

## Yeni Betonarme Binalar için Etkin Kesit Rijitlikleri ve Statik İtme Analizleri

Ömer Faruk TAŞ<sup>1</sup>, Erkut SAYIN<sup>1\*</sup>, Mehmet Emin ÖNCÜ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği, Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elazığ, Türkiye

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

<sup>1</sup> oftas@firat.edu.tr, <sup>1\*</sup> esayin@firat.edu.tr, <sup>2</sup> oncume@dicle.edu.tr

(Geliş/Received: 24/02/2022;

Kabul/Accepted: 02/08/2022)

**Özet:** Depremler, insan hayatına dolaylı veya doğrudan etki eden doğal afetlerdir. Son yıllarda meydana gelen depremlerin olumsuz etkilerinden dolayı betonarme yapıların performansa dayalı tasarımı giderek önem kazanmıştır. Güncel deprem yönetmeliklerinde, kuvvet esasına dayanan yöntemler yerine, şekil değiştirmeye göre tasarım kullanılmaya başlanmıştır. Betonarme yapıların doğru tasarlanabilmesi için betonarme elemanların doğru anlaşılması gerekir. Eleman davranışları ise kesit davranışlarının tespit edilmesine bağlıdır. Çalışma kapsamında kolon kesitlerin davranışı, malzemelerin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilmiştir. Betonarme kolonların farklı eksenel yük seviyeleri için moment eğrilik ilişkileri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) beton modeli dikkate alınarak elde edilmiştir. Değişen parametrelerin kolon davranışı üzerindeki etkisi etkin kesit rijitliği açısından değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, 3, 5, 7 ve 10 katlı betonarme konut tipi yapılar incelenmiştir. Şekil değiştirme esasına dayanan yöntemlerden biri olan doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi, TBDY 2018 esasları dikkate alınarak uygulanmıştır. Kolon ve kirişlerin doğrusal olmayan malzeme davranışları, kesit tasarımları ve plastik mafsallık özelliklerinin hesabı XTRACT programıyla yapılmıştır. XTRACT programından elde edilen bu bilgiler, SAP2000 programında tanımlanmıştır. Bina modelleri ve analizleri SAP2000 sonlu elemanlar programıyla yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu tasarlanan betonarme kolon kesitlerde, kat adedi değişimiyle kolon elemanların etkin kesit rijitliklerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca kat adedi değişiminin statik itme analizi sonucu oluşan taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Statik itme analizleri ile taban kesme kuvvetlerinin binaların ağırlıklarına oranı ( $V_t/W$ ), binaların kat adedinin artmasıyla azaldığı görülmüştür. Binanın toplam yüksekliği (kat adedi) arttıkça, performans noktasına karşı gelen tepe yer değiştirmeye değerlerinde artış görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme Yapılar, Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi, SAP2000

## Effective Section Stiffnesses and Static Pushover Analysis for New RC Buildings

**Abstract:** Earthquakes are natural disasters that directly or indirectly affect human life. Performance-based design of reinforced concrete structures has become increasingly important due to the negative effects of earthquakes in recent years. In current earthquake regulations, instead of force-based methods, deformation-based design has started to be used. Reinforced concrete elements must be understood correctly in order to design reinforced concrete structures correctly. The element behaviors depend on the determination of the section behaviors. Within the scope of the study, the behavior of the column sections was obtained from the moment-curvature relations considering the non-linear behavior of the materials. Moment curvature relations of reinforced concrete columns for different axial load levels were obtained by considering the Turkish Building Earthquake Code (TBEC 2018) concrete model. The effect of changing parameters on column behavior was evaluated in terms of effective section stiffness. In this study, reinforced concrete type buildings with 3, 5, 7 and 10 floors were examined. Nonlinear static pushover analysis method, which is one of the methods based on shape change, was applied by taking into account the principles of the Turkey Building Earthquake Regulation (TBEC 2018). Nonlinear material behavior of columns and beams, section designs and calculation of plastic hinge properties were made with XTRACT program. This information obtained from XTRACT program was defined in the SAP2000 program. Building models and analyzes were made with the SAP2000 structure and analysis program. As a result of the analysis, the change in the effective section stiffness of the structural system elements with the increase in the number of floors in reinforced concrete buildings was examined. In addition, the relationship between the base shear force and top displacement resulting from the static pushover analysis of the number of floors change was investigated. Static pushover analysis showed that the ratio of the base shear forces to the weights of the buildings ( $V_t/W$ ) decreased as the number of floors of the building increased. As the total height of the building, that is, the number of floors, increased, the top displacement values corresponding to the performance point increased.

**Keywords:** Reinforced Concrete Structures, Nonlinear Static Pushover Analysis, SAP2000

\* Sorumlu yazar: esayin@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0002-1431-5316, <sup>2</sup> 0000-0003-0266-759X, <sup>3</sup> 0000-0001-6434-293X

## 1. Giriş

Türkiye jeolojik olarak genç ve yeryüzünün en aktif deprem kuşaklarından birinde bulunmasından dolayı sıklıkla depremler meydana gelmektedir. Oluşan bu depremlerde can ve mal kayıpları yaşanabilmektedir. Yaşanan bu kayıplar sebebiyle, risk altındaki bölgelerde bulunan mevcut yapıların ve yeniden inşa edilecek yapıların, olası depremlerde nasıl davranış göstereceği önemlidir. Bu durum, yapıların deprem performanslarının incelenmesini gerektirmiştir [1]. Yapıların performansa dayalı tasarımı ilk defa 1996 yılında yayınlanan Betonarme Binaların Sismik Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi (ATC 40) [2] ve 2000 yılında yürürlüğe giren Binaların Sismik İyileştirilmesi için Önstandart ve Açıklamalar (FEMA 356) [3] gibi standartlarda yer almıştır. Türkiye’de ise ilk olarak yapıların performansa dayalı tasarımı, mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi şeklinde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007)’de yer almıştır [4]. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)’nin yürürlüğe girmesiyle DBYBHY 2007’den farklı olarak yeni yapılacak binaların deprem performanslarının belirlenmesi kavramına ilk defa yer verilmiştir [5]. Yeni yapılacak binaların deprem performansının belirlenmesiyle mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesi arasındaki en ayırt edilebilir farklardan biri etkin kesit rijitlik çarpanlarının hesaplanması ile ilgilidir. Mevcut binaların taşıyıcı elemanlarının etkin kesit rijitlik çarpanları TBDY 2018’de dördüncü bölümde belirtilmiştir. Yeni yapılacak binaların tasarımında ise taşıyıcı elemanların her bir kesiti için ayrı ayrı moment eğrilik analizlerinin yapılması gerektiği belirtilmiştir. Literatür incelendiğinde mevcut binaların deprem performanslarının tespiti ile ilgili birçok çalışma yapılmış olup bunların büyük çoğunluğu DBYBHY 2007 yönetmeliği esas alınarak yapılmıştır [6-15].

