

## Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY-2018) göre betonarme bir binanın perde elemanlarının hasar sınırlarının tespiti

Dilara TURSUN<sup>1</sup>, Ömer Faruk TAŞ<sup>2</sup>, Erkut SAYIN<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye  
<sup>1</sup> dilaratursun3@gmail.com, <sup>2</sup> oftas@firat.edu.tr, <sup>3</sup> esayin@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 25/04/2023;

Kabul/Accepted: 01/07/2023)

**Öz:** Depremler, insan hayatını etkileyen doğal afetlerden biridir. Ülkemiz deprem kuşağında yer aldığından dolayı mevcut yapıların ve yeni tasarlanan yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi son derece önemlidir. Yapıların tasarımı ve değerlendirilmesinde kullanılacak olan yöntemler Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esasları gereğince yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleridir. Doğrusal hesap yöntemleri, eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemi; doğrusal olmayan hesap yöntemleri ise itme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemidir. Bu çalışma kapsamında 10 katlı konut tipi betonarme bir binanın ETABS sonlu elemanlar programı ile deprem analizi yapılarak bina performansı incelenmiştir. Dikkate alınan bina perde duvar + çerçeve sistemine sahiptir. Şekil-değiştirme esasına dayanan yöntemlerden biri olan zaman tanım alanında analiz yöntemi, TBDY-2018 esasları dikkate alınarak uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda mevcut binanın perde elemanlarının güncel yönetmeliğe göre hasar sınırları belirlenmiş ve bu elemanların performansına karar verilmiştir. İncelenen binanın perde elemanlarının Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyini sağladığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme yapılar, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, ETABS.

### Determining the damage zones of the shear walls of a reinforced concrete building according to the Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018)

**Abstract:** Earthquakes are one of the natural disasters that affect human life. Since our country is located in an earthquake zone, it is extremely important to determine the earthquake safety of existing structures and newly designed structures. The methods to be used in the design and evaluation of buildings are linear and non-linear calculation methods made in accordance with the Türkiye Building Earthquake Code (TBEC-2018). Linear calculation methods are equivalent earthquake load and mode superposition method, nonlinear calculation methods are pushover and time history analysis. Within the scope of this study, earthquake analysis of a 10-storey residential reinforced concrete building was performed with the ETABS finite element program and the building performance was examined. The building considered is shear wall + frame system. Time history analysis method, which is one of the methods based on shape change, was applied by taking into account the principles of TBEC- 2018. As a result of the analysis, the damage limits of the shear walls were determined according to the current regulation and the performance of the shear walls were decided. As a result, it has been determined that the shear walls of the existing building provide the Controlled Damage performance level.

**Key words:** Reinforced concrete structures, nonlinear time history analysis, ETABS.

#### 1. Giriş

Türkiye aktif deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Dolayısıyla sıklıkla deprem hareketleri oluşmaktadır. Meydana gelen depremler ve bu depremlerin sonucunda yaşanan can ve maddi kayıplar neticesinde mevcut yapıların deprem performansının tespiti önem arz etmektedir [1]. Deprem performansı yetersiz olanların güçlendirilmesi eğer güçlendirilmesi ekonomik değilse yıkılarak yeni yapıların inşa edilmesi gerekmektedir. Böylece can ve maddi kayıplar azaltılabilir [2]. Son zamanlarda meydana gelen depremlerde mevcut yapı stoklarının birçoğu çökmüş veya ciddi hasarlar almıştır. Bu sebeple binaların deprem performanslarının tespiti hakkında yapılan çalışmalar önem kazanmıştır [3]. Performansa dayalı tasarıma ilk olarak 1996'da yürürlüğe giren Betonarme Binaların Sismik Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesinde (ATC 40) yer verilmiştir [4]. Daha sonra Binaların Sismik İyileştirilmesi için Ön-standart ve Açıklamalar (FEMA 356) 2000 yılında yayınlanmıştır [5]. Ülkemizde ilk defa 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde kullanılmıştır [6].

\* Sorumlu yazar: [esayin@firat.edu.tr](mailto:esayin@firat.edu.tr). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0009-0003-1501-6961, <sup>2</sup> 0000-0002-1431-5316, <sup>3</sup> 0000-0003-0266-759X

