

TBDY 2018'e göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Betonarme Yapı Sistemlerinin Performans Analizi

Saeid FOROUGHİ^{1*}, S. Bahadır YÜKSEL²

^{1,2} Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

¹ <https://orcid.org/0000-0002-7556-2118>

² <https://orcid.org/0000-0002-4175-1156>

*Sorumlu yazar: saeid.foroughi@yahoo.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 14.07.2021

Kabul tarihi: 12.11.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

Anahtar Kelimeler:

Deprem yükü

Performans analiz

Performans noktası

Şekil değiştirme sınırı

İtme analizi

ÖZ

Betonarme yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları ile TBDY (2018)'de tanımlanan şekil değiştirme esaslı hasar sınırları incelenmiştir. Bu çalışmada ilk olarak; kesit geometrisinin, malzeme modelinin ve eksenel yük seviyesinin betonarme taşıyıcı elemanların davranışı üzerindeki etkisi analitik olarak hesaplanmıştır. Doğrusal olmayan ilişkilerden faydalanarak TBDY (2018)'de tanımlanan şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ve plastik mafsallık özellikleri analitik olarak hesaplanmıştır. Analitik çalışma sonuçlarından elde edilen şekil değiştirme üst sınır değerlerine bağlı olarak tasarlanan betonarme yapıların doğrusal olmayan (itme) analizleri yapılarak detaylı bir çalışma yapılmıştır. Performans değerlendirmesi için tasarlanan modellerin tasarım depremi ve en büyük deprem yükü etkisi altındaki yapısal performansı incelenmiştir. Gerçekleştirilen artımsal itme analizleri sonucu farklı tip betonarme taşıyıcı sistemler için elde edilen kapasite eğrileri ve performans noktalarındaki deprem istemleri karşılaştırılmıştır. Betonarme kirişlerde çekme donatısı oranı ve kolonlarda eksenel yük seviyelerinin artması ile kesitlerin maksimum moment taşıma kapasitesi ile plastik mafsallık dönme değeri artmakta, süneklik ile farklı performans düzeyleri için plastik dönme değeri azalmaktadır. Tip 2 binaya göre Tip 1 binaya daha fazla deprem yükü ve kesme kuvveti etkilemektedir. Tip 1 binaya göre Tip 2 binada daha fazla taban kesme kuvveti ve yatay yer değiştirme değeri elde edilmiştir. Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme değeri Tip 1 binaya göre Tip 2 binada daha fazla elde edilmiştir. Tip 2 binanın Tip 1 binaya göre kiriş ve kolonlarında daha fazla plastik dönmeler oluşmaktadır. Tip 1 binada Tip 2 binaya göre zemin kat kolon ve kirişlerinde daha fazla moment oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde her iki tip binanın tüm zemin kat kolon ve kiriş elemanları kontrollü hasar performans seviyesinde olduğu görülmektedir.

Performance Analysis of Reinforced Concrete Structural Systems with Nonlinear Calculation Methods according to TBDY 2018

Research Article

Article History:

Received: 14.07.2021

Accepted: 12.11.2021

Published online:08.03.2022

Keywords:

Earthquake load

Performance analysis

Performance point

Deformation limits

Pushover analyzes

ABSTRACT

The nonlinear behavior of reinforced concrete structural members and the deformation-based damage limits defined in TBDY (2018) were investigated. In this study, firstly; the effect of cross-section geometry, material model and axial load level on the behavior of reinforced concrete structural members were calculated analytically. By utilizing nonlinear relationships, deformation damage limits and plastic hinge properties defined in TBDY (2018) were calculated analytically. A detailed study was conducted by performing nonlinear (pushover) analyzes of reinforced concrete structures designed depending on the deformation upper limit values obtained from the analytical study results. Structural performance of