Güncel yönetmeliğin yayınlanması ile binaların deprem performanslarının bu yönetmeliğe göre değerlendirilmesi hakkında çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İbiş ve Ulutaş [16], TBDY 2018’i esas alarak yapılan ve yapım aşamasında olan betonarme binanın doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinden tek modlu statik itme yöntemi ile yapıların performans düzeyini belirlemiştir. Kap vd. [17], Düzce ve Marmara depremlerinden etkilenmiş olan bir okul binasının, TBDY 2018 yönetmeliğine göre performans analizini yapmışlardır. Çapa [18], TBDY 2018’de verilen iki farklı değerlendirme yöntemine göre (doğrusal ve doğrusal olmayan) farklı kat adetlerine sahip betonarme binaların deprem performanslarını incelemiştir. Kürkcü [19], çalışmasında güncel yönetmeliği dikkate alarak çok katlı betonarme bir binanın deprem performansını zaman tanım alanında hesap yöntemi ile incelemiştir. Akçora [20], yaptığı çalışmada betonarme çerçeve ve çekirdek perdelerden oluşan yüksek bir yapının 3 boyutlu sonlu elemanlar modelini SAP2000 ve ETABS programları ile oluşturmuştur. Oluşturduğu modeli zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemini uygulayarak farklı ivme kayıtları altında analizini yapmıştır. Analizler sonucu plastik şekil değiştirmeler ve dönme değerlerinin TBDY 2018’de verilen sınırları sağladığını tespit etmiştir. Kurt ve Tonyalı [21], TBDY 2018’e göre yapılan dört katlı ve üç açıklıklı bir betonarme çerçeve sisteminin performansa dayalı tasarımı üzerinde çalışmışlardır. DD-2 seviyesindeki deprem için modelini oluşturdukları betonarme çerçeve sisteminin lineer olmayan statik itme analizini yapmış ve yönetmelikte hedeflenen performans kriterlerine sahip olup olmadığını belirlemiştir. Taş [22], TBDY 2018 yönetmeliğini dikkate alarak kat adetleri farklı betonarme binaların taşıyıcı elemanlarının etkin kesit rijitlik değerlerini hesaplamıştır. Ayrıca incelenen binalara doğrusal olmayan tek modlu statik itme metodu uygulanmış ve bu binaların performans düzeylerini belirlemiştir. İncelenen tüm binalarda kolon ve kirişler belirgin hasar bölgesinde kalmış ve kontrollü hasar düzeyini sağlamıştır. Çavdar [23], İstanbul’da bulunan mevcut altı katlı betonarme perde + çerçevesel bir yapının güncel yönetmeliğe göre performans analizini yapmıştır. Sucuoğlu [24], çalışmasında sismik tehlike haritaları, binalar için genel tasarım kuralları, kuvvete dayalı tasarımın temel yönleri ve deformasyona dayalı değerlendirme konularını incelemiştir. İnel ve Meral [25], düşük ve orta katlı binaları temsil etmesi için 2, 4 ve 7 katlı toplam 144 adet binayı modellemiştir. Dolgu duvar katkısı, yumuşak kat ve kapalı çıkma düzensizliklerini incelemiştir. Her bir yapı statik itme analizine tabi tutulmuş ve yapılara ait kapasite eğrileri hesaplanmıştır. Elde ettikleri deplasman taleplerini içeren yapısal parametreler ile bina periyotlarının değişimini incelemiştir. Urbanski vd. [26], çalışmasında çerçeve bina üzerinde statik itme analizi uygulanmış ve elde ettiği sonuçları değerlendirmiştir. Ferraioli [27], betonarme çerçeve yapılar üzerinde doğrusal olmayan statik itme ve doğrusal olmayan artımlı dinamik analizleri kullanarak bu yapıların performans analizini yapmıştır. Bu amaçla, Avrupa ve İtalya sismik kodlarına göre yüksek süneklik sınıfı için tasarlanmış üç, beş, yedi ve dokuz katlı düzgün betonarme çerçeveleri incelemiş ve elde ettiği sonuçları tartışmıştır. Shekhar vd. [28], üç boyutlu altı katlı, iki boyutlu iki katlı betonarme yapıların itme analizlerini yaparak, taşıyıcı elemanların hangi performans düzeyini sağladığını tespit etmeye çalışmıştır.

Bu çalışmada, TBDY 2018 yönetmeliği esas alınarak 3, 5, 7 ve 10 katlı yeni yapılacak betonarme konut tipindeki binalara doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden olan tek modlu statik itme (pushover) analiz yöntemi uygulanmıştır. Taşıyıcı elemanlara ait beton ve çelik malzemelerin tanımlanması ve etkin kesit rijitliklerinin

belirlenmesinde XTRACT programından faydalanılmıştır. Binalar üç boyutlu olarak SAP2000 programıyla modellenerek statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Her binaya ait taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi değerleri hesaplanarak itme eğrileri elde edilmiştir. Kolon kesitlerde, kat adedi değişimiyle kolon elemanların etkin kesit rijitliklerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca kat adedi değişiminin tek modlu statik itme analizleriyle elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Deprem yönetmeliklerinde “doğrusal ve doğrusal olmayan” hesap yöntemleri, yapıların tasarım ve değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Kuvvete dayalı yaklaşım, doğrusal hesap yöntemlerinde ele alınırken şekil değiştirmeye dayalı yaklaşım, doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde kullanılmaktadır. şekil değiştirmeye göre tasarımın doğru incelenebilmesi ise taşıyıcı sistemin özelliklerinin iyi anlaşılmasıyla mümkündür. Taşıyıcı sistemde bulunan eleman davranışları da kesit davranışlarını incelemeyi gerektirir. Bu çalışmada kesit davranışlarının belirlenmesinde moment-eğrilik ilişkilerinden faydalanılmıştır. Moment-eğrilik ilişkisi ise, oluşturulacak beton modeli, çelik modeli, donatı düzeni, farklı aksenal yükler ve açılar altında yapılan analizler sonucu elde edilmiştir. Deprem etkisi altındaki betonarme yapıların, deprem performanslarını etkileyen faktörlerden birisi de çatlamış kesite ait etkin kesit rijitliklerinin ( $EI_e$ ) dikkate alınmasıdır. Bu rijitliklerin doğru hesaplanması, kesitlerin doğrusal olmayan bir yöntemle çözülmesini kolaylaştıran faktörlerden biridir.

