, England, Concrete Publications Ltd, 1956.
- [21] Mortezaei A. "Plastic hinge length of RC columns under the combined effect of near-fault vertical and horizontal ground motions". *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 58(3), 243-253, 2014.
- [22] Paulay T, Priestley MJN. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. 1<sup>st</sup> ed. New York, USA, John Wiley and Sons, 1992.
- [23] Corley WG. "Rotational capacity of reinforced concrete beams". *Journal of the Structural Division*, 92(ST5), 121-146, 1966.
- [24] Park R, Priestley MJN, Gill WD. "Ductility of square-confined concrete columns". *Journal of Structural Division*, 108(ST4), 121-146, 1982.
- [25] Inel M, Ozmen HB. "Effects of plastic hinge properties in nonlinear analysis of reinforced concrete buildings". *Engineering Structures*, 28 (2006), 1494-1502, 2006.
- [26] Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. "T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı". ICS91.080.40, Ankara, Türkiye, 2000.

## EK A

A5 Binasının Mevcut Bina Performans Analizinin Önerilen Yönteme Göre Uygulama Adımları ve Değerlendirilmesi A5 binası için toplanan tüm veriler bir Microsoft Excel Programı'nda oluşturulan formülasyonlara işlenmiş ve hesaplamalar bu dosya üzerinden yapılmıştır. Önerilen yöntemin uygulama adımları aşağıda açıklanmıştır.

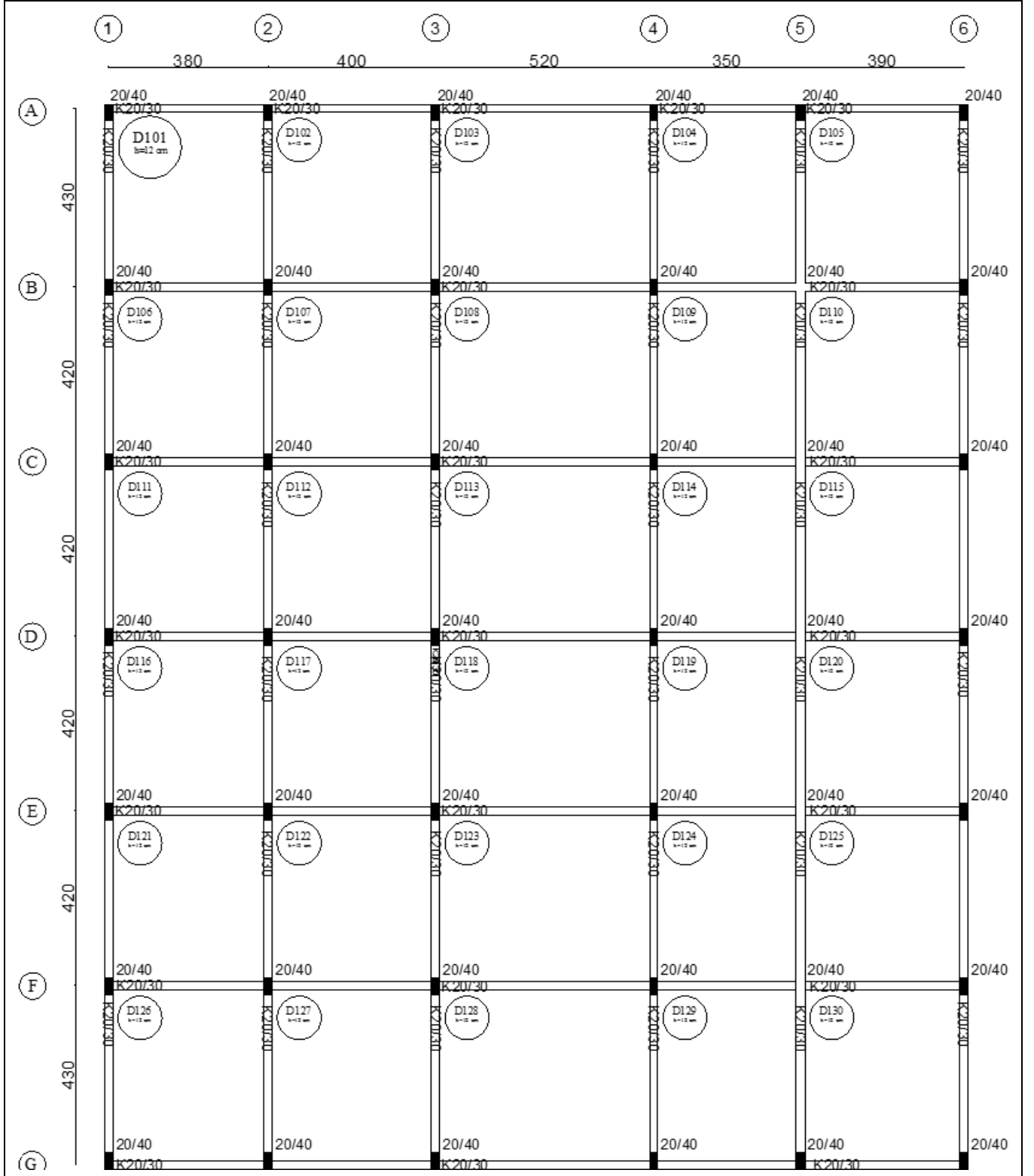
1. Bina projelerine ulaşılması ve yerinde inceleme yapılması ve Binaya ait verilerin toplanması

İncelenecek binaya ait projelerin edinilmesi ile birlikte binaya ait kesit ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. A5 Binasına ait plan Şekil Ek 1'de ve Microsoft Excel Programı'nda hazırlanan taşıyıcı elemanlara ait bilgiler Şekil Ek 2'de verilmiştir.