the models designed for performance evaluation have been examined under the design earthquake loads and the greatest earthquake loads. The capacity curves and the earthquake demand at the performance points of designed different types of reinforced concrete systems which is obtained from the pushover results analysis were compared. With the increase in tensile reinforcement ratio in beams and axial load levels in columns, the maximum moment capacity of the sections and the plastic hinge yielding rotation increase, ductility and plastic rotation values for different performance levels decrease. More earthquake loads and shear forces affect the Type 1 building compared to the Type 2 building. Compared to Type 1 building, more base-shear force and lateral displacement values were obtained in Type 2 building. Linear elastic spectral displacement values of the first mode were obtained more in Type 2 building compared to Type 1 building. More plastic rotations occur in beams and columns of Type 2 buildings than Type 1 buildings. More moments occur in the ground floor columns and beams in Type 1 building compared to a Type 2 building. When the results obtained are examined, it is seen that all ground floor column and beam elements of both types of buildings are in the controlled damage performance level.

To Cite: Foroughi S., Yüksel SB. TBDY 2018'e göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Betonarme Yapı Sistemlerinin Performans Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):33-55.

Giriş

Mevcut veya yeni tasarlanacak betonarme yapıların sismik değerlendirmesinde, betonarme taşıyıcı elemanların yapısal davranışını tahmin etmek çok önemlidir. Betonarme taşıyıcı elemanların doğrusal olmayan davranışlarının doğru hesaplanması, sismik etkiler altında binaların kapasitesinin güvenilir bir tahminini sağladığı için önemli çalışma konusu olmuştur. Depreme maruz betonarme bina taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvet ve şekil değiştirme istemlerinin hesaplanması amacıyla doğrusal olmayan davranış yöntemleri kullanılmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY, 2018) göre betonarme taşıyıcı elemanların farklı performans düzeyleri için şekil değiştirme ve iç kuvvetlerin hesaplanmasında; malzeme dayanımları, kesitte donatı konfigürasyonu, kullanılan sargılı betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, kesitlerin moment-eğrilik, normal kuvvet etkileşim ilişkisi gibi doğrusal olmayan davranışları ile plastik mafsal özellikleri dikkate alınmaktadır. Daha sonra yönetmeliklerde tanımlanan şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ve hasar bölgeleri hesaplanmaktadır. Betonarme yapılar için farklı tasarım parametrelerine göre TBDY (2018)'e göre yukarıda belirtilen değerlerin her bir taşıyıcı eleman için hesaplanması gerekmektedir.

Doğrusal olmayan yöntemlerde amaç, binanın doğrusal olmayan davranışını yansıtan bir model üzerinde, deprem yönetmeliklerinde belirlenen kriterlere uygun olarak, talep noktasındaki kesit değerlerinin ve doğrusal olmayan davranış istemlerinin hesaplanmasıdır (Sönmez, 2012). Doğrusal olmayan davranış yöntemleri mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi amacıyla kullanılmasının yanı sıra yeni yapılacak binaların tasarımının yeterli düzeyde olup olmadığını belirlemek amacıyla da kullanılmaktadır (Yüksel ve Yağlıkcı, 2019). Betonarme bir yapının deprem güvenliğinin belirlenmesi için ilk olarak her bir taşıyıcı elemanın kesit hasar sınırı ve seviyesinin belirlenmesi gereklidir (Ulutaş ve ark., 2015). Doğrusal olmayan değerlendirme yöntemiyle yapılan analiz sonucu kesitte oluşan şekil değiştirme sınırının, yönetmeliklerde tanımlanan hasar seviyesine karşı gelen şekil değiştirme üst sınır değerleri ile karşılaştırılarak hasar seviyesi elde edilir (Ulutaş,

2019). Mevcut betonarme yapıların performans değerlendirmesinde, yönetmelikler genel olarak taşıyıcı elemanların performanslarını plastik dönme kapasiteleri üzerinden belirlemektedir (Elçi ve Göker, 2018). 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 TBDY pek çok yeni kriter getirmiştir (Balıkçı, 2019). TBDY (2018)'de şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) için hesap ve değerlendirme esasları verilmiştir. Ayrıca kullanım amacına göre mevcut ve yeni binaların performans esasları da belirtilmiştir (Dayan ve Şahin, 2019).