Bu çalışma kapsamında, kat adetleri farklı yeni betonarme binaların kolonlarının çatlamış kesitlerine ait etkin kesit rijitlikleri ( $EI_e$ ), moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen yığılı plastik davranış kabulüne göre belirlenmiştir. XTRACT [29], betonarme kesitlerin lineer olmayan malzeme davranışlarını dikkate alan ve yığılı plastik mafsalları yapabilen bir programdır. Bu program, düzenli dikdörtgen kesitler, dairesel, simetrik dörtgen kesitler ve asimetric kesitleri de çözebilir. Bu çalışmada XTRACT programı ile betonarme kolon ve kiriş elemanlarının moment-eğrilik analizleri elde edilmiştir. Moment-eğrilik analizlerinden elde edilen grafikler aynı program yardımıyla idealize edilmiştir.

Kolonlar ve kirişler, SAP2000 [30] sonlu elemanlar programında doğrusal olmayan çerçeve elemanlar olarak modellenmiştir. Bu çalışmada, yığılı plastik mafsalları model kullanılmıştır. Kolon ve kirişlerin her iki ucuna da yığılı plastik mafsalları yöntemine göre mafsallar atanmıştır. Plastik mafsalları özellikleri kullanıcı tarafından tanımlanmıştır. Kullanıcı tanımlı mafsalları özelliklerinin tanımı, her bir eleman için moment-eğrilik analizini gerektirir. Bu çalışmada, her kesit için akma yüzeylerini belirlemek amacıyla yine XTRACT programı kullanılarak 0, 45 ve 90 derecelik yüklemeye açılarının etkisi altında kolonlar için 3 farklı aksenal yük-moment (PM) etkileşim diyagramı gerçekleştirilmiştir.

## 3. Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri

Doğrusal olmayan davranış modelleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY 2018)'de, yığılı ve yayılı plastik davranış modeli ile belirtilmiştir [5].

## 4. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri güncel yönetmeliğimizde statik itme yöntemleri (tek ve çok modlu hesap yöntemleri) ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak tanımlanmıştır [5].

### 4.1. Statik İtme Yöntemleri

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerini esas alan statik itme yöntemi, kuvvetlerin etkisi altındaki binaların deprem davranışının tespit edilmesinde kullanılır. Pratik bir metot olan statik itme yönteminin altyapısı sağlam bilimsel temellere dayanır. Yapılara yatay kuvvetlerin uygulanması ve bu kuvvetlerin belirli bir sınır değere kadar artırılması esasına dayanır. Bu sınır değer, önceden tespit edilen bir yatay yer değiştirme de olabilir stabilitenin bozulmaya başladığı bir sınır değer de olabilir [31-34].

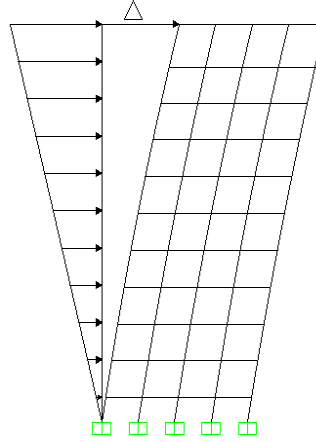
Binalara uygulanacak doğrusal olmayan statik itme analizlerinde yatay yükler, farklı yük desenleri kullanılarak uygulanabilir. Bu yük desenleri, yapı davranışlarına bağlı olup ATC-40'da uygulama yöntemleri belirtilmiştir. Binaya uygulanacak yatay yükün tamamının en üst kat seviyesinden etki ettirilmesi, eşdeğer deprem yükü yönteminden elde edilen deprem yüklerinin her kat seviyesinden uygulanması, hâkim modun hüküm sürdüğü binalarda deprem yüklerinin kat seviyesinden uygulanması itme şekillerindedir [2].

TBDY 2018’de doğrusal olmayan statik itme yöntemi, tek modlu veya çok modlu itme yöntemleri olarak iki farklı şekilde belirtilmiştir. Deprem hesaplarında çok modlu itme yöntemi de uygulanabilir. Ancak bu yöntemin uygulanabilmesi için Bina Yükseklik Sınıfının ( $BYS \geq 2$ ) olması gerekir [5].

Bu yöntemlerin her adımında yapıya ait itme eğrisi (pushover curve) elde edilir. Bu eğri, doğrusal olmayan yöntemle hesaplanan taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ilişkisini gösterir. Bu çalışmada doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden tek modlu statik itme (pushover) analiz yöntemi esas alınmıştır.

TBDY-2018 doğrusal olmayan yöntemlerden olan tek modlu statik itme yönteminin (Şekil 1) uygulanabilmesi için bazı şartlar öne sürmüştür. Bu şartları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

- 1) Tek Modlu İtme Yönteminde ( $BYS \geq 5$ ) olmalıdır.
- 2) Burulma düzensizliği katsayısı  $\eta_{bi} < 1.4$  şartını sağlamalıdır.
- 3) Mevcut deprem doğrultusunda hâkim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam bina kütlelerine oranı en az 0.70 olması zorunludur [5].



Şekil 1. Tek modlu itme yöntemi

Yükseklikleri bakımından sınıflandırılan binalar birçok Bina Yükseklik Sınıfına (BYS) ayrılmıştır. Bu yükseklik sınıfları belirlenirken deprem tasarım sınıfı (DTS) Tablo 1 ve bina yüksekliği ( $H_N$ ) ile birlikte Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) Tablo 2’den tespit edilir [5].