Şekil Ek 1(b)'de kolon yerleşimine göre "b" kolon genişliği, "h" kolon yüksekliği, "cc" pas payı, "d<sub>x</sub>, d<sub>y</sub>" kolonun x ve y yönündeki faydalı yüksekliği, "f<sub>ck</sub>" betonun karakteristik basınç dayanımını, "f<sub>cd</sub>" betonun tasarım basınç dayanımını, "f<sub>ctd</sub>" betonun tasarım çekme dayanımını, "f<sub>yk</sub>" çeliğin karakteristik akma dayanımını ve "f<sub>yd</sub>" boyuna donatının tasarım akma dayanımını, "f<sub>yw</sub>" enine donatının karakteristik akma dayanımını, "f<sub>ywd</sub>" enine donatının tasarım akma dayanımını, "s" enine donatı aralığını, "m<sub>x</sub>, m<sub>y</sub>" kesitin x ve y yönündeki etriye kol sayısını, "lc" kolonun net açıklığını, "E" elastisite modülünü ( $E = (3250\sqrt{f_{cd}} + 14000)1000 \text{ kN/m}^2$ ) ve "I<sub>x</sub>, I<sub>y</sub>" kesitin x ve y yönündeki atalet momentini ifade etmektedir. Burada binada hâlihazırda mevcut olan malzemeler incelendiği için  $f_{ck} = f_{cd}$  ve  $f_{yk} = f_{yd}$  alınmalıdır.

1. Binanın yapısal analiz programıyla modellenmesi

Çalışma kapsamında ele alınan binalar etkin kesit rijitlikleri kullanılmadan SAP2000v20 paket programı kullanılarak modellenmiştir (Şekil Ek 3).



(a)

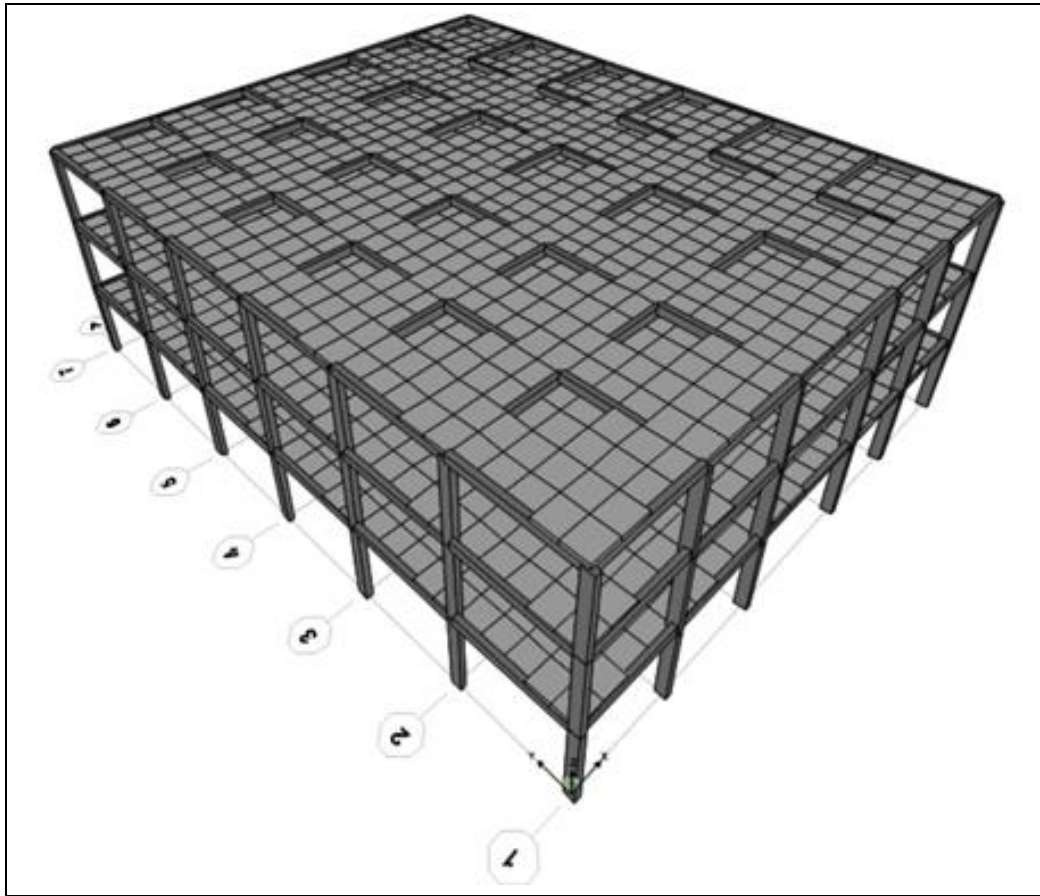
Şekil Ek 1. A5 Binasına ait plan görünümü ve taşıyıcı eleman bilgileri.