2018 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018) de performansa dayalı analiz yöntemi bir önceki yönetmeliğe göre genişletilmiştir [7]. Literatür incelendiğinde yeni yapılacak binaların ve mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesiyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. İbiş ve Ulutaş [8], yapımı devam eden betonarme bir binayı yeni yapılacak bir bina gibi kabul edip TBDY-2018'e göre performans analizini yapmışlardır. Analiz sonucunda binanın TBDY-2018'de yer alan hedef performans seviyesini sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Taş vd. [9], çalışmalarında farklı kat adetlerine sahip yeni betonarme binaların modelini SAP2000 programı ile oluşturmuşlardır. Binaların performans seviyelerini belirlemek amacıyla doğrusal olmayan davranış modellerinden yığılı plastik davranış modelini esas almışlardır. XTRACT programı ile taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitliklerini elde etmişlerdir. İnceledikleri binalara SAP2000 sonlu elemanlar programı ile doğrusal olmayan tek modlu statik itme analizi yöntemi uygulamışlardır. Kolon elemanlarda kat yüksekliğinin artmasıyla etkin kesit rijitlik değerlerinin değişimini incelemişlerdir. Performans noktasına denk gelen tepe yer değiştirme değerlerindeki değişimi, kat adetleri farklı dört bina modeli kullanarak tespit etmişlerdir. Dalyan ve Şahin [10], DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerini dikkate alarak 5 katlı betonarme konut yapısının deprem yükleri altında taşıyıcı sistem performansını belirlemek amacıyla doğrusal olmayan tek modlu itme yöntemini kullanmışlardır. İncelenen binanın itme eğrisini hesaplamışlar ve kesit hasar bölgelerini elde etmişlerdir. Ayrıca etkin kesit rijitliklerini tespit etmişler ve her iki yönetmeliğe göre sonuçları karşılaştırmışlardır. Çapa [11], güncel yönetmelikte bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerini kullanarak kat adetleri farklı betonarme binaların deprem performanslarını incelemiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin tümünü uygulayarak bina performans seviyeleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme değerlerinin kat adedi arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Çavdar [12], çalışmasında İstanbul ilinde bulunan mevcut 6 katlı betonarme bir yapının TBDY-2018 yönetmeliğine göre performans analizini yapmıştır. Bu amaç doğrultusunda binanın performansını doğrusal olmayan itme yöntemi ile incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda x ve y yönündeki yer değiştirmelere bakılarak düzensizlik hesaplamaları yapılmıştır. Yapıda sistem elemanının çalışmasına mani olan herhangi bir süreksizlik belirlenmemiştir. Y yönünde A3 düzensizliği gözlenmiştir. Çalışma neticesinde ara kat ve normal katlarda burulma düzensizliği, ikinci katlarda rijitlik düzensizliği belirlenmiştir ve ağır hasarlar oluşmuştur. Uygulanan itme analizi sonucunda x yönünde binanın kontrollü hasar performans seviyesini sağladığı görülürken y yönünde sağlamamıştır. Tekdemir [13], çalışmasında 4 katlı betonarme binanın deprem performansını TBDY-2018'de yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerini kullanarak incelemiştir ve analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır. Performans analizi için bina doğrusal hesap yöntemlerinden iki farklı yöntem tabii tutularak görece kat ötelemeleri ve taban kesme kuvveti tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Ardından 8 katlı iki betonarme bina seçerek statik itme analizi yöntemini uygulamıştır. Analiz neticesinde plastik mafsallı oluşum düzenleri, itme eğrileri ve taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Binanın zemin kat yüksekliğinin fazla olmasının binanın doğal titreşim periyodunu artırdığı belirlenmiştir. Meral ve İnel [14], çalışmalarında kat sayıları farklı olan (2, 4 ve 7) 144 konut binasını incelemişlerdir. İnceledikleri binalar düşük ve orta katlı binaları temsil etmektedir. Yapıların hepsine statik itme analizi uygulayarak yapıların kapasite eğrilerini elde etmişlerdir ve binaların periyotlarının değişimini incelemişlerdir. Kuşu ve Beyen [15], Çanakkale'de yapılacak 12 katlı betonarme ve çelik binanın performansını tespit etmek amacıyla lineer olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemini esas almışlardır. Yapılan analiz sonucunda betonarme olarak yapılacak binanın çelik binaya göre birçok yönden daha avantajlı ve daha ekonomik olduğunu tespit etmişlerdir. Meral [16], 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre yapılan 2, 4 ve 7 katlı betonarme binalara zaman tanım alanında analiz yöntemini uygulamıştır. Analiz sonucu kat adedi arttıkça deplasman taleplerinde artış gözlenmiştir. Meral [17], 3,6 ve 9 katlı betonarme binaları 12 adet deprem ivme kaydıyla zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanarak bu binaların deprem performanslarını incelemiştir. Kürkçü [18], 20 katlı betonarme bir binanın ETABS programı ile tasarımını yapmıştır. Tasarımını yaptığı binaya zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi uygulamıştır ve binanın performansını belirlemiştir. Analiz sonucu kirislerde hasarlar belirgin hasar ve sınırlı hasar bölgelerinde dağılırken yapının herhangi bir kolonunda plastikleşme oluşmadığı gözlemlenmiştir. Aksoylu [19], mevcut bir binanın deprem performansını güncel yönetmeliği esas alarak incelemiştir. Performans analizi için binaya doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerinden zaman tanım alanında analiz yöntemini uygulamıştır. Sonuç olarak kirislerde hasarın fazla olduğu, kolon ve perdelerde ise kirislere göre plastik şekil-değiştirmelerin daha az olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yapının performansı göçmenin önlenmesi performans düzeyi olarak belirlenmiştir. Koçak [20], yaptığı çalışmada betonarme çerçeve bina modelinin performans analizini yapmayı amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda güncel yönetmelik (TBDY-2018) esas alınarak binaya doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemi uygulamıştır. Ayrıca analizlerde SAP2000 programını kullanmıştır. Analiz sonucunda tepe noktası yer-değiştirme değerlerini ve taban kesme kuvvetlerini tespit etmiştir. Şahin [21], çalışmasında mevcut betonarme bir binayı dikkate almış ve yeni

yönetmeliğe göre hesaplamalarını yapmıştır. Şekil-değiştirme esasına dayanan yöntemlerden biri olan zaman tanım alanında analiz yöntemi ile deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem performansını incelemiştir. Analiz sonucu hasar seviyelerini tespit ederek mevcut yapının performansını elde etmiştir. Yapının performansının hedeflenen performans seviyesini sağlamadığını gözlemiştir. Alemдар ve Caymazer [22], 1995 yılında inşa edilen betonarme bir binayı kentsel dönüşüm kapsamında ele alarak deprem performansını incelemişlerdir. Binanın performansını belirlemek amacıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemini uygulamışlardır. Ayrıca incelenen binanın deprem performansını tespit ederken DBYBHY 2007 yönetmeliğini dikkate almışlardır. Binanın performansının göçme durumunda olduğunu ve binanın yıkılarak yeniden yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Turan [23], çalışmasında mevcut 5 katlı betonarme bir binayı ele almıştır. Deprem performansını belirlemek amacıyla binaya zaman tanım alanında lineer olmayan analiz yöntemini uygulamıştır. Analizde ETABS programını kullanarak TBDY-2018'de yer alan performans şartlarına sahip olup olmadığını belirlemiştir. İncelenen binanın taşıyıcı eleman hasar bölgelerini elde ederek güçlendirme yapılması gerektiğini öne sürmüştür. Yıldız [24], çalışmasında 44 katlı betonarme binayı incelemiş ve bu binanın deprem performansını belirlemek için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemini kullanmıştır. Bina modeli oluşturulurken ve analizi yapılırken ETABS programından yararlanmıştır. 11 adet ivme kaydı kullanarak çözüm yapmıştır ve elde edilen sonuçları değerlendirmiştir. İçöz [25], orta ve yüksek katlı binaları temsilen 8, 12, 16 ve 20 katlı binaları incelemiştir. Bu çalışmada zemin yapı etkileşiminin orta ve yüksek katlı binaların deprem performansını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Binalar doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin ikisine de tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda görel kat ötelenme oranları, hasar dağılımları ve deplasman taleplerini belirlemiş ve mukayese etmiştir. Yalın ve Ulutaş [26], çalışmalarında mevcut okul türü bir binanın DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 deprem yönetmeliklerine göre performans analizlerini yapmışlardır. Bina doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve tek modlu itme yöntemine tabi tutularak deprem hesabı yapılmıştır. Deprem performansı belirlenmiş ve sonuçlar iki yönetmeliğe göre karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler neticesinde iki yönetmeliğe göre doğrultu ve aşılma olasılıklarının en olumsuz olanı esas alındığında yapının hedef performans seviyesini sağlamadığı tespit edilmiştir. Balun vd. [27], TBDY-2018 yönetmeliğini dikkate alarak betonarme yapıyı basitleştirilmiş ve standart hesap yöntemleri ile taban kesme kuvvetleri bakımından kıyaslamıştır. Çözümler ETABS programı ile eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Basitleştirilmiş ve standart deprem hesabı ile tespit edilen taban kesme kuvveti değerleri kıyaslandığında basitleştirilmiş deprem hesabındaki değerlerin daha fazla olduğu gözlenmiştir. Koçer vd. [28], Türk Deprem Yönetmeliği 2007 (TDY 2007) ve TBDY-2018'de yer alan zemin hakim periyotları ve spektral ivme değerlerini elde etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda tasarım spektrum eğrileri elde edilerek her iki yönetmeliğe göre bu değerler mukayese edilmiştir. Tasarım ivme spektrumları değişik zemin sınıfları ve dört il için risk durumlarına bakılarak tespit edilmiştir. Genellikle çalışmada ele alınan bölgelerdeki zayıf zemin gruplarında TBDY-2018'in daha emniyetli kısmında olduğu belirlenmiştir. Yel vd. [29], yaptıkları çalışmada TBDY-2018 yönetmeliğine göre tasarlanmış kat adedi 3, 4 ve 5 olan toplam 144 betonarme binanın deprem performansını değerlendirmişlerdir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri uygulanarak yapıların performans düzeyleri tespit edilmiştir. Analizler neticesinde tepe yer değiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri ve görel kat ötelemeleri elde edilerek kıyaslanmıştır. Işık vd. [30], çalışmalarında kat yüksekliği 3 m olan 7 katlı betonarme çerçeve binayı TBDY-2018'e göre SAP2000 sonlu elemanlar programı ile tasarlamışlardır. Kısa kolon etkilerinin oluşabileceği dört farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modellere itme analizi uygulamışlar ve hasar bölgelerini tespit etmişlerdir. Kısa kolon oluşumunun plastik dönme talebini ve kesme kuvvetini artırdığı görülmüştür. Aksoylu vd. [31], çalışmasında seçtikleri kat sayıları farklı betonarme binaların deprem etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Betonarme yapıların yapısal davranışını tespit etmek amacıyla doğrusal olmayan statik itme yöntemini kullanarak analizleri gerçekleştirmişlerdir. Analizlerde ETABS programını kullanarak hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda taban kesme kuvveti ve deplasman değerleri elde edilerek TDY-2007, TBDY-2018 ve ASCE 7-16 deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmiştir. Kumbasaroğlu [32], ankraj çubuklu ve ankraj çubuksuz dolgu duvarlı çerçeve konut tipi betonarme bina kullanarak üç tip yapı modeli oluşturmuştur. Çalışma kapsamında ele alınan yapılarda ankraj çubuklarının etkisini belirlemek amacıyla modellerin doğrusal olmayan sismik analizlerini yapmıştır. 20 adet ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında analizler SAP2000 programı ile gerçekleştirilmiştir ve performans düzeyleri tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında 10 katlı konut tipi betonarme bir binanın ETABS sonlu elemanlar programı ile deprem analizi yapılarak bina performansı incelenmiştir. Dikkate alınan bina perde duvar + çerçeve sistemine sahiptir. Mevcut bina kat planı x ve y doğrultularında 3 açıklığa sahip olup simetrik olarak tasarlanmıştır. Performans limitini, performans limitine ilk ulaşan malzeme belirlemektedir. Bundan dolayı donatı ve beton malzemenin her biri için elde edilen maksimum ve minimum şekil-değiştirme değerleri dikkate alınmıştır.