Tablo 1. Deprem tasarım sınıfları (DTS) [5]

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı ( $S_{DS}$ )	Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	
	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 tanımlanmış bina yükseklik aralıkları [5]

Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	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	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

TBDY 2018'e göre doğrusal olmayan tek modlu statik itme analizinden önce düşey yükler hesaplanmalı ve yapıya aşamalı olarak uygulanmalıdır. Bu kontrol, itme analizinin başlangıç koşullarıdır. Bu analiz ilk adımı olan düşey yükler Denklem 1'de verilmiştir.

$$G + nQ + 0.3E_d^{(Z)} \quad (1)$$

Bu denklemde G toplam ölü yükü, n hareketli yük katılım faktörünü, Q binanın katlarındaki toplam hareketli yükleri,  $E_d^{(Z)}$  düşey deprem etkisini tanımlamaktadır. Düşey deprem etkisi  $E_d^{(Z)}$  Denklem 2'den elde edilir.

$$E_d^{(Z)} = \frac{2}{3} S_{DS} G \quad (2)$$

Burada  $S_{DS}$ , binanın kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısını temsil eder.  $S_{DS}$  değeri, binanın yer hareketi seviyesi, binanın koordinatı ve zemin sınıfına göre Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından alınmaktadır. TBDY 2018'e göre konut binaları için  $n = 0.3$  alınmalıdır.  $E_d^{(Z)}$ 'nin değeri Denklem 1'de yerinde yazılırsa Denklem 3 elde edilir.

$$G(1 + 0.2 \times S_{DS}) + nQ \quad (3)$$

#### 4.1.1 Hedef Deplasman Seviyesinin Belirlenmesi

Doğrusal olmayan statik itme analizi yönteminde, binalar x ve y yönlerinde hedef deplasman seviyesine kadar itilerek taşıyıcı elemanların hasar seviyesi belirlenebilir. Böylece, binaların kapasite eğrisi ve talep spektrumu çizilerek hedef deplasman seviyesi tespit edilir. Kapasite eğrisi ve talep spektrumunu aynı koordinat ekseninde göstermek mümkün değildir. Bu nedenle tasarım depremi spektrum eğrisine dönüştürülerek modal yer değiştirme talebi belirlenir ve performans noktaları tespit edilir. Tasarım depremi spektrum eğrisine dönüştürülerek modal yer değiştirme talebi ve performans noktaları belirlenmektedir. Bu deplasman talebine göre binanın taşıyıcı sistemi tekrar itilerek plastik mafsallar bulunur.

#### 4.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden olan zaman tanım alanında analiz yönteminde, deprem yer hareketinin etkisinde bulunan taşıyıcı sistemlerin hareket denklemlerini belirten denklemlerin zaman artımlarıyla adım adım olacak şekilde doğrudan integrasyonunu ifade eder Bu yöntemin yüksek binalar için (BYS=1 olan binalarda) kullanılması zorunludur [5].

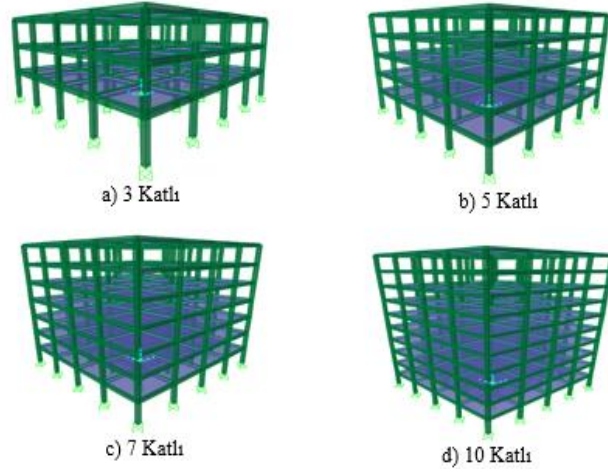
## 5. Sayısal Çalışma

Bu çalışma kapsamında 3, 5, 7 ve 10 katlı yeni tasarlanacak betonarme konut tipi binalar incelenmiştir. Bu binaların tasarımı TBDY 2018 esaslarına ve TS500'e göre yapılmıştır [5, 35]. Yüklemelerde ise TS 498 [36], dikkate alınmış ve kat hizalarında rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Taşıyıcı sistem, süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem olarak tasarlanmıştır. Binaların deprem hesaplarında doğrusal olmayan tek modlu statik itme yöntemi kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanları çubuk eleman olarak programa atanmıştır. Kolon elemanların zemine ankastre bağlı olduğu kabulü yapılmıştır. Binaların 3 boyutlu sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında SAP2000 programı kullanılmıştır. Binaların kalıp planları, beton ve donatı özellikleri aynı olup karakteristik özellikleri Tablo 3'de verilmiştir. Tüm kesitler için donatı çeliği olarak B420C çeliği, beton sınıfı olarak ise C30 dikkate alınmıştır.

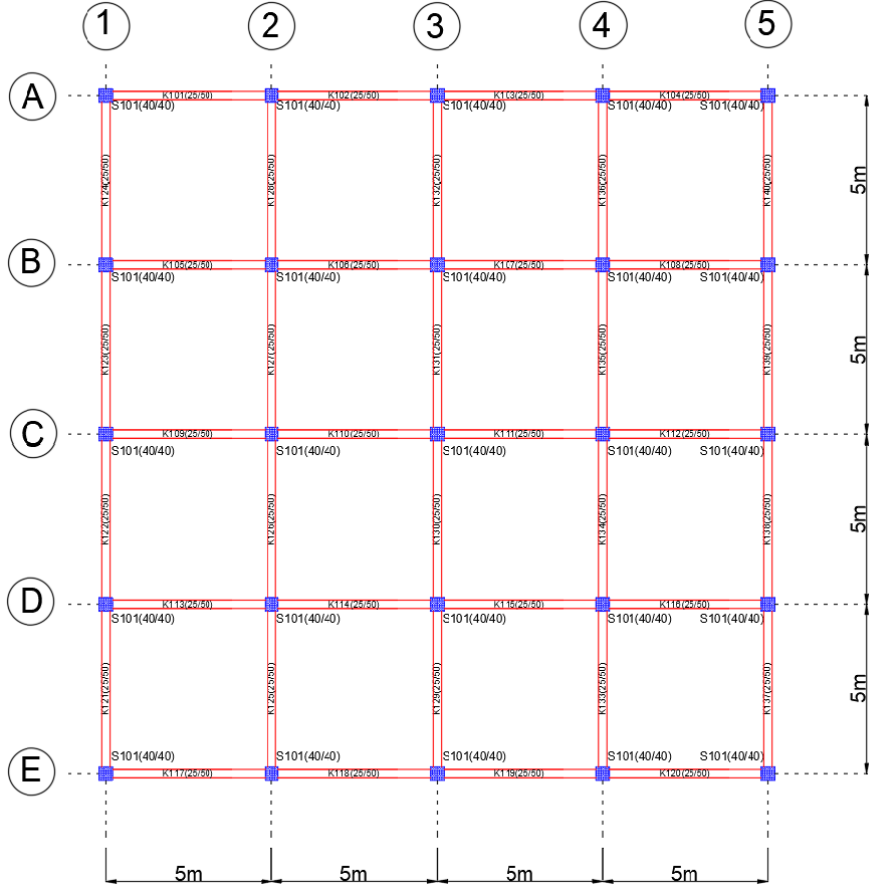
**Tablo 3.** Binaların karakteristik özellikleri