Figure Ek 1. The plan of the A5 building.

| BINA ADI | KAT    | KOLON ADI | Kolon yüksekliği, (mm) | MALZEME      |        |                     |                     |                     |                       |                       |                        |                   |                 |                       |                       |                       |                       |        |                          |                          | Döşeme Kalınlığı (mm) | Kürüş Yüksekliği (mm) | Kolon Net Açıklığı, $l_c$ (mm) | E (kN/m <sup>2</sup> ) | k (m <sup>2</sup> ) | I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> ) |         |
|----------|--------|-----------|------------------------|--------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------------|---------|
|          |        |           |                        | BETON KESİTİ |        |                     |                     |                     | Beton                 |                       |                        |                   | Boyuna Donatı   |                       |                       |                       | ETRİYE BİLGİLERİ      |        |                          |                          |                       |                       |                                |                        |                     |                                  |         |
|          |        |           |                        | b (mm)       | h (mm) | C <sub>s</sub> (mm) | d <sub>s</sub> (mm) | d <sub>e</sub> (mm) | f <sub>cu</sub> (MPa) | f <sub>cd</sub> (MPa) | f <sub>ctd</sub> (MPa) | Donatı No ve Sayı | çap $\phi$ (mm) | f <sub>yk</sub> (MPa) | f <sub>yk</sub> (MPa) | f <sub>yk</sub> (MPa) | f <sub>yk</sub> (MPa) | s (mm) | m <sub>s</sub> kol adedi | m <sub>v</sub> kol adedi |                       |                       |                                |                        |                     |                                  |         |
| A5       | 1. KAT | 1         | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 2         | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 3         | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 4         | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 5         | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 6         | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 7         | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 8         | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 9         | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 10        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 11        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 12        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 13        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 14        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 15        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 16        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 17        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 18        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 19        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 20        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 21        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 22        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 23        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 24        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 25        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 26        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 27        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 28        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 29        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 30        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 31        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 32        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 33        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 34        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 35        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 36        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |
| A5       | 1. KAT | 37        | 3000                   | 400          | 200    | 30                  | 170                 | 370                 | 10                    | 10,00                 | 1,11                   | 3                 | 14              | 220                   | 220                   | 220                   | 220                   | 8      | 250                      | 2                        | 4                     | 120                   | 300                            | 2700                   | 24277402            | 0,00027                          | 0,00107 |

Şekil Ek 2. A5 Binasına ait taşıyıcı eleman bilgileri.

Figure Ek 2. The structural element details of the A5 building.



Şekil Ek 3. A5 Binasına ait taşıyıcı eleman bilgileri.

Figure Ek 3. The structural element details of the A5 building.

## 2. Deprem parametrelerinin alınması

Deprem parametrelerinin alınması için "AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması"ndan (<https://tdth.afad.gov.tr/>) "Deprem Yer Hareketi Düzeyi" DD-2 ve "Zemin Sınıfı" ZC seçilerek ele alınan A5 binasının konumu (enlem: 38.671120; boylam: 43.249250) girildikten sonra değerler hesaplanmalı ve çıkan değerler kullanılan statik analiz programına aktarılmalıdır.

## 3. Moment-eğrilik analizinin yapılması

A5 binası için SAP2000v20 paket programı yardımıyla taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) "4" alınarak doğrusal elastik analiz yapılmış ve her bir kolona etki eden eksenel yük değerleri bulunmuştur. Bulunan bu eksenel yük değerleri kullanılarak moment-eğrilik analizi yapılmış ve analiz

sonucunda elde edilen veriler Şekil Ek 4'te gösterilen tabloya işlenmiştir.

### 1. Kolonlara ait kesme kuvveti ve deplasman değerlerinin elde edilmesi

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) "1" alınarak tekrar yapılan doğrusal analiz ile kesme kuvveti ve deplasman değerleri bulunarak kesme kuvveti kapasiteleri ve akma-göçme durumundaki deplasmanlar hesaplanmıştır (Şekil Ek 5).

Şekil 4'te kolonlara gelen eksenel yüke göre moment-eğrilik analizi sonucunda elde edilen " $(M_y)_x$ ,  $(M_y)_y$ " kolonların x ve y yönlerindeki akma momenti değerlerini, " $(\phi_y)_x$ ,  $(\phi_y)_y$ " kolonların x ve y yönlerindeki akma eğriliği değerlerini ve " $(\phi_u)_x$ ,  $(\phi_u)_y$ " kolonların x ve y yönlerindeki göçme eğriliği değerlerini ifade etmektedir.