İlgili yönetmelik kapsamında betonun kısılma değeri ve çeliğin uzama değerleri hesaplanarak ETABS sonlu elemanlar programına tanımlanmıştır. Şekil-değiştirme esasına dayanan yöntemlerden biri olan zaman tanım alanında analiz yöntemi, TBDY-2018 esasları dikkate alınarak uygulanmıştır. İlgili yapının İstanbul da olduğu ve zemin sınıfının ZC olduğu kabul edilmiştir. Deprem analizleri 1999 Kocaeli depremi ivme kayıtları kullanılarak incelenmiştir. Analizlerde dikkate alınan deprem ivme kayıtları Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) veri tabanından alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda mevcut binanın perde elemanlarının güncel yönetmeliğe göre hasar sınır bölgeleri elde edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Yapıların tasarımı ve değerlendirilmesinde TBDY-2018'de kullanılan yöntemler doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleridir. Doğrusal hesap yöntemlerinde kuvvet esasına dayalı yaklaşım kullanılırken doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde ise şekil-değiştirmeye göre yaklaşım dikkate alınmaktadır. Bu çalışma kapsamında, güncel yönetmelik dikkate alınarak 10 katlı konut tipi betonarme bir binanın deprem performansı incelenmiştir. Binanın modellenmesinde ve analizinde ETABS sonlu elemanlar programından faydalanılmıştır. Binanın performans seviyesini belirlemek amacıyla doğrusal olmayan davranış modellerinden yayılı plastik davranış modeli kullanılmıştır. Bina şekil-değiştirme esasına dayanan yöntemlerden biri olan doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemine tabi tutulmuştur. ETABS programı kullanılarak doğrusal olmayan malzeme özellikleri verilmiş ve kesit analizleri yapılmıştır. AFAD veri-tabanı kullanılarak analizlerde esas alınacak deprem ivme kayıtları seçilmiştir ve tasarım spektrumuna uygun olacak şekilde ölçeklendirme yapılmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz esasları ilgili yönetmelik kapsamında dikkate alınarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ivme kaydı seçilmiştir.

İncelenen binanın İstanbul da yer aldığı ve yerel zemin sınıfının ZC olduğu kabul edilmiştir. Yapıya x ve y doğrultularında deprem ivme kayıtları uygulanmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda mevcut binanın perde elemanlarının güncel yönetmeliğe göre hasar sınırları araştırılmış ve yapı performansı değerlendirilmiştir.

### 2. 1. Doğrusal olmayan davranış modelleri

Güncel yönetmelikte 2 adet doğrusal olmayan davranış modeli yer almaktadır. Bu davranış modelleri yığılı ve yayılı plastik davranış modeli olarak tanımlanmıştır [7].

### 2.2. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri

TBDY-2018'de belirtilen deprem hesap yöntemlerinden biri olan doğrusal olmayan hesap yöntemleri, itme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir. İtme yöntemleri ise tek ve çok modlu hesap yöntemleri olarak ikiye ayrılmıştır [7].

#### 2.2.1. Statik itme yöntemleri

Deprem hesaplarında kullanılan ve statik itme yöntemlerinden biri olan tek modlu itme yönteminin kullanılabilmesi için güncel yönetmelikte birtakım koşullar yer almaktadır. Bina yükseklik sınıfı ( $BYS \geq 5$ ) şartını tek modlu itme yöntemi için sağlamalıdır. Ayrıca burulma düzensizliği katsayısının  $\eta_{bi} < 1.4$  olması gerekmektedir. Bu şartlara ek olarak dikkate alınan deprem doğrultusunda birinci (hâkim) titreşim moduna sahip taban kesme kuvveti etkin kütesinin, toplam bina kütesine oranının en az 0.70 olması gerekmektedir. Ancak, Bina Yükseklik Sınıfı ( $BYS \geq 2$ ) koşulunu sağlayan binaların tümüne itme yöntemlerinden biri olan çok modlu itme yöntemi uygulanmalıdır. TBDY-2018'de tasarımı yapılan binalar deprem etkisinde yükseklikleri dikkate alınarak sekiz sınıfa ayrılmışlardır. Bina yükseklik sınıflarını belirlemek amacıyla öncelikle Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) Tablo 1 ile tespit edilmektedir. Ardından Bina Yüksekliği  $H_N$  esas alınarak Tablo 2'den  $BYS$  belirlenmektedir [7].