Binaların boyutları:	20 m (x doğ.) / 20 m (y doğ.)
Aks sayısı	x ve y doğrultusunda 5 adet
Binaların eksen açıklıkları	x ve y doğrultusunda 5 m
Binaların kat adedi ve yüksekliği	(3,5,7 ve 10) / 3 m
Döşeme kalınlıkları	0.12 m

SAP2000 programında hazırlanan binaların 3 boyutlu sonlu eleman modelleri Şekil 2'de, tipik kat planı ise Şekil 3'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Betonarme binaların 3 boyutlu sonlu eleman modelleri



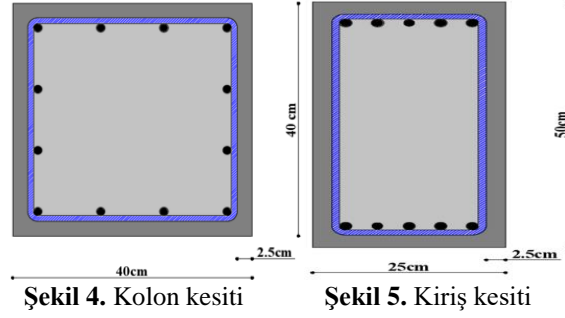
Şekil 3. Binaların tipik kat planı

## 5.2. Plastik Mafsallıkların Tespit Edilmesi

Plastik mafsallıkların bilinmesi, taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelebilecek hasarların belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada doğrusal olmayan malzeme özelliklerini tanımlamak ve plastik mafsallıkların elde edebilmek için XTRACT programı kullanılmıştır. İlk olarak bu program ile beton ve çelik malzemelerin özellikleri tanımlanmıştır. Taşıyıcı elemanların plastik mafsallıkların belirlenip kolon ve kiriş elemanların plastik mafsallık kesitleri oluşturulmuştur. Kolon ve kiriş kesitlerin pas payı, etriye bilgisi (çapı, sayısı, donatı düzeni) düzenlenmiştir. Betonarme kiriş elemanlarda aksel kuvvet ihmal edildiğinden dolayı plastik mafsallık olarak M3 plastik mafsallık kullanılmıştır. Betonarme kolon elemanlarda ise eğilme momentinin yanında aksel kuvvetinde etkisi görüldüğünden P-M2-M3 plastik mafsallık kullanılmıştır. Kolon elemanlarda 0, 45 ve 90 derece açı altında olmak üzere 3 farklı akma yüzeyi tanımlanması yapılmıştır. Plastik mafsallıklar oluşturulduktan sonra bu kesitler, SAP2000'de oluşturulan binaların 3 boyutlu sonlu elemanlar modelindeki ilgili kesitlere atanmıştır. Böylece kolon ve kirişlerin her iki ucuna plastik mafsallıklar atanmıştır [37].

## 5.3. Malzeme ve Kesit Özellikleri

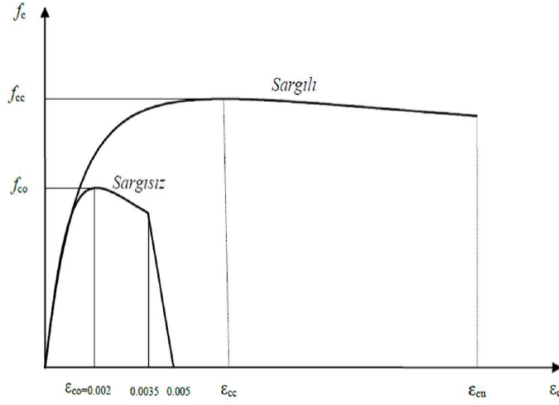
Tüm bina modellerinde 40x40 cm kolon kesiti seçilmiştir. Kolon kesitlerde 12Ø14 boyuna donatı kullanılmıştır. Kolonlarda enine donatı olarak, Ø10/100 kullanılmıştır (Şekil 4). Kiriş kesitleri ise tüm bina modellerinde aynı olup 25x50 cm seçilmiş ve bu kesitlerde 10Ø12 boyuna donatı kullanılmıştır. Kirişlerde enine donatı olarak ise Ø10/100 seçilmiştir (Şekil 5).



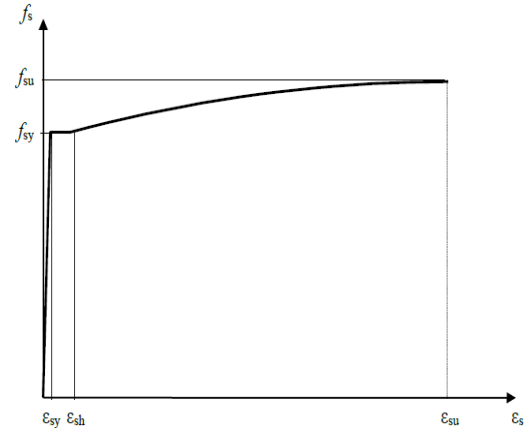
Şekil 4. Kolon kesiti

Şekil 5. Kiriş kesiti

Çelik ve betonun elastisite modülleri sırasıyla 200.000 MPa ve 32.000 MPa olarak alınmıştır. Moment-eğrilik analizleri için, TBDY 2018'in önermiş olduğu sargılı ve sargısız beton modeli, çelik için ise pekleşmeli donatı çeliği modeli uygulanmıştır. Sargılı ve sargısız beton modelleri ve pekleşmeli donatı çeliği modeli sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 6. TBDY-2018 tarafından önerilen ve sargılı ve sargısız betonlar için üretilen model [5]



Şekil 7. TBDY-2018 tarafından önerilen pekleşmeli donatı çeliği modeli [5]

#### 5.4. Etkin Kesit Rijitliklerin Hesabı ve Sisteme Atanması

Güncel yönetmeliğimize göre yığılı plastik davranış modeli için yeni yapılacak binalarda taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitlikleri Denklem 4'e göre tespit edilmektedir [5].