| KAT    | KOLON ADI | X YÖNÜ                  |                        |                      |                      | Y YÖNÜ                  |                        |                      |                      |
|--------|-----------|-------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
|        |           | X yönü Eksenel Yük (kN) | MOMENT-EĞRİLİK ANALİZİ |                      |                      | Y yönü Eksenel Yük (kN) | MOMENT-EĞRİLİK ANALİZİ |                      |                      |
|        |           |                         | $(M_y)_x$ (kNm)        | $(\phi_y)_x$ (rad/m) | $(\phi_u)_x$ (rad/m) |                         | $(M_y)_y$ (kNm)        | $(\phi_y)_y$ (rad/m) | $(\phi_u)_y$ (rad/m) |
| 1. KAT | S101      | 217,66                  | 26,80                  | 0,01041              | 0,0634               | 198,93                  | 46,00                  | 0,00404              | 0,0296               |
|        | S102      | 277,12                  | 27,50                  | 0,00985              | 0,0533               | 314,76                  | 48,10                  | 0,00300              | 0,0242               |
|        | S103      | 310,55                  | 27,50                  | 0,00946              | 0,0476               | 353,76                  | 47,70                  | 0,00279              | 0,0228               |
|        | S104      | 311,00                  | 27,50                  | 0,00993              | 0,0475               | 348,63                  | 48,00                  | 0,00294              | 0,0238               |
|        | S105      | 363,21                  | 26,60                  | 0,00906              | 0,0433               | 385,51                  | 46,30                  | 0,00252              | 0,0212               |
|        | S106      | 199,98                  | 26,30                  | 0,00976              | 0,0641               | 186,75                  | 47,50                  | 0,00367              | 0,0277               |
|        | S107      | 330,06                  | 27,30                  | 0,00936              | 0,0447               | 254,15                  | 48,20                  | 0,00317              | 0,0252               |
|        | S108      | 476,06                  | 23,60                  | 0,00832              | 0,0375               | 462,24                  | 39,60                  | 0,00159              | 0,0169               |
|        | S109      | 502,68                  | 22,80                  | 0,00824              | 0,0365               | 494,68                  | 37,70                  | 0,00139              | 0,0161               |
|        | S110      | 736,73                  | 11,20                  | 0,00848              | 0,0298               | 754,32                  | 17,00                  | 0,00000              | 0,0121               |
|        | S111      | 433,62                  | 24,90                  | 0,00850              | 0,0391               | 416,54                  | 42,30                  | 0,00197              | 0,0189               |
|        | S112      | 330,12                  | 27,30                  | 0,00936              | 0,0447               | 256,25                  | 48,20                  | 0,00342              | 0,0252               |
|        | S113      | 483,62                  | 23,40                  | 0,00843              | 0,0372               | 461,09                  | 39,10                  | 0,00153              | 0,0166               |
|        | S114      | 498,32                  | 22,80                  | 0,00821              | 0,0366               | 484,69                  | 38,00                  | 0,00141              | 0,0162               |
|        | S115      | 814,08                  | 7,60                   | 0,00612              | 0,0258               | 806,06                  | 10,70                  | 0,00000              | 0,0102               |
|        | S116      | 477,60                  | 23,50                  | 0,00832              | 0,0374               | 448,06                  | 39,50                  | 0,00155              | 0,0168               |
|        | S117      | 323,83                  | 27,40                  | 0,00933              | 0,0456               | 247,77                  | 48,10                  | 0,00321              | 0,0255               |
|        | S118      | 470,39                  | 23,80                  | 0,00848              | 0,0377               | 447,74                  | 40,00                  | 0,00163              | 0,0171               |
|        | S119      | 488,68                  | 23,20                  | 0,00825              | 0,0370               | 474,04                  | 38,70                  | 0,00151              | 0,0164               |
|        | S120      | 790,59                  | 8,80                   | 0,00832              | 0,0282               | 782,62                  | 12,00                  | 0,00000              | 0,0110               |
|        | S121      | 466,90                  | 23,90                  | 0,00833              | 0,0378               | 436,44                  | 40,20                  | 0,00150              | 0,0173               |
|        | S122      | 323,45                  | 27,30                  | 0,00939              | 0,0457               | 249,58                  | 48,10                  | 0,00349              | 0,0255               |
|        | S123      | 468,40                  | 23,80                  | 0,00821              | 0,0377               | 445,87                  | 36,70                  | 0,00100              | 0,0172               |
|        | S124      | 489,52                  | 23,10                  | 0,00833              | 0,0370               | 475,88                  | 38,60                  | 0,00147              | 0,0164               |
|        | S125      | 790,53                  | 10,60                  | 0,00824              | 0,0294               | 782,50                  | 12,60                  | 0,00000              | 0,0110               |
|        | S126      | 468,09                  | 23,80                  | 0,00822              | 0,0378               | 438,55                  | 40,10                  | 0,00165              | 0,0172               |
|        | S127      | 329,83                  | 27,30                  | 0,00931              | 0,0448               | 253,92                  | 48,10                  | 0,00315              | 0,0252               |
|        | S128      | 476,18                  | 23,60                  | 0,00832              | 0,0375               | 462,37                  | 39,60                  | 0,00156              | 0,0169               |
|        | S129      | 519,18                  | 22,00                  | 0,00836              | 0,0359               | 511,18                  | 36,40                  | 0,01290              | 0,0157               |
|        | S130      | 734,67                  | 11,30                  | 0,00841              | 0,0298               | 752,26                  | 17,10                  | 0,00000              | 0,0121               |
|        | S131      | 434,33                  | 24,90                  | 0,00834              | 0,0390               | 417,24                  | 42,20                  | 0,00197              | 0,0188               |
|        | S132      | 217,63                  | 26,80                  | 0,01020              | 0,0634               | 198,90                  | 46,00                  | 0,00404              | 0,0296               |
|        | S133      | 277,36                  | 27,50                  | 0,00996              | 0,0532               | 314,99                  | 48,10                  | 0,00300              | 0,0242               |
|        | S134      | 318,44                  | 27,40                  | 0,00942              | 0,0464               | 361,65                  | 47,50                  | 0,00272              | 0,0225               |
|        | S135      | 311,41                  | 27,50                  | 0,00993              | 0,0474               | 349,04                  | 48,00                  | 0,00293              | 0,0238               |
|        | S136      | 363,05                  | 26,60                  | 0,00897              | 0,0433               | 385,35                  | 46,30                  | 0,00251              | 0,0212               |
|        | S137      | 200,18                  | 26,30                  | 0,00976              | 0,0641               | 186,97                  | 47,50                  | 0,00368              | 0,0277               |

Şekil Ek 4. A5 Binasına ait moment-eğrilik analizi sonuçları.