**Tablo 1.** Deprem tasarım sınıfları [7]

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı ( $S_{DS}$ )	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS=2, 3
$S_{DS} < 0,33$	DTS=4a	DTS=4
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	DTS=3a	DTS=3
$0,50 \leq S_{DS} < 0,75$	DTS=2a	DTS=2
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS=1a	DTS=1

**Tablo 2.** Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları [7]

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (m)		
	DTS=1, 1a, 2, 2a	DTS=3, 3a	DTS=4, 4a
BYS=1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS=2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS=3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS=4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS=5	$17,5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS=6	$10,5 < H_N \leq 17,5$	$17,5 < H_N \leq 28$	
BYS=7	$7 < H_N \leq 10,5$	$10,5 < H_N \leq 17,5$	
BYS=8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

### 2.2.2. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

İlgili yönetmelikte yer alan şekil-değiştirme esaslı yöntemlerden biri olan doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi, depreme maruz kalan bir yapının davranışını en doğru şekilde tahmin etmek için kullanılan analiz yöntemidir. Yüksek binalarda (BYS=1) bu analiz yönteminin kullanımı mecburidir [7].

Bu analiz yöntemi deprem yer hareketinin etkisinde yer alan taşıyıcı sistemin hareket denklemlerinin zaman artırımlarıyla aşama aşama direkt olarak integrasyonunu belirtir.

Analiz esnasında, doğrusal olmayan davranıştan dolayı sistemin rijitliğinin zamanla değişimi dikkate alınır. Çözüm yapılırken taşıyıcı sisteme yatay iki ortogonal doğrultudaki ivme kayıtları aynı zamanda etki ettirilir. Ardından ivme kayıtlarının eksenleri  $90^\circ$  döndürülür ve hesap yinelenir. Analizde önemli olan, ivme kayıtlarının seçimi ve esas alınan spektruma göre ölçeklendirilmesidir [34]. Binanın mevcut olduğu yerde tasarımda esas alınan deprem düzeyiyle uyumlu geçmiş ivme kayıtları varsa bu kayıtlara öncelik verilerek kullanılmalıdır [7].

Deprem kayıtlarının ölçeklendirme işlemini yapmak amacıyla doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi dikkate alınarak basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesinde TBDY-2018 yönetmeliğinde bazı kurallar yer almaktadır. Bu kurallar aşağıda belirtilmiştir:

- Bir ya da iki boyutlu hesapta kullanmak için seçilen kayıtların hepsinin spektrumların ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun farklı periyot aralığında olmayan genliklerinden daha düşük bulunmaması gerekir.

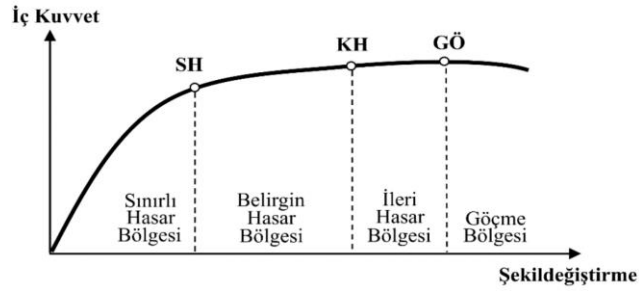
- Bileşke yatay spektruma ulaşmak amacıyla üç boyutlu hesapta kullanmak üzere deprem kayıtları tercih edilir. Bu deprem kayıtlarının iki yatay bileşenine özgü spektrumların kareleri toplamının karekökü alınır. Ardından bileşke yatay spektruma ulaşılır. Tercih edilen kayıtların hepsi için elde edilen bileşke spektrumların ortalamasının  $0.2T_p$  ve  $1.5T_p$  periyotları arasındaki genliklerin, tasarım spektrumunun farklı periyotta olmayan genliklere oranının 1.3 değerinden düşük çıkması gerekir [7].

### 2.3. Kesit hasar durumları

Güncel yönetmeliğimizde sünek elemanlar dikkate alınarak Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) olmak üzere üç hasar durumu belirtilmiştir [7].

#### 2.3.1. Kesit hasar bölgeleri

Elemanların Sınırlı Hasar Bölgesi'nde olabilmesi için kesit hasarlarının Sınırlı Hasara yetiştirmemesi, Belirgin Hasar Bölgesi'nde olabilmesi için Sınırlı Hasar ve Kontrollü Hasar arasında olması, İleri Hasar Bölgesi'nde olabilmesi için Kontrollü Hasar ve Göçmenin Önlenmesi arasında olması, Göçme Bölgesinde olabilmesi için ise Göçmenin Önlenmesi düzeyini geçmesi gerekmektedir. Kesit hasar bölgeleri Şekil 1'de verilmiştir [7].



Şekil 1. Kesit hasar bölgeleri [7]

#### 2.3.2. Kesit ve eleman hasarlarının belirlenmesi

TBDY-2018'deki deprem hesap yöntemleri dikkate alınarak iç kuvvetler ve şekil-değiştirmeler elde edilir. Elde edilen bu değerler kesit hasar sınırına denk gelen değerler ile kıyaslanır ve kesitlerin hasar bölgeleri tespit edilir. Elemanda en çok hasar gören kesit esas alınarak elemandaki hasar bulunur [7].

## 3. Bulgular ve tartışma

### 3.1. Sayısal çalışma

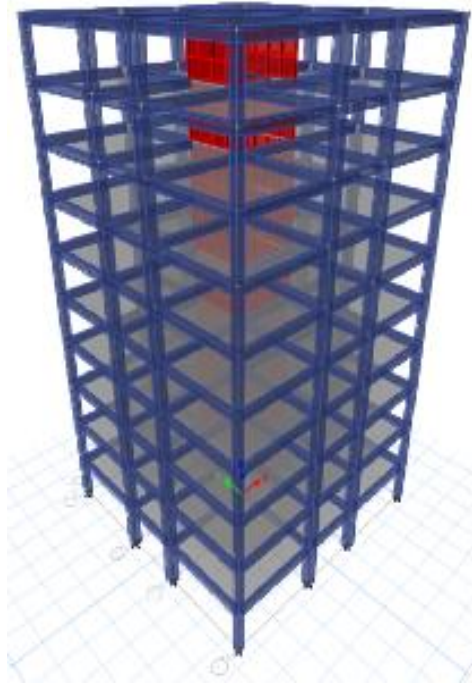
Bu çalışmada ele alınıp incelenen mevcut bina 10 katlı perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme bir binadır. Mevcut bina modeli oluşturulurken TBDY-2018 dikkate alınmıştır [7]. Kat yüksekliği 3m olarak alınmıştır. Mevcut bina kat planı x ve y doğrultularında 3 açıklığa sahip olup simetrik olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan yapının plandaki boyutları akstan aksa 16m x 16m'dir. X yönündeki aksların aralıkları sırayla 6 m, 4 m, 6 m'dir. Bina taban alanı toplam 256 m<sup>2</sup> dir. Kolonlar 40 x 40 cm ve 55 x 55 cm, kirişler 25 x 50 cm olarak tasarımı yapılmıştır. Her kata rijit diyafram tanımlaması yapılmıştır. Kolon ve kirişler çubuk eleman olarak tasarlanmıştır. Döşeme kalınlığı 0.15 m olarak seçilmiştir. Tüm kesitler için beton sınıfı C30, donatı çeliği B420C seçilmiştir. Ayrıca yerel zemin sınıfı ZC alınmıştır. Şekil-değiştirme esaslı tasarım yöntemlerinden doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi binanın deprem performansının belirlenmesinde kullanılmıştır. Binanın 3 boyutlu sonlu eleman modelinin oluşturulmasında ve analizlerinde ETABS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