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y^3} \quad (4)$$

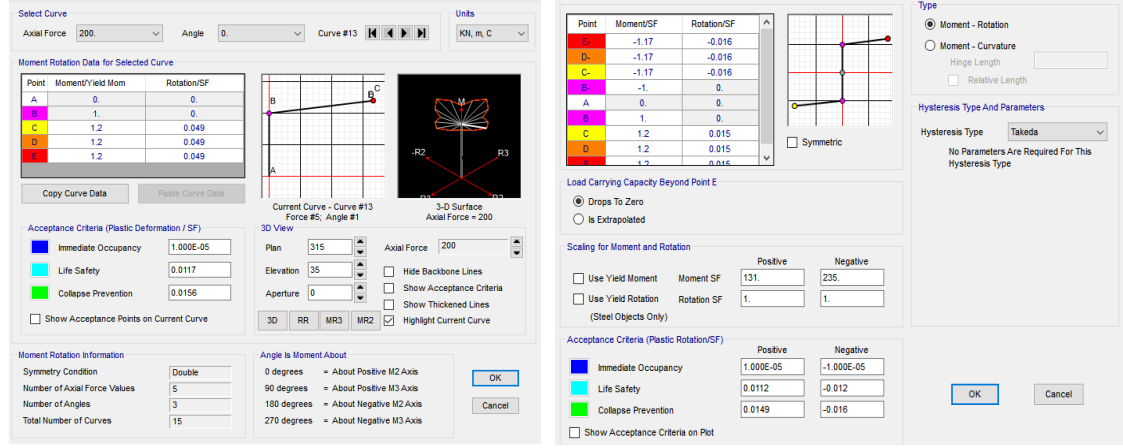
Yukarıdaki denklemde  $M_y$  etkin akma momentlerinin ortalamasını,  $L_s$  kesme açıklığını (kesitteki moment/kesme kuvveti oranı) ifade etmektedir.  $\theta_y$  ise akma dönmesini gösterir. XTRACT programıyla kolon ve kiriş elemanların etkin akma momentleri ( $M_y$ ), moment eğrilik analizleri ile elde edilen grafikler ve bu grafiklerin bilineer durumları elde edilmiştir. Akma dönmeleri ( $\theta_y$ ) ise Denklem 5'e göre hesaplanmıştır.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (5)$$

Burada  $\phi_y$  plastik mafsallardaki etkin akma eğriligidir. Bu değer XTRACT programından elde edilen moment-eğrilik analizleri sonucu bulunmuştur. Güncel yönetmelik kiriş ve kolonlarda  $\eta = 1$  alınmasını istemiştir.  $h$  ise kesit yüksekliğidir. Donatı sıyrılması dönmesini ifade eden  $d_b$  ise mesnede (düğüm noktasına veya temele) kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını,  $f_{ce}$  betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımını,  $f_{ye}$  ise donatının ortalama akma dayanımını göstermektedir [5].



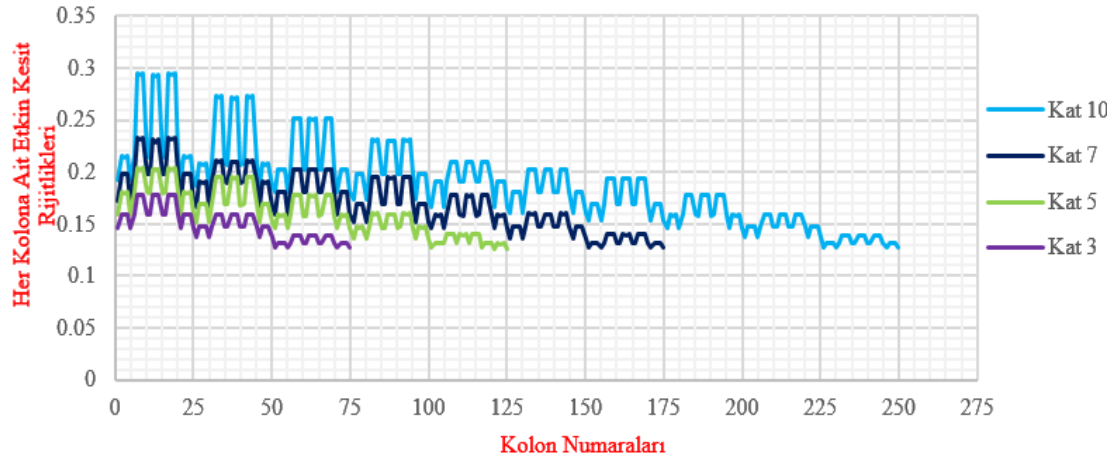
Taşıyıcı elemanların plastik mafsalsal özellikleri ve etkin kesit rijitlikleri SAP2000 programına tanımlanmıştır. SAP2000'e girilen bu değerler için XTRACT programından elde edilen kesit analizleri ve ilgili yönetmelik dikkate alınmıştır. Kolon ve kiriş elemanların plastik mafsalsal özelliklerinin SAP2000 programına tanımlanması işlemi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Taşıyıcı elemanların plastik mafsalsal özelliklerinin SAP2000'e tanımlanması

Böylece güncel yönetmelik esaslarına göre yeni bina olarak tasarlanmış kat adetleri farklı betonarme binaların kolonlarının çatlamış kesitlerine ait etkin kesit rijitlikleri ( $EI_e$ ) elde edilmiştir (Şekil 9).

Şekil 9'da her bir bina için kolon elemanların etkin kesit rijitlik değerlerinde meydana gelen düşüşler, orta, iç ve dış kolona gelen yük dağılımından dolayıdır. Orta kolonlar diğer kolonlara (dış ve iç) göre daha fazla yük aldığından en yüksek etkin kesit rijitlikleri bu kolonlarda elde edilmiştir. Dış kolonlar en az yük dağılımına sahip olduğundan en düşük etkin kesit rijitlikleri bu kolonlarda bulunmuştur. Binaların alt katlarından üst katlara doğru çıkıldığında eleman bazında etkin kesit rijitlik değerlerinin düştüğü ve en üst katlarda kesit rijitliklerinin en az olduğu tespit edilmiştir. Farklı kat adetlerine sahip binaların aynı kat seviyeleri dikkate alındığında (örneğin 4 farklı bina için her binanın 1. kat seviyesi referans alınır) kat adedinin artmasıyla referans katta bulunan kolonlarda daha büyük etkin kesit rijitlikleri elde edilmiştir.