Figure Ek 4. The results of moment-curvature analysis of the A5 building.



| KAT    | KOLON ADI | KESME KUVVETİ     |                         |                   |                   |                         |                   | X YÖNÜ               |                      |                      | Y YÖNÜ               |                      |                      |
|--------|-----------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|        |           | X YÖNÜ            |                         |                   | Y YÖNÜ            |                         |                   | DEPLASMANLAR         |                      |                      | DEPLASMANLAR         |                      |                      |
|        |           | $V_{e_x}$<br>(kN) | Elastik M<br>kapasitesi | $V_{r_x}$<br>(kN) | $V_{e_y}$<br>(kN) | Elastik M<br>kapasitesi | $V_{r_y}$<br>(kN) | $(\Delta a)_x$<br>mm | $(\Delta y)_x$<br>mm | $(\Delta u)_x$<br>mm | $(\Delta a)_y$<br>mm | $(\Delta y)_y$<br>mm | $(\Delta u)_y$<br>mm |
| 1. KAT | S101      | 132,873           | 26,8                    | 17,87             | 117,368           | 46,0                    | 30,67             | 68,497339            | 6,324                | 13,213               | 24,298566            | 2,454                | 8,844                |
|        | S102      | 157,818           | 27,5                    | 18,33             | 132,995           | 48,1                    | 32,07             | 68,497339            | 5,984                | 11,632               | 25,499586            | 1,823                | 7,123                |
|        | S103      | 151,423           | 27,5                    | 18,33             | 140,586           | 47,7                    | 31,80             | 68,497339            | 5,747                | 10,705               | 26,764011            | 1,695                | 6,697                |
|        | S104      | 151,025           | 27,5                    | 18,33             | 148,018           | 48,0                    | 32,00             | 68,497339            | 6,032                | 10,917               | 28,409401            | 1,786                | 7,001                |
|        | S105      | 162,115           | 26,6                    | 17,73             | 149,792           | 46,3                    | 30,87             | 68,497339            | 5,504                | 9,955                | 29,516875            | 1,531                | 6,201                |
|        | S106      | 130,322           | 26,3                    | 17,53             | 146,569           | 47,5                    | 31,67             | 68,497339            | 5,929                | 12,993               | 30,750918            | 2,230                | 8,237                |
|        | S107      | 141,033           | 27,3                    | 18,20             | 142,649           | 48,2                    | 32,13             | 68,496943            | 5,686                | 10,280               | 24,298566            | 1,926                | 7,433                |
|        | S108      | 163,271           | 23,6                    | 15,73             | 161,104           | 39,6                    | 26,40             | 68,496943            | 5,054                | 8,848                | 25,499586            | 0,966                | 4,793                |
|        | S109      | 157,792           | 22,8                    | 15,20             | 169,695           | 37,7                    | 25,13             | 68,496943            | 5,006                | 8,680                | 26,764011            | 0,844                | 4,522                |
|        | S110      | 160,081           | 11,2                    | 7,47              | 182,518           | 17,0                    | 11,33             | 68,496943            | 5,152                | 7,923                | 28,409401            | 0,000                | 3,025                |
|        | S111      | 138,881           | 24,9                    | 16,60             | 183,319           | 42,3                    | 28,20             | 68,496943            | 5,164                | 9,142                | 30,750918            | 1,197                | 5,429                |
|        | S112      | 141,452           | 27,3                    | 18,20             | 140,312           | 48,2                    | 32,13             | 68,496548            | 5,686                | 10,280               | 24,298566            | 2,078                | 7,523                |
|        | S113      | 163,307           | 23,4                    | 15,60             | 158,093           | 39,1                    | 26,07             | 68,496548            | 5,121                | 8,861                | 25,499586            | 0,932                | 4,698                |
|        | S114      | 157,435           | 22,8                    | 15,20             | 166,827           | 38,0                    | 25,33             | 68,496548            | 4,988                | 8,678                | 26,764011            | 0,857                | 4,554                |
|        | S115      | 163,983           | 7,6                     | 5,07              | 176,781           | 10,7                    | 7,13              | 68,496548            | 3,718                | 6,276                | 28,409401            | 0,000                | 2,550                |
|        | S116      | 141,854           | 23,5                    | 15,67             | 178,456           | 39,5                    | 26,33             | 68,496548            | 5,054                | 8,835                | 30,750918            | 0,942                | 4,754                |
|        | S117      | 141,01            | 27,4                    | 18,27             | 140,518           | 48,1                    | 32,07             | 68,496152            | 5,668                | 10,383               | 24,298566            | 1,950                | 7,523                |
|        | S118      | 163,388           | 23,8                    | 15,87             | 158,36            | 40,0                    | 26,67             | 68,496152            | 5,152                | 8,950                | 25,499586            | 0,990                | 4,858                |
|        | S119      | 157,199           | 23,2                    | 15,47             | 166,559           | 38,7                    | 25,80             | 68,496152            | 5,012                | 8,749                | 26,764011            | 0,917                | 4,640                |
|        | S120      | 164,004           | 8,8                     | 5,87              | 177,109           | 12,0                    | 8,00              | 68,496152            | 5,054                | 7,639                | 28,409401            | 0,000                | 2,750                |
|        | S121      | 140,794           | 23,9                    | 15,93             | 178,509           | 40,2                    | 26,80             | 68,496152            | 5,060                | 8,892                | 30,750918            | 0,911                | 4,861                |
|        | S122      | 140,982           | 27,3                    | 18,20             | 140,325           | 48,1                    | 32,07             | 68,495756            | 5,704                | 10,425               | 24,298566            | 2,120                | 7,623                |
|        | S123      | 163,373           | 23,8                    | 15,87             | 158,055           | 36,7                    | 24,47             | 68,495756            | 4,988                | 8,821                | 25,499586            | 0,608                | 4,658                |
|        | S124      | 157,308           | 23,1                    | 15,40             | 166,051           | 38,6                    | 25,73             | 68,495756            | 5,060                | 8,788                | 26,764011            | 0,893                | 4,626                |
|        | S125      | 163,427           | 10,6                    | 7,07              | 176,813           | 12,6                    | 8,40              | 68,495756            | 5,006                | 7,757                | 28,409401            | 0,000                | 2,750                |
|        | S126      | 140,189           | 23,8                    | 15,87             | 178,452           | 40,1                    | 26,73             | 68,495756            | 4,994                | 8,839                | 30,750918            | 1,002                | 4,890                |
|        | S127      | 140,99            | 27,3                    | 18,20             | 142,662           | 38,6                    | 25,73             | 68,49536             | 5,656                | 10,270               | 24,298566            | 0,911                | 4,636                |
|        | S128      | 163,318           | 23,6                    | 15,73             | 161,175           | 39,6                    | 26,40             | 68,49536             | 5,054                | 8,848                | 25,499586            | 0,948                | 4,783                |
|        | S129      | 157,821           | 22,0                    | 14,67             | 169,809           | 36,4                    | 24,27             | 68,49536             | 5,079                | 8,659                | 26,764011            | 7,837                | 8,537                |
|        | S130      | 159,773           | 11,3                    | 7,53              | 182,237           | 17,1                    | 11,40             | 68,49536             | 5,109                | 7,890                | 28,409401            | 0,000                | 3,025                |
|        | S131      | 138,41            | 24,9                    | 16,60             | 183,071           | 42,2                    | 28,13             | 68,49536             | 5,067                | 9,052                | 30,750918            | 1,197                | 5,404                |
|        | S132      | 132,855           | 26,8                    | 17,87             | 117,383           | 46,0                    | 30,67             | 68,494964            | 6,197                | 13,113               | 24,298566            | 2,454                | 8,844                |
|        | S133      | 157,826           | 27,5                    | 18,33             | 133,06            | 48,1                    | 32,07             | 68,494964            | 6,051                | 11,672               | 25,499586            | 1,823                | 7,123                |
|        | S134      | 151,429           | 27,4                    | 18,27             | 141,573           | 47,5                    | 31,67             | 68,494964            | 5,723                | 10,530               | 26,764011            | 1,652                | 6,597                |
|        | S135      | 151,059           | 27,5                    | 18,33             | 148,07            | 48,0                    | 32,00             | 68,494964            | 6,032                | 10,904               | 28,409401            | 1,780                | 6,997                |
|        | S136      | 162,102           | 26,6                    | 17,73             | 149,606           | 46,3                    | 30,87             | 68,494964            | 5,449                | 9,912                | 29,516875            | 1,525                | 6,197                |
|        | S137      | 130,31            | 26,3                    | 17,53             | 146,577           | 47,5                    | 31,67             | 68,494964            | 5,929                | 12,993               | 30,750918            | 2,236                | 8,241                |