Döşemeler üzerindeki hareketli yük ve kaplama yükü 2 kN/m<sup>2</sup>, duvar yükü 0.5 kN/m<sup>2</sup>, çatı katı döşemelerinde kaplama yükü 2 kN/m<sup>2</sup>, hareketli yük 1 kN/m<sup>2</sup> kabul edilmiştir. Çatı katı hariç tüm kirişlerde 7.5 kN/m, çatı katı dış kirişlerinde ise 2 kN/m yük kabulü yapılmıştır. Tablo 3'de binanın tipik özellikleri özetlenmiştir.

**Tablo 3.** Mevcut binanın tipik özellikleri

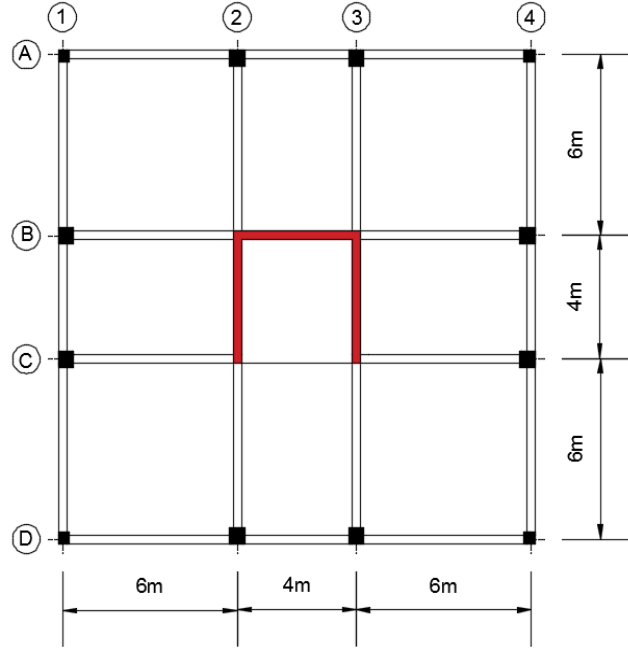
Binanın kat adedi	10
Binanın boyutları	16 m x 16 m
Kat yüksekliği	3 m
Döşeme kalınlığı	0.15 m
Beton sınıfı	C30
Donatı sınıfı	B420C
Kolon boyutları	40 x 40 cm ve 55 x 55 cm
Kiriş boyutu	25 x 50 cm
Zemin Sınıfı	ZC

ETABS programından faydalanılarak modellenen ve analizleri yapılan perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme binanın 3 boyutlu görüntüsü ve kat planı Şekil 2 ve 3’de sırasıyla gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Analizde kullanılan betonarme binanın 3 boyutlu modeli

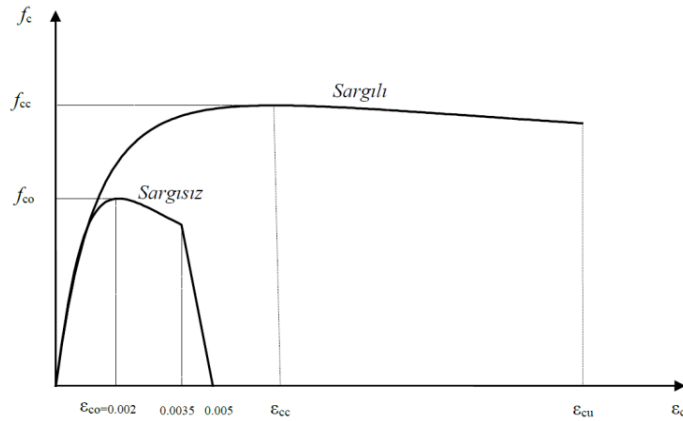
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY-2018) göre betonarme bir binanın perde elemanlarının hasar sınır bölgelerinin tespit edilmesi



Şekil 3. Binanın tipik kat planı

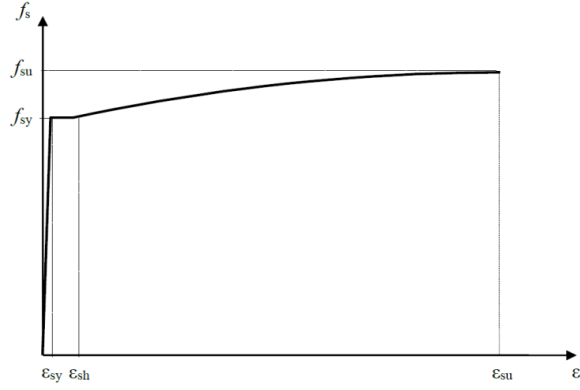
### 3.2. Malzeme ve kesit özellikleri

Mevcut bina modelinde 40 x 40 cm ve 55 x 55 cm olmak üzere 2 farklı kolon kesiti seçilmiştir. Kiriş kesitlerinin tümü 25 x 50 cm seçilmiştir. Sırayla beton ve donatı çeliği için elastisite modülleri 32.000 MPa ve 200.000 MPa alınmıştır. TBDY-2018'in önerdiği beton modeli, hem sargılı hem de sargısız betonlar için verilmiştir. Şekil 4'de ilgili yönetmelikte yer alan sargılı ve sargısız beton modeli gösterilmiştir. TBDY-2018'in önerdiği çelik modeli ise pekleşmeli çelik modelidir. Şekil 5'de ise pekleşmeli donatı çeliği modeli gösterilmiştir [7]. Bu çalışmada, beton ve donatı çeliği için yönetmelikte yer alan beton ve donatı çeliği modelleri kullanılmıştır.



Şekil 4. Sargılı ve sargısız betonlar için TBDY-2018'in tavsiye ettiği beton modeli [7]





Şekil 5. TBKY-2018'in tavsiye ettiği pekleşmeli donatı çeliği modeli [7]

### 3.3. Doğrusal olmayan malzeme özelliklerinin ETABS'a tanımlanması

Performans limitini, performans limitine ilk ulaşan malzeme belirlemektedir. Bundan dolayı malzemelerin her biri için elde edilen maksimum ve minimum şekil-değiştirme değerleri dikkate alınmaktadır. İlgili yönetmelik kapsamında betonun kısalma değeri ve donatı çeliğinin uzama değerleri hesaplanarak ETABS sonlu elemanlar programına sırasıyla tanımlanmıştır (Şekil 6 ve 7).