Deprem etkisi altındaki betonarme yapıların performans değerlendirmesinde dikkate alınan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin temelini oluşturan, şekil değiştirme ve yer değiştirmeye dayalı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak betonarme taşıyıcı eleman kesitlerinin geometri ve malzeme değişimleri açısından doğrusal olmayan yöntemlerde, belirli bir deprem etkisindeki binanın yer değiştirme istemine ulaşıldığında, beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir (Şahin, 2010). Şekil değiştirme esaslı tasarım yöntemleri; malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate almaktadır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle hesaplanan şekil değiştirme sınır değerleri, deprem yönetmeliklerinde farklı performans düzeyleri için tanımlanan sınır değerler ile karşılaştırılarak taşıyıcı sistem elemanlarının hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilir (Foroughi ve Yüksel, 2019). TBDY (2018) ile doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin deprem tasarım sınıfı (DTS) ne olursa olsun, bina yükseklik sınıfı (BYS) 1 olan tüm yapılarda, ayrıca BYS 2 ve 3, DTS 1a ve 2a olan yapılarda kullanılması zorunlu tutulmuştur (Özer ve Yüksel, 2020).

Performans Analizi

Betonarme yapıların tasarımında taşıyıcı elemanların davranışını etkileyen tüm tasarım parametrelerinin bilinmesi öncelikle elemanları ve sonra özelden genele doğru tüm yapı sistemini etkileyeceğinden deprem performansı açısından çok önemlidir (Meral, 2018). Yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesi için izlenecek yol; deprem etkileri sonucunda oluşan talep eğrilerinin belirlenmesi, kapasite değerlerinin belirlenmesi, kapasite ve talep değerlerinin karşılaştırılması, deprem yönetmeliklerinde tanımlanan deprem performans değerlendirmesi ile sonuçlandırılmasıdır. Yapı sistemlerinde taşıyıcı sistem elemanlarının hasar bölgelerine göre binaların performans değerlendirilmesi yapılır. TBDY (2018)'de mevcut veya yeni tasarlanacak betonarme yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde, bina kullanım sınıfı (BKS), bina yükseklik sınıfı (BYS) ve binanın deprem tasarım sınıfı (DTS) dikkate alınarak şekil değiştirmeye göre değerlendirme yaklaşımı önerilmektedir. Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yönteminde doğrusal olmayan davranış modelleri ve hesap yöntemleri dikkate alınarak performans değerlendirmesi yapılmaktadır.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizinde, yapı sistemine etkiyen yatay deprem kuvvetleri yapı yüksekliği boyunca çeşitli esaslara göre dağıtılmakta, deprem yer değiştirme istemine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Ardından taşıyıcı sisteme ait taban kesme kuvveti-tepe yatay yer değiştirmesi eğrisinden yola çıkılarak elde edilen itme eğrisi ile yapının oturduğu yerel zemin koşulları ve deprem karakteristiklerine göre elde edilen talep eğrisi birlikte değerlendirilerek yapısal performans elde edilmektedir. Deprem performansını belirlemek amacıyla yapı sisteminin talep eğrisinin belirlenmesi için yapı sisteminin hedef performansı ve hedef performansa göre deprem etkisi belirlenir. Bina performans hedeflerinin tanımına esas olmak üzere, deprem etkisi altında TBDY (2018)'de betonarme binalar için Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyleri tanımlanmaktadır. Deprem etkisi altında bina performans hedefleri deprem yer hareketi düzeyleri (DD) altında hedeflenen ve tanımlanan bina performans düzeylerini ifade eder. TBDY (2018) kapsamında deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1), deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2), deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3) ve deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD-4) olarak dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. Betonarme elemanların kapasite eğrisinin belirlenmesi kapsamında ilk olarak binaların bilgi düzeyi, malzeme dayanımları ve taşıyıcı sistemlerin plastik mafsallık özellikleri belirlenir. Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemleri, TBDY (2018)'de açıklanan itme yöntemleri (tek modlu itme yöntemleri ve çok modlu itme yöntemleri) ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir. Tek Modlu İtme Yöntemleri, $BYS \geq 5$, hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1,4$ ve birinci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütle sinin toplam bina kütle sine oranının en az 0,70 koşulu sağlayan binalar için kullanılabilir. Kapasite ve talep eğrilerinin karşılaştırılabilmesi için aynı eksen takımında olmaları gerekmektedir. İtme hesabında ilk olarak taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ilişkisi olarak itme eğrisi elde edilir (Şekil 1a). Elde edilen bu eğrinin koordinatları Denklem (1 ve 2)'ye göre dönüştürülerek modal tek serbestlik dereceli sisteme ait modal ivme ($a_1^{(i)}$) - modal yer değiştirme ($d_1^{(i)}$) ilişkisi olarak modal kapasite diyagramı elde edilir (Şekil 1b). Modal tek serbestlik dereceli sistemde en büyük yer değiştirme ($d_{1,max}^{(x)}$), doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak tanımlanır (Denklem 3).