Şekil Ek 5. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve deplasman değerleri

Figure Ek 5. Resulting shear forces and displacement values obtained from the analysis.

Şekil Ek 5'te " $V_x$ ,  $V_y$ " analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti değerlerini, " $V_{r_x}$ ,  $V_{r_y}$ " ise kesme kuvveti kapasitelerini ifade etmektedir. Ayrıca elastik moment kapasitesi,  $R = 4$  alınarak yapılan analiz sonucunda hem x hem de y yönü ayrı ayrı dikkate alınarak elde edilen her bir kolona ait eksenel yük seviyesi kullanılarak yapılan Moment-Eğrilik analizi ile elde edilen "Akma Momentini", " $(\Delta a)_x$  ve  $(\Delta a)_y$ " her bir kolona ait x ve y yönünde elde edilen deplasman değerlerini,  $(\Delta y)_x$ ,  $(\Delta y)_y$ " her bir kolona ait x ve y yönünde elde edilen akma durumundaki deplasman değerlerini ve " $(\Delta u)_x$ ,  $(\Delta u)_y$ " her bir kolona ait x ve y yönünde elde edilen nihai (göçme) durumundaki deplasman değerlerini ifade etmektedir.

#### 4. Değerlendirme

Son aşamada çalışma kapsamında önerilen formüller ile her bir kolonun performansı değerlendirilerek buldukları hasar bölgeleri hem x ve y yönlerine hem de global yöne göre tespit edilmiştir (Şekil Ek 6). Şekil 6'da "SH", "BH", "İH" ve "GB" hasar

sınırları arasında kalan hasar bölgelerini, " $(\Delta^{SH})_x$ ,  $(\Delta^{SH})_y$ ", " $(\Delta^{KH})_x$ ,  $(\Delta^{KH})_y$ " ve " $(\Delta^{G0})_x$ ,  $(\Delta^{G0})_y$ " hasar sınır deplasmanlarını, " $V * D$ " kolona gelen kesme kuvveti ile kolonun yaptığı deplasmanın kapsadığı üçgenel alanı, "x yönü, y yönü, GLOBAL" ise yönlere göre incelenen kolonların hasar bölgelerini ifade etmektedir. Global yönün değerlendirilmesinde kolonun deprem performans değerlendirmesi yapılırken x ve y yönündeki en olumsuz durum esas alınmıştır.

Şekil Ek 6'da kolona etkileyen kesme kuvveti ve ilgili kolonun bu kesme kuvveti altında yaptığı deplasmanın altında kalan alan değerinin ( $V * D$ ) çok büyük olduğu ve bu değerın VD Yönteminde önerilen sınır hasar bölgelerindeki sınır değerlerin çok üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu durumu ortaya koymak için S101 kolonunun x ve y yönlerindeki  $V - \Delta$  grafiği Şekil Ek 7'de gösterilmiştir.