The screenshot shows the 'Nonlinear Material Data' dialog box for a concrete material. The 'Material Name and Type' section has 'Material Name' set to 'C30\_L1.45' and 'Material Type' set to 'Concrete, Isotropic'. The 'Miscellaneous Parameters' section has 'Hysteresis Type' set to 'Concrete'. The 'Drucker-Prager Parameters' section has 'Friction Angle' and 'Dilatational Angle' both set to 0 deg. The 'Acceptance Criteria Strains' section has a table with the following data:

	Tension	Compression	
ID	1	-0.0025	mm/mm
LS	2	-0.0112	mm/mm
CP	3	-0.0149	mm/mm

The 'Stress Strain Curve Definition Options' section has 'Parametric' selected and 'Mander' chosen. There is a 'Convert to User Defined' button.

Şekil 6. Betonun doğrusal olmayan malzeme verisinin ETABS'a girilmesi

The screenshot shows the 'Nonlinear Material Data' dialog box for a reinforcement steel material. The 'Material Name and Type' section has 'Material Name' set to 'S420' and 'Material Type' set to 'Rebar, Uniaxial'. The 'Miscellaneous Parameters' section has 'Hysteresis Type' set to 'Kinematic'. The 'Acceptance Criteria Strains' section has a table with the following data:

	Tension	Compression	
ID	0.0075	-0.0075	mm/mm
LS	0.024	-0.024	mm/mm
CP	0.032	-0.032	mm/mm

The 'Stress Strain Curve Definition Options' section has 'Parametric' selected and 'Simple' chosen. There is a 'Convert to User Defined' button.

Şekil 7. Donatı çeliğinin doğrusal olmayan malzeme verisinin ETABS'a girilmesi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY-2018) göre betonarme bir binanın perde elemanlarının hasar sınır bölgelerinin tespit edilmesi

ETABS bu plastik mafsallık özelliklerinin tanımlayabildiği bir dizi uygulama alanına sahiptir. Plastik mafsallar kullanıcı tarafından veya varsayılan (default) olarak tanımlanabilir. Bu çalışma kapsamında kullanıcı tanımlı ayarlamalar yapılmış olup hasar durumları (Sınırlı Hasar, Kontrollü Hasar ve Göçmenin Önlenmesi Performans düzeyleri) yönetmelikte verilen denklemlere göre hesaplanmıştır.

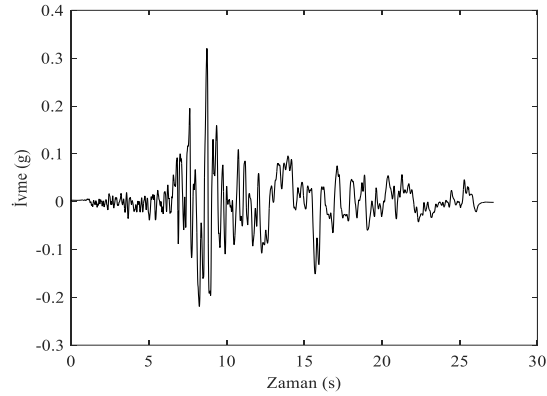
### 3.4. Analizde kullanılacak deprem ivme kayıtlarının seçimi

Güncel yönetmelikte deprem hesaplarında kullanılan ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerinden olan zaman tanım alanında analiz yöntemi dikkate alınarak analizlerde 1999 Kocaeli depremi ivme kaydı kullanılmıştır (Tablo 4).

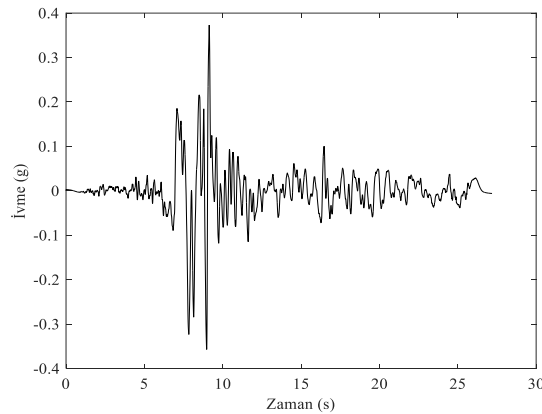
**Tablo 4.** Analizde kullanılan deprem kaydı

Deprem Adı	İstasyon	Tarih	Büyükük (Mw)
Kocaeli	Düzce	17 Ağustos 1999	7.6

Analizlerde dikkate alınan deprem ivme kayıtları AFAD veri tabanından alınmıştır [33]. Şekil 8 ve 9'da analizde kullanılmak üzere 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin kuzey-güney ve doğu-batı doğrultularına ait ivme kayıtları verilmiştir.

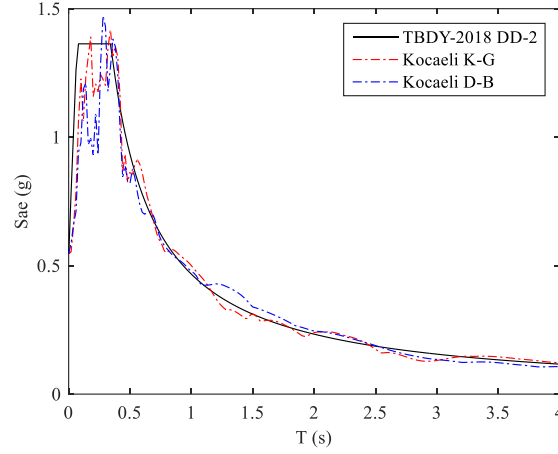


**Şekil 8.** Kocaeli depremi kuzey-güney doğrultusu ivme kaydı



**Şekil 9.** Kocaeli depremi doğu-batı doğrultusu ivme kaydı

Yapının bulunduğu konum dikkate alınarak çizilen elastik tasarım spektrumu ve ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlarının tepki spektrumları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Tasarım spektrumu ve ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarının tepki spektrumları

İncelenen binanın yerel zemin sınıfının ZC olduğu kabul edilmiş, deprem yer hareketi düzeyi ise DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem) olarak dikkate alınmıştır.

Kocaeli depreminin doğu-batı bileşeninin sayısal modelin x eksenini doğrultusunda, kuzey-güney bileşeninin ise y eksenini doğrultusunda uygulandığı deprem ivme kaydı birinci, aynı depremin kuzey-güney bileşeninin sayısal modelin x eksenini doğrultusunda, doğu-batı bileşeninin y eksenini doğrultusunda uygulandığı deprem ivme kaydı ise ikinci deprem olarak adlandırılmıştır.