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} ; \quad (m/s^2) \quad (1)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1}\Gamma_{x1}} ; \quad (m) \quad (2)$$

$$d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1); \quad (m) \quad (3)$$

$S_{di}(T_1)$, itme analizinden taşıyıcı elemanın doğrusal davranışı esas alınarak hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu (T_1)'e karşı gelen ve doğrusal elastik spektral yer değiştirmeye ($S_{de}(T_1)$) bağlı olarak Denklem (4) ile hesaplanır. Doğrusal elastik spektral yer değiştirme $S_{de}(T_1)$, itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme $S_{ae}(T_1)$ ve ω 'ya bağlı olarak Denklem (5) ile hesaplanabilmektedir.

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) , \quad (m) \quad (4)$$

$$S_{de}(T_1) = \frac{S_{ae}(T_1)}{(\omega_1^{(1)})^2} , \quad (m) \quad (5)$$

C_R , spektral yer değiştirme oranı ve $\omega_1^{(1)}$ itme adımında yenilenen serbest titreşim hesabından bulunan birinci mod doğal açısal frekansıdır. Spektral yer değiştirme oranı (C_R) başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'e bağlı olarak iki farklı yolla belirlenir. R_y , itme hesabından doğrudan elde edilen akma dayanımına bağlı bir büyüklüğü ifade etmektedir ve Denklem (7) ile hesaplanır. Denklemde f_e ve $S_{ae}(T_1)$, elastik dayanım talebini ve ona karşı gelen elastik spektral ivmeyi, f_y ve a_{y1} ise akma dayanımını ve ona karşı gelen akma sözde-ivmesini temsil etmektedir. $\mu(R_y, T_1)$, akma dayanımı azaltma katsayısı ve birinci doğal titreşim periyoduna göre hesaplanan süneklik talebidir.

$$C_R = \frac{\mu(R_y, T_1)}{R_y} \quad (6)$$

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (7)$$

Eğer $T_1 > T_B$ ise $C_R = 1$ olarak elde edilir. $T_1 > T_B$, durumu için doğrusal olmayan spektral yer değiştirmenin nasıl belirlendiği Şekil 2(a)'da gösterilmiştir. Eğer $T_1 \leq T_B$ ise C_R , Denklem (8)'den hesaplanır. Şekil 2(b)'de gösterilen $a_{y1}^{(0)}$ esas alınarak C_R Denklem (8)'deki gibi tanımlanır. Denklemde T_1 , birinci moda ait doğal titreşim periyodu ve T_B , yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodudur.

$$C_R = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 ; T_1 \leq T_B \quad (8)$$

Denklem (4)'e göre hesaplanan $S_{di}(T_1)$ esas alınarak eşdeğer akma noktasının eksenleri, Şekil 2(c)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_y ve C_R değerleri tekrar hesaplanır. Böylelikle S_{di1} belirlenir. S_{di1} değerinden hareketle tepe yer değiştirme istemi