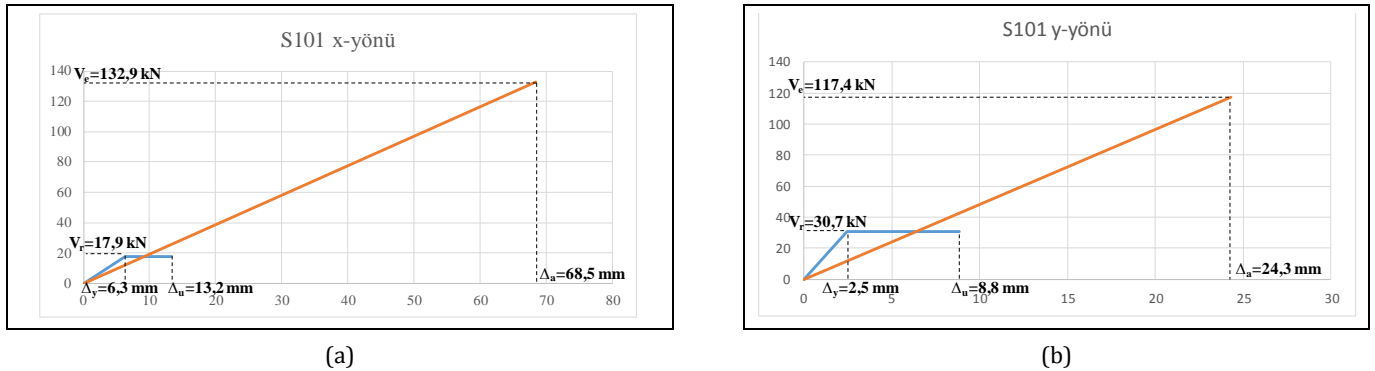
Önerilen yöntemle göre mevcut bina performans analizi yapılan A5 binasının zemin katında bulunan 37 adet kolonun tamamının 'Göçme Bölgesi'nde olduğu belirlenmiştir.

Dolayısıyla A5 binasının mevcut haliyle kullanımının uygun olmadığı değerlendirilmektedir.