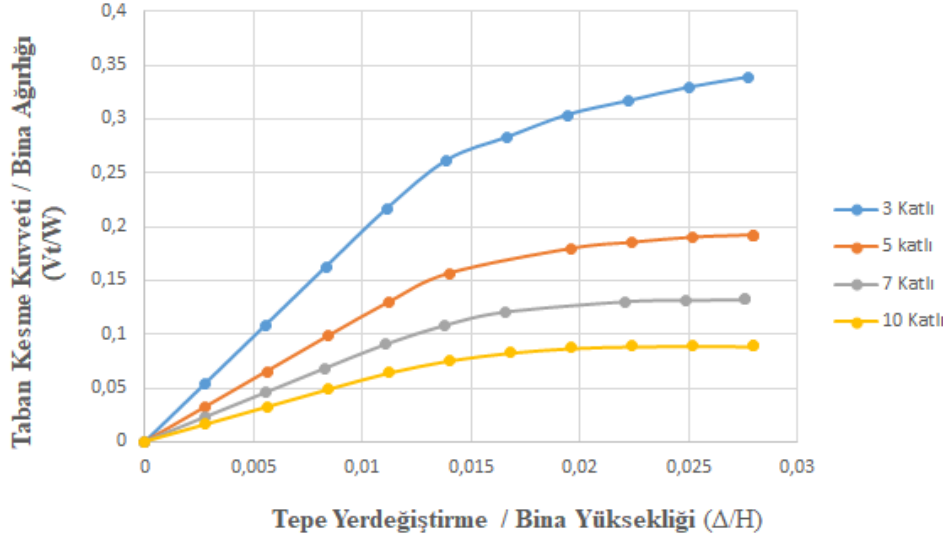


Şekil 9. Tüm binaların kolon etkin kesit rijitlikleri

## 6. Binalara Statik İtme Analizinin Uygulanması ve Plastik Mafsalların Elde Edilmesi

Çalışma kapsamında kullanılan SAP2000 programında, plastik mafsalsal özelliklerinin tanımlanabileceği bir dizi uygulama alanı yer almaktadır. Genellikle bu programın varsayılan plastik mafsalsal özellikleri kullanılır. Bu, analizlerin hızlı bir şekilde yapılmasını sağlar. Ancak bu durumda kontrol mekanizması tamamen programa aittir.

Bu çalışmada plastik mafsal özellikleri XTRACT ile elde edilmiştir. Kolon ve kirişlerin her iki ucuna da plastik mafsallar atanmıştır. Plastik mafsal uzunluğu olarak adlandırılan plastik deformasyon bölgesinin uzunluğu ( $L_p$ )'ye göre belirlenmiştir. Analizleri yapılan binalar, tek modlu statik itme analizinin yapılabilmesi koşullarını sağlamaktadır. Dikkate alınan deprem doğrultusunda hâkim mod hesaba katılmıştır. Binalar düşey yükler ve yatay yüklerin etkisi altında olacak şekilde tepe yer değiştirmesine ulaşıncaya kadar itilmiştir. Statik itme hesap yöntemi kullanılarak dört farklı bina için elde edilen taban kesme kuvvetlerinin bina ağırlıklarına oranları ( $V_t/W$ ) ile tepe yer değiştirmelerinin bina yüksekliklerine oranları ( $\Delta/H$ ) her dört bina için karşılaştırılmalı olarak Şekil 10'da verilmiştir. (Şekil 10).



Şekil 10. Statik itme eğrilerinin karşılaştırılması (x ve y yönü için)

Kalıp planının simetrik olması (x ve y yönünde), taşıyıcı elemanların boyutlarının ve yönlerinin aynı olması sebebiyle, binaların her iki yönündeki itme eğrileri aynı çıkmıştır. İtme eğrileri incelendiğinde, taban kesme kuvvetinin artmasıyla tepe yer değiştirme değeri, binaların kapasite değerine ulaşıncaya kadar arttığı tespit edilmiştir. Statik itme analizleri sonucunda, incelenen tüm binalarda öncelikle alt katlarda kiriş uçlarında plastik mafsallar oluşmaya başlamış ve daha sonra üst katlara doğru yayılmıştır ve ardından zemin kat kolonları akmaya başlamıştır.

## 7. Sonuç

Bu çalışmada TBDY 2018'e göre yeni bina olarak tasarlanan ve 3, 5, 7 ve 10 katlı betonarme konut tipinde dört bina tasarlanmıştır. Binalar tasarlanırken doğrusal olmayan yığılı plastik davranış modeli dikkate alınmıştır. Yığılı plastik davranış özelliklerinin verilmesi ve kesit analizlerinin yapılabilmesi amacıyla XTRACT programından faydalanılmıştır. Binalara doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerinden olan tek modlu statik itme analizi SAP2000 programı yardımıyla uygulanmıştır. Kat adedinin artmasıyla taşıyıcı elemanlarda meydana gelen etkin kesit rijitlik değerlerinin değişimi incelenmiştir. Yeni bina tasarıma sahip binaların etkin kesit rijitliklerinde orta kolonlarda en yüksek etkin kesit rijitlik değerleri elde edilirken dış kolonlarda bu değerler en düşük çıkmıştır. Bu farklılıklar kolonlara gelen yük dağılımındandır. İncelenen binalarda alt katlardan üst katlara doğru etkin kesit rijitliklerinin azaldığı ve en üst katlarda bu rijitliklerinin en az olduğu görülmüştür. Ayrıca binaların kat adetlerinin artmasıyla kat adedi düşük olan diğer binalardaki aynı kat seviyelerine göre daha yüksek etkin kesit rijitlik değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca statik itme analizleri sonucu oluşan plastik mafsallar ile taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yüke karşı rijitliğinin azaldığı görülmüştür. Böylece itme eğrileri yataylaşmıştır. Yatay yüklerin kat seviyelerinde artırılmasıyla taşıyıcı sistemde meydana gelen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme değerleri elde edilerek doğrusal olmayan statik itme eğrileri tasarlanan her bir bina için çizilmiştir. İtme eğrileri incelendiğinde taban kesme kuvvetinin artmasıyla tepe yer değiştirme değerinin binaların kapasite değerine varıncaya kadar arttığı tespit edilmiştir. Statik itme analizleri sonucunda, incelenen tüm binalarda öncelikle alt katlarda kiriş uçlarında plastik mafsallar oluşmaya başlamış ve daha sonra üst katlara doğru yayılmıştır ve ardından