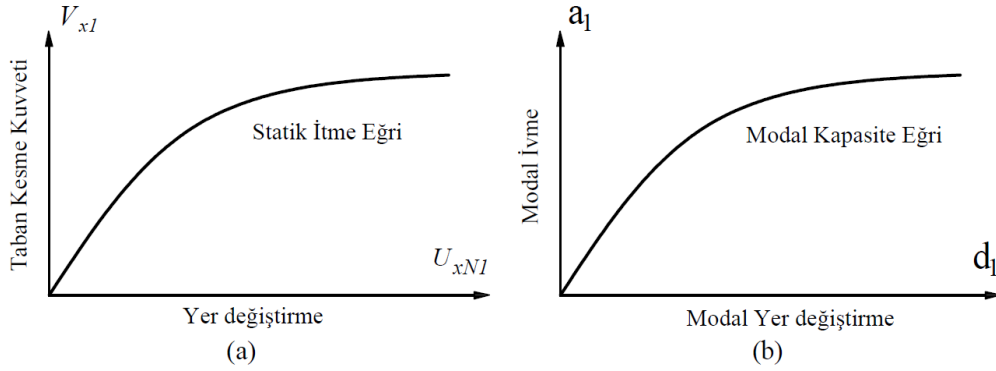
$(u_{xN1}^{(p)})$, Denklem (9) ile uzunluk (mm, cm, m vb.) cinsinden bulunur. Tepe yer değiştirme istemi $(u_{xN1}^{(p)})$, yapı sisteminin performans noktasıdır.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (9)$$

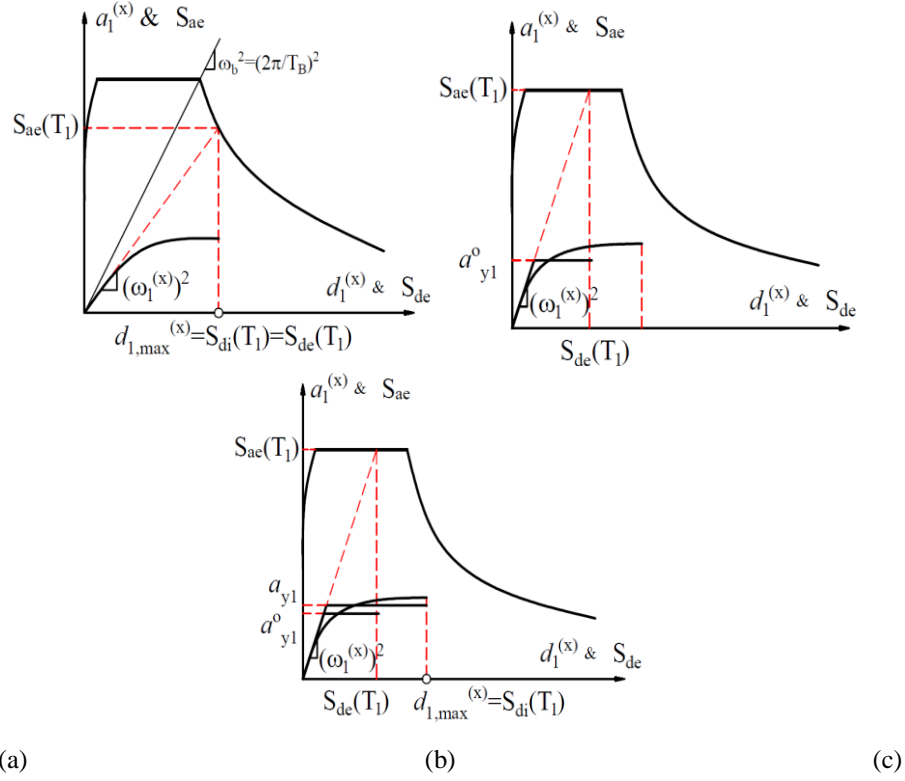
Deprem doğrultusunda birinci moda ait modal katkı çarpanı (Γ_{x1}) Denklem (10)'dan hesaplanabilmektedir. x deprem doğrultusunda taşıyıcı elemana ait başlangıç adımının doğrusal elastik davranış için tanımlanan M_1 ve L_{x1} parametreleri Denklem (11)'den hesaplanır. Denklemde m_i binanın i 'inci katının kütlesi, Φ_{xin} kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda n 'inci mod şeklinin i 'inci katta x eksenine doğrultusundaki yatay bileşenidir.