| KAT    | KOLON ADI | VD YÖNTEMİ           |                    |                    |      |    |     |     |        |                      |                    |                    |      |    |     |     |        | GLOBAL |
|--------|-----------|----------------------|--------------------|--------------------|------|----|-----|-----|--------|----------------------|--------------------|--------------------|------|----|-----|-----|--------|--------|
|        |           | HASAR BÖLGESİ x yönü |                    |                    |      |    |     |     |        | HASAR BÖLGESİ y yönü |                    |                    |      |    |     |     |        |        |
|        |           | (ΔSH) <sub>x</sub>   | (ΔKH) <sub>x</sub> | (ΔGÖ) <sub>x</sub> | V*D  | SH | BH  | İH  | x yönü | (ΔSH) <sub>y</sub>   | (ΔKH) <sub>y</sub> | (ΔGÖ) <sub>y</sub> | V*D  | SH | BH  | İH  | y yönü |        |
| 1. KAT | S101      | 6,32                 | 11,49              | 13,21              | 4551 | 56 | 149 | 180 | GB     | 2,45                 | 7,25               | 8,84               | 1426 | 38 | 185 | 234 | GB     | GB     |
|        | S102      | 5,98                 | 10,22              | 11,63              | 5405 | 55 | 133 | 158 | GB     | 1,82                 | 5,80               | 7,12               | 1696 | 29 | 157 | 199 | GB     | GB     |
|        | S103      | 5,75                 | 9,47               | 10,71              | 5186 | 53 | 121 | 144 | GB     | 1,69                 | 5,45               | 6,70               | 1881 | 27 | 146 | 186 | GB     | GB     |
|        | S104      | 6,03                 | 9,70               | 10,92              | 5172 | 55 | 122 | 145 | GB     | 1,79                 | 5,70               | 7,00               | 2103 | 29 | 154 | 195 | GB     | GB     |
|        | S105      | 5,50                 | 8,84               | 9,96               | 5552 | 49 | 108 | 128 | GB     | 1,53                 | 5,03               | 6,20               | 2211 | 24 | 132 | 168 | GB     | GB     |
|        | S106      | 5,93                 | 11,23              | 12,99              | 4463 | 52 | 145 | 176 | GB     | 2,23                 | 6,74               | 8,24               | 2254 | 35 | 178 | 226 | GB     | GB     |
|        | S107      | 5,69                 | 9,13               | 10,28              | 4830 | 52 | 114 | 135 | GB     | 1,93                 | 6,06               | 7,43               | 1733 | 31 | 164 | 208 | GB     | GB     |
|        | S108      | 5,05                 | 7,90               | 8,85               | 5592 | 40 | 85  | 99  | GB     | 0,97                 | 3,84               | 4,79               | 2054 | 13 | 89  | 114 | GB     | GB     |
|        | S109      | 5,01                 | 7,76               | 8,68               | 5404 | 38 | 80  | 94  | GB     | 0,84                 | 3,60               | 4,52               | 2271 | 11 | 80  | 103 | GB     | GB     |
|        | S110      | 5,15                 | 7,23               | 7,92               | 5483 | 19 | 35  | 40  | GB     | 0,00                 | 2,27               | 3,03               | 2593 | 0  | 26  | 34  | GB     | GB     |
|        | S111      | 5,16                 | 8,15               | 9,14               | 4756 | 43 | 92  | 109 | GB     | 1,20                 | 4,37               | 5,43               | 2819 | 17 | 106 | 136 | GB     | GB     |
|        | S112      | 5,69                 | 9,13               | 10,28              | 4844 | 52 | 114 | 135 | GB     | 2,08                 | 6,16               | 7,52               | 1705 | 33 | 165 | 208 | GB     | GB     |
|        | S113      | 5,12                 | 7,93               | 8,86               | 5593 | 40 | 84  | 98  | GB     | 0,93                 | 3,76               | 4,70               | 2016 | 12 | 86  | 110 | GB     | GB     |
|        | S114      | 4,99                 | 7,76               | 8,68               | 5392 | 38 | 80  | 94  | GB     | 0,86                 | 3,63               | 4,55               | 2232 | 11 | 81  | 105 | GB     | GB     |
|        | S115      | 3,72                 | 5,64               | 6,28               | 5616 | 9  | 19  | 22  | GB     | 0,00                 | 1,91               | 2,55               | 2511 | 0  | 14  | 18  | GB     | GB     |
|        | S116      | 5,05                 | 7,89               | 8,83               | 4858 | 40 | 84  | 99  | GB     | 0,94                 | 3,80               | 4,75               | 2744 | 12 | 88  | 113 | GB     | GB     |
|        | S117      | 5,67                 | 9,20               | 10,38              | 4829 | 52 | 116 | 138 | GB     | 1,95                 | 6,13               | 7,52               | 1707 | 31 | 165 | 210 | GB     | GB     |
|        | S118      | 5,15                 | 8,00               | 8,95               | 5596 | 41 | 86  | 101 | GB     | 0,99                 | 3,89               | 4,86               | 2019 | 13 | 91  | 116 | GB     | GB     |
|        | S119      | 5,01                 | 7,82               | 8,75               | 5384 | 39 | 82  | 97  | GB     | 0,92                 | 3,71               | 4,64               | 2229 | 12 | 84  | 108 | GB     | GB     |
|        | S120      | 5,05                 | 6,99               | 7,64               | 5617 | 15 | 26  | 30  | GB     | 0,00                 | 2,06               | 2,75               | 2516 | 0  | 17  | 22  | GB     | GB     |
|        | S121      | 5,06                 | 7,93               | 8,89               | 4822 | 40 | 86  | 101 | GB     | 0,91                 | 3,87               | 4,86               | 2745 | 12 | 92  | 118 | GB     | GB     |
|        | S122      | 5,70                 | 9,24               | 10,42              | 4828 | 52 | 116 | 138 | GB     | 2,12                 | 6,25               | 7,62               | 1705 | 34 | 166 | 210 | GB     | GB     |
|        | S123      | 4,99                 | 7,86               | 8,82               | 5595 | 40 | 85  | 100 | GB     | 0,61                 | 3,65               | 4,66               | 2015 | 7  | 82  | 107 | GB     | GB     |
|        | S124      | 5,06                 | 7,86               | 8,79               | 5387 | 39 | 82  | 96  | GB     | 0,89                 | 3,69               | 4,63               | 2222 | 11 | 84  | 108 | GB     | GB     |
|        | S125      | 5,01                 | 7,07               | 7,76               | 5597 | 18 | 32  | 37  | GB     | 0,00                 | 2,06               | 2,75               | 2512 | 0  | 17  | 23  | GB     | GB     |
|        | S126      | 4,99                 | 7,88               | 8,84               | 4801 | 40 | 85  | 101 | GB     | 1,00                 | 3,92               | 4,89               | 2744 | 13 | 91  | 117 | GB     | GB     |
|        | S127      | 5,66                 | 9,12               | 10,27              | 4829 | 51 | 114 | 135 | GB     | 0,91                 | 3,71               | 4,64               | 1733 | 12 | 84  | 108 | GB     | GB     |
|        | S128      | 5,05                 | 7,90               | 8,85               | 5593 | 40 | 85  | 99  | GB     | 0,95                 | 3,82               | 4,78               | 2055 | 13 | 88  | 114 | GB     | GB     |
|        | S129      | 5,08                 | 7,76               | 8,66               | 5405 | 37 | 77  | 90  | GB     | 7,84                 | 8,36               | 8,54               | 2272 | 95 | 108 | 112 | GB     | GB     |
|        | S130      | 5,11                 | 7,19               | 7,89               | 5472 | 19 | 35  | 40  | GB     | 0,00                 | 2,27               | 3,03               | 2589 | 0  | 26  | 34  | GB     | GB     |
|        | S131      | 5,07                 | 8,06               | 9,05               | 4740 | 42 | 92  | 108 | GB     | 1,20                 | 4,35               | 5,40               | 2815 | 17 | 106 | 135 | GB     | GB     |
|        | S132      | 6,20                 | 11,38              | 13,11              | 4550 | 55 | 148 | 179 | GB     | 2,45                 | 7,25               | 8,84               | 1426 | 38 | 185 | 234 | GB     | GB     |
|        | S133      | 6,05                 | 10,27              | 11,67              | 5405 | 55 | 133 | 159 | GB     | 1,82                 | 5,80               | 7,12               | 1696 | 29 | 157 | 199 | GB     | GB     |
|        | S134      | 5,72                 | 9,33               | 10,53              | 5186 | 52 | 118 | 140 | GB     | 1,65                 | 5,36               | 6,60               | 1895 | 26 | 144 | 183 | GB     | GB     |
|        | S135      | 6,03                 | 9,69               | 10,90              | 5173 | 55 | 122 | 145 | GB     | 1,78                 | 5,69               | 7,00               | 2103 | 28 | 154 | 195 | GB     | GB     |
|        | S136      | 5,45                 | 8,80               | 9,91               | 5552 | 48 | 108 | 127 | GB     | 1,52                 | 5,03               | 6,20               | 2208 | 24 | 132 | 168 | GB     | GB     |
|        | S137      | 5,93                 | 11,23              | 12,99              | 4463 | 52 | 145 | 176 | GB     | 2,24                 | 6,74               | 8,24               | 2254 | 35 | 178 | 226 | GB     | GB     |

Şekil Ek 6. Önerilen yöntemle göre kolonların hasar durumları.

Figure Ek 6. Damage states of columns according to the proposed method.



Şekil Ek 7. S101 kolonunun x ve y yönlerindeki V-Δ grafiği.

Figure Ek 7. V-Δ Diagram in X and Y directions of the S101 column.