zemin kat kolonları akmaya başlamıştır. Statik itme analizlerinden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin binaların ağırlıklarına oranının ( $V_t/W$ ), beklendiği gibi binanın kat adedi arttıkça azaldığı görülmüştür. Binaların toplam yüksekliği yani kat adedi arttıkça, performans noktasına karşı gelen tepe yer değiştirme değerlerinde ise artış görülmüştür. Statik itme hesap yöntemi kullanılarak dört farklı bina için elde edilen taban kesme kuvvetlerinin bina ağırlıklarına oranları ( $V_t/W$ ) ile tepe yer değiştirmelerinin bina yüksekliklerine oranlarının ( $\Delta/H$ ) birbirlerine oranlanması ile elde edilen değer ( $\frac{V_t/W}{\Delta/H}$ ) kat adedinin veya kat yüksekliğinin artmasıyla azaldığı görülmüştür.

## Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje birimi (FÜBAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: MF.21.07). Yazarlar bu projeye desteklerinden dolayı FÜBAP'a teşekkür ederler.

## 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] ATC 40. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California, ABD. 1996.
- [3] FEMA 356. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington DC. 2000.
- [4] DBYBHY 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [5] TBDY 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [6] Öncü M.E. Betonarme binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [7] Özdemir M., Işık E., Ülker E. Farklı Kat Adetlerine Sahip Betonarme Binaların Performans Değerlendirilmesi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2016; 5 (2): 183-190.
- [8] Turkyay A., Guler K. Bir okul binasının tasarımı ve deprem performansının değerlendirilmesi. International Journal of Innovative Engineering Applications 2017; 1 (2): 27-37.
- [9] Işık E., Öztürk G. Betonarme binalarda kat yüksekliğinin yapı performansına etkisi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi 2017; 7 (1) : 299-305.
- [10] Dilmaç H. Ulutaş H., Tekeli H., Demir F. The investigation of seismic performance of existing RC buildings with and without infill walls. Computers and Concrete 2018; 22 (5): 439-447.
- [11] Dilmaç H., Ulutaş H., Tekeli H., Demir F. An evaluation on seismic performance of existing reinforced concrete buildings in Turkey. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2018; 9(Ek Sayı 1): 224-237.
- [12] Gündoğay A., Tekeli H., Ulutaş H. Mevcut atölye binalarının deprem güvenliğinin incelenmesi. DÜMF Mühendislik Dergisi 2019; 10 (2): 755-768.
- [13] Demir T., Sayın, E. Betonarme Yapılarda Farklı Kat Sayıları için Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi 2019; 10 (3): 1049-1060.
- [14] Ulutaş H., Dilmaç H., Tekeli H., Demir F. Mevcut okul türü binaların deprem güvenliğinin pratik bir şekilde belirlenmesi için bir yaklaşım: ATI. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2019; 23 (2): 329-337.
- [15] Dilmaç H. Preliminary Assessment approach to predict seismic vulnerability of existing low and mid-rise RC buildings. Bulletin of Earthquake Engineering 2020; 75 (2): 211-227.
- [16] 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.
- [17] Kap T., Özgün E., Uzunoğlu M. M. Betonarme bir okul binasının 2018 deprem yönetmeliğine göre incelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2019; 7 (1): 1140-1150.
- [18] Çapa Y. U. Kat adetleri farklı betonarme binaların deprem performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 1-113. 2020.
- [19] Kürkçü 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, İstanbul, 1-237. 2020.
- [20] Akçora A. A. Betonarme yüksek binaların 2018 yılı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre incelenmesi: 30 katlı bina örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1-161. 2020.
- [21] Kurt Z. Tonyalı Z. Performance Analysis of a Reinforced Concrete Frame System According to TBEC-2018. Sciennovation, 1(2), 6-22.
- [22] Taş Ö.F. Farklı yüksekliklerdeki betonarme binaların TBDY-2018'e göre deprem performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021.
- [24] Sucuoğlu H. New Improvements in the 2018 Turkish Seismic Code, In International Workshop on Advanced Materials and Innovative Systems in Structural Engineering: Seismic Practices (p. 13).
- [25] Meral E., İnel M. Evaluation of structural parameters properties of low and mid-rise reinforced concrete buildings, 2016.
- [26] Urbanski A., Spacone, E., Belgasmia, M., Sarf, J., Zimmermann, T. Static Pushover Analysis. Z\_Soil. PC.

- [27] Ferraioli, M. Behaviour Factor of Ductile Code-Designed Reinforced Concrete Frames, *Advances in Civil Engineering*, 2021.
- [28] Shekhar N. K., Parulekar Y. M., Nagender, T., Chattopadhyay, J. Assessment of hysteretic damping in reinforced concrete structures using local hinge characteristics, *Bulletin of Earthquake Engineering* 2021; 19(1): 135-160.
- [29] XTRACT v.3.0.8 Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827.
- [30] SAP2000 V.22.0.0, Computers and Structures, Inc., <http://www.csiberkeley.com>, 1995 University Avenue Berkeley, California 94704 USA., 1978-2010
- [31] Çağlar N., Demir A., Öztürk H ve Akkaya, A., A simple formulation for effective flexural stiffness of circular reinforced concrete columns, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 2015; 38: 79-87.
- [32] Lawson RS, Vance V, Krawinkler H. "Nonlinear static push-over analysis - why, when and how?", *Proceedings of. 5th US Conference on Earthquake Engineering* 1994; 1: 283-292.
- [33] Krawinkler H. Seneviratna GDPK. "Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation", *Engineering Structures* 1998; 20, 4-6: 452-464.
- [34] Chopra AK. Goel RK. A modal pushover analysis procedure to estimating seismic demands for buildings: Theory and preliminary evaluation. PERR Report 2001/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 2001.
- [35] TS-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü Ankara, 2000.
- [36] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [37] Celep, Z., Betonarme sistemlerde doğrusal olmayan davranış: Plastik mafsallı kabulü ve çözümleme, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 2007.