Tablo 5. Birinci deprem sonucu perdede okunan beton birim şekil-değiştirme değerleri

Kat	Perde	Yüklem Durumu/ Kombinasyon	Mafsalsal	Numarası	Gerilmesi (MPa)	Şekil- değiştirme	Yapı Malzemesi	Yapı Durumu
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	1	3.23	0.015107	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	2	3.04	0.015691	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	3	3.46	0.016469	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	4	4.07	0.017248	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	5	3.96	0.018026	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	6	3.86	0.018805	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	7	3.78	0.019388	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	1	-19.11	-0.001073	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	2	-20.47	-0.001177	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	3	-22.72	-0.001349	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	4	-27.81	-0.001741	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	5	-32.91	-0.002132	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	6	-37.21	-0.002524	C30_L1.45	SH - KH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	7	-37.97	-0.002818	C30_L1.45	SH - KH

Tablo 6. Birinci deprem sonucu perdede okunan donatı birim şekil-değiştirme değerleri

Kat	Perde	Yüklem Durumu/ Kombinasyon	Mafsalsal	Numarası	Gerilmesi (MPa)	Şekil- değiştirme	Yapı Malzemesi	Yapı Durumu
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	8	461.16	0.015302	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	9	463.48	0.016080	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	10	464.88	0.016858	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	11	466.29	0.017637	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	12	467.69	0.018415	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_1 Maks	P1	13	469.1	0.019194	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	8	-416.89	-0.001108	S420	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	9	-417.49	-0.001254	S420	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	10	-419.15	-0.001545	S420	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	11	-421.06	-0.001936	S420	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	12	-423.18	-0.002328	S420	A - SH
Kat1	W19	1158_1 Min	P1	13	-425.3	-0.002720	S420	A - SH

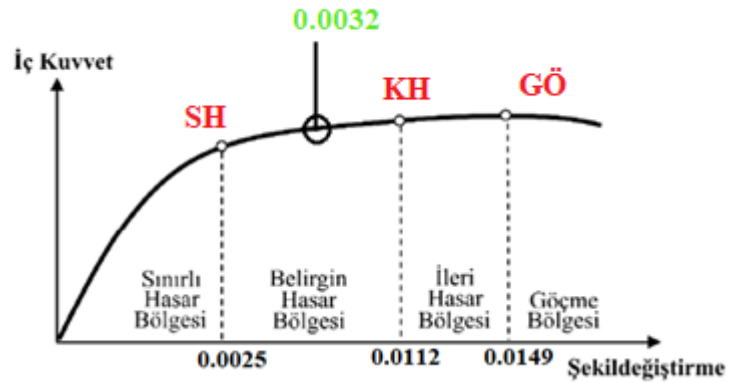
**Tablo 7.** İkinci deprem sonucu perdede okunan beton birim şekil-değiştirme değerleri

Kat	Perde	Yükleme Durumu/ Kombinasyon	Mafsalsal	Numarası	Gerilmesi (MPa)	Şekil-değiştirme	Yapı Malzemesi	Yapı Durumu
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	1	2.78	0.020137	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	2	2.87	0.020743	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	3	3.27	0.021550	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	4	4.07	0.022357	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	5	4.05	0.023164	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	6	4.07	0.023971	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	7	4.05	0.024576	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	1	-25.77	-0.001584	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	2	-29.18	-0.001846	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	3	-33.74	-0.002196	C30_L1.45	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	4	-37.27	-0.002546	C30_L1.45	SH - KH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	5	-38.16	-0.002895	C30_L1.45	SH - KH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	6	-39.04	-0.003245	C30_L1.45	SH - KH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	7	-39.7	-0.003508	C30_L1.45	SH - KH

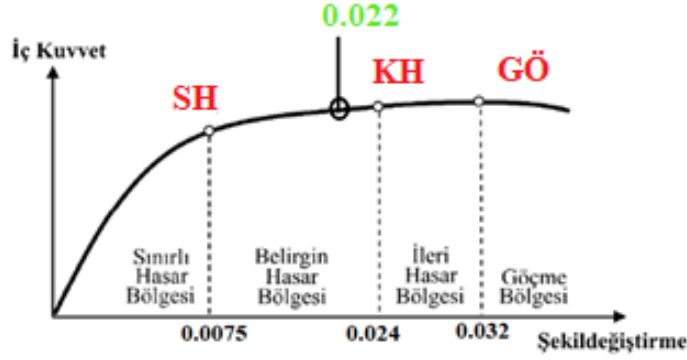
**Tablo 8.** İkinci deprem sonucu perdede okunan donatı birim şekil-değiştirme değerleri

Kat	Perde	Yükleme Durumu/ Kombinasyon	Mafsalsal	Numarası	Gerilmesi (MPa)	Şekil-değiştirme	Yapı Malzemesi	Yapı Durumu
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	8	471.17	0.020339	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	9	472.63	0.021146	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	10	474.08	0.021953	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	11	475.54	0.022760	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	12	477	0.023567	S420	SH - KH
Kat1	W19	1158_2 Maks	P1	13	478.45	0.024374	S420	KH - GÖ
Kat1	W19	1158_2 Min	P1	8	-424.21	-0.001671	S420	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Min	P1	9	-426.02	-0.002021	S420	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Min	P1	10	-427.79	-0.002371	S420	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Min	P1	11	-429.57	-0.002721	S420	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Min	P1	12	-431.35	-0.003070	S420	A - SH
Kat1	W19	1158_2 Min	P1	13	-433.13	-0.003420	S420	A - SH

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda, birinci depremde ilgili perdede hesaplanan maksimum beton birim şekil-değiştirme değeri 0.002818, donatı birim şekil-değiştirme değeri ise 0.019194 olarak hesaplanmıştır (Tablo 5-6). İkinci deprem sonucunda ilgili perdede okunan maksimum beton birim şekil-değiştirme değeri 0.003508, donatı birim şekil-değiştirme değeri ise 0.024374 olarak elde edilmiştir (Tablo 7-8). Kolon ve kiriş elemanlar ise analizler sonucunda elastik bölgede kalmıştır.



**Şekil 11.** Perdede okunan maksimum ortalama beton birim şekil-değiştirme değeri



**Şekil 12.** Perdede okunan maksimum ortalama donatı birim şekil-değiştirme değeri

Her iki deprem sonucunda perdede hesaplanan maksimum ortalama beton birim şekil-değiştirme değeri 0.003163, perdede hesaplanan maksimum ortalama donatı birim şekil-değiştirme değeri ise 0.021784 olarak hesaplanmıştır (Şekil 11-12). Betonarme bina elemanlarında incelenen hesap yöntemleri dikkate alındığında perdede oluşan maksimum ortalama birim şekil-değiştirme değerlerinin belirgin hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir. Sonuç olarak incelenen perde elemanının Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyini sağladığı tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında 10 katlı konut tipi betonarme bir binanın ETABS sonlu elemanlar programı ile deprem analizi yapılarak bina performansı incelenmiştir. Dikkate alınan bina perde duvar + çerçeve sistemine sahiptir. Mevcut bina kat planı x ve y doğrultularında 3 açıklığa sahip olup simetrik olarak tasarlanmıştır. Performans limitini, performans limitine ilk ulaşan malzeme belirlemektedir. Bundan dolayı donatı ve beton malzemenin her biri için elde edilen maksimum ve minimum şekil-değiştirme değerleri dikkate alınmıştır. İlgili yönetmelik kapsamında betonun kısalma değeri ve çeliğin uzama değerleri hesaplanarak ETABS sonlu elemanlar programına tanımlanmıştır. Şekil-değiştirme esasına dayanan yöntemlerden biri olan zaman tanım alanında analiz yöntemi, TBDY-2018 esasları dikkate alınarak uygulanmıştır. Deprem analizleri 1999 Kocaeli depremi ivme kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda mevcut binanın perde elemanının güncel yönetmeliğe göre hasar sınırları belirlenmiş ve perde elemanlarının hasar sınır bölgeleri elde edilmiştir.

Yapılan analizlerin sonucunda;

- Birinci depremde ilgili perdede hesaplanan maksimum beton birim şekil-değiştirme değeri 0.002818, donatı birim şekil-değiştirme değeri ise 0.019194 olarak hesaplanmıştır.
- İkinci deprem sonucunda ilgili perdede hesaplanan maksimum beton birim şekil-değiştirme değeri 0.003508, donatı birim şekil-değiştirme değeri 0.024374 olarak hesaplanmıştır.
- Perdede hesaplanan maksimum ortalama beton birim şekil-değiştirme değeri 0.003163, maksimum ortalama donatı birim şekil-değiştirme değeri ise 0.021784 olarak hesaplanmıştır.
- İkinci deprem sonucunda donatı birim şekil değışırtme değeri ileri hasar bölgesinde kalmasına rağmen birinci depremde belirgin hasar bölgesinde kalmıştır. Perdede hesaplanan maksimum ortalama donatı birim şekil-değiştirme değeri ise 0.021784 olarak hesaplandığından donatı birim şekil-değiştirme değeri belirgin hasar bölgesinde kalmıştır.

Sonuç olarak malzemelerin her biri için elde edilen maksimum ve minimum şekil-değiştirme değerleri perde kesitlerin hasar sınır bölgesini belirlemede etkin bir rol oynamaktadır. Performans limitini, performans limitine ilk ulaşan malzeme belirlediği bundan dolayı malzemelerin her biri için hesaplanan maksimum ortalama donatı birim şekil değışırtme değeri ve minimum beton birim şekil-değiştirme değerlerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. İleride yapılacak çalışmalarda farklı perde konumları ve farklı deprem ivme kayıtlarının kullanılması hedeflenmektedir.

### Kaynaklar

- [1] Yalın M. Mevcut bir okul binasının deprem performansının 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [2] Şenel A.C.N. Mevcut betonarme bir yapının deprem performansının artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile belirlenmesi ve güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [3] Sayın E., Yön B., Onat O., Gör M., Öncü M.E., Tuğrul Tunç E., Bakır D., Karaton M., Calayır Y. 24 January 2020 Sivrice-Elazığ Turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures. Bulletin of Earthquake Engineering 2021; 19(2): 657-684.
- [4] ATC 40. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California, ABD. 1996.
- [5] FEMA 356. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington DC. 2000.
- [6] DBYBHY 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [7] TBDY 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [8] İbiş T., Ulutaş H. Yeni yapılacak betonarme bir binanın TBDY 2018'e göre deprem performansının belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2021; 10(3): 1104-1124.
- [9] Taş Ö.F., Sayın E., Öncü M.E. Yeni betonarme binalar için etkin kesit rijitlikleri ve statik itme analizleri. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2022; 34(2): 505-516.
- [10] Dalyan İ., Şahin B. Mevcut betonarme bir binanın 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem performansının değerlendirilmesi. Türk Deprem Araştırma Dergisi 2019; 1(2): 134-147.
- [11] Çapa Y.U. Kat adetleri farklı betonarme binaların deprem performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2020.
- [12] Çavdar Ö. Earthquake performance analysis of existing concrete structure in the Istanbul metropolitan area using non-linear method. International Journal of Science and Engineering Applications 2020; 9(12): 139-146.
- [13] Tekdemir H. Betonarme binaların deprem performanslarının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [14] Meral E., İnel M. Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların yapısal parametre özelliklerinin değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2016; 22(6): 468-477.
- [15] Kuşu A., Beyen K. Aynı koşullar altında tasarlanan 12 katlı çelik ve betonarme bir yapının TBDY 2018 esaslarına göre karşılaştırılması. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 2(2): 64-73.
- [16] Meral E. Kapalı çıkmalı betonarme binaların deprem davranışının değerlendirilmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 31(2): 309-318.
- [17] Meral E. Betonarme binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analizlerinden elde edilen sismik taleplerinin karşılaştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 32: 183-190.
- [18] Kürkcü F. 20 katlı betonarme bir yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımı ve deprem performansının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [19] Aksoylu T. 40 katlı asimetrik betonarme bir binanın deprem performansının zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [20] Koçak N. Betonarme bir yapıda farklı malzeme türlerinin yapının zaman tanım alanında analizi sonuçlarına etkilerinin karşılaştırılması (Ocak 2020 Elazığ deprem örneği). Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [21] Şahin Y. Mevcut bir betonarme binanın 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre zaman tanım alanında analizinin yapılarak performansının belirlenmesi ve çelik güçlendirme önerileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [22] Fırat Alemdar Z., Caymazer D. Kentsel dönüşüm kapsamında çok katlı betonarme bir binanın deprem performansının değerlendirilmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2018; 8(2): 273-283.
- [23] Turan M.E. Mevcut betonarme bir binanın deprem performansının zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile belirlenmesi, güçlendirme önerileri ve maliyet analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2022.
- [24] Yıldız E. Mevcut 44 katlı betonarme yüksek bir binanın TBDY 2018'e göre deprem performansının zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2021.
- [25] İçöz Z.G. Orta ve yüksek katlı binalarda zemin yapı etkileşiminin zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [26] Yalın M., Ulutaş H. Mevcut okul türü bir binanın deprem performansının 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 10(2): 648-661.
- [27] Balun B., Nemutlu Ö.F., Sarı A. TBDY 2018 basitleştirilmiş tasarım kurallarının taban kesme kuvvetine etkisinin incelenmesi. Türk Doğa ve Fen Dergisi 2020; 9: 173-181.
- [28] Koçer M., Nakipoğlu A., Öztürk B., Al-Hagrı M.G., Arslan M.H. Deprem kuvvetine esas spektral ivme değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007'ye göre karşılaştırılması. Selçuk-Teknik Dergisi 2018; 17(2): 43-58.

- [29] Yel N.S., Arslan M.H., Aksoylu C., Erkan İ.H., Arslan H.D., Işık E. Investigation of the earthquake performance adequacy of low-rise RC structures designed according to the simplified design rules in TBEC-2019. *Buildings* 2022; 12(10): 1722.
- [30] Işık E., Ulutaş H., Harirchian E., Avcil F., Aksoylu C., Arslan M.H. Performance-based assessment of RC building with short columns due to the different design principles. *Buildings* 2023; 13(3): 750.
- [31] Aksoylu C., Mobark A., Arslan M.H., Erkan İ.H. A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings. *Revista de la Construcción* 2020; 19(2): 282-305.
- [32] Kumbasaroğlu A. Effect of anchor bars on seismic behavior of infilled walled frames. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2020; 24(10): 2980-2992.
- [33] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) veri tabanı, <https://deprem.afad.gov.tr/home-page/>, Erişim: 2023.
- [34] Celep, Z. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 2017.