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (10)$$

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin}, \quad M_n = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin}^2 \quad (11)$$



Şekil 1. Statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi (TBDY, 2018)



Şekil 2. Performans noktasının belirlenmesi (TBDY, 2018).

Birim Şekil Değiştirme ve Plastik Dönme Sınırları

TBDY (2018)'de sünek yapısal elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar sınır ve hasar bölgesi tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir. Performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere ifade edilen kesit hasar sınırları, TBDY (2018)'de beton ve donatı çeliği için şekil değiştirme değerleri (ε_c , ε_s) Denklem (12) ve plastik dönme değerleri (θ_p) Denklem (13)'ten hesaplanır. Denklem (12)'de; a) dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdeler, b) dairesel kesitli kolonlar için kullanılmaktadır. Denklem (13)'te; ϕ_u göçme öncesi eğrilik, ϕ_y akma eğriliği, L_s kesme açıklığı, L_p plastik mafsal boyu, d_b boyuna donatı çapıdır. Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı (ω_{we}) Denklem (14)'ten hesaplanmaktadır. α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ hacimsel enine donatı oranı, f_{ce} ve f_{ywe} beton ve donatı çeliğinin beklenen dayanımlarıdır. Dikdörtgen sargı donatısının etkinlik katsayısı (α_{se}) Denklem (15) ve hacimsel enine donatı oranı (ρ_{sh}) Denklem (16) ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} &= 0,40\varepsilon_{su} \\
 \varepsilon_s^{(KH)} &= 0,75\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \\
 \varepsilon_s^{(SH)} &= 0,0075
 \end{aligned}
 \tag{12a}$$

$$\begin{aligned}
a: \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \\
b: \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0,0035 + 0,07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \\
\varepsilon_c^{(KH)} &= 0,75\varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \\
\varepsilon_c^{(SH)} &= 0,0025
\end{aligned} \tag{12b}$$

$$\begin{aligned}
\theta_p^{(G\ddot{O})} &= \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0,5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4,5\phi_u d_b \right] \\
\theta_p^{(KH)} &= 0,75\theta_p^{(G\ddot{O})} \\
\theta_p^{(SH)} &= 0
\end{aligned} \tag{13}$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh, \min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \tag{14}$$

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_o} \right) \left(1 - \frac{s}{2h_o} \right) \tag{15}$$

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s}, \quad f_{ywe} = 1,2f_{yk}, \quad f_{ce} = 1,3f_{ck} \tag{16}$$

A_{sh} enine donatının alanını, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu, s enine donatı aralığını, b_o ve h_o sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki mesafeyi göstermektedir. Dairesel en-kesitli kolonlarda dairese/spiral sargı donatısının etkinlik katsayısı ile hacimsel oranı Denklem (17-18)'de verilmiştir. Burada A_{os} spiral donatısının alanı, D ise çekirdek beton çapıdır. Dairesel etriye için $n=2$, spiral donatı için $n=1$ alınacaktır.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{s}{2D} \right)^n \tag{17}$$

$$\rho_{sh} = \frac{2A_{os}}{D_s} \tag{18}$$

Yığılı plastik davranışına göre modellenen betonarme kesitlerin etkin kesit rijitlikleri $(EI)_e$ Denklem (19)'a göre belirlenecektir. Denklemde; M_y ve θ_y çubuk elemanın uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını göstermektedir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{1}{3} \tag{19}$$

Doğrusal olmayan hesap için taşıyıcı sistemlerin akma durumu için yer değiştirmiş plastik mafsallık dönmesi (θ_y) Denklem (20) ile hesaplanmalıdır. Eğrilik süneklik katsayısı $\mu = \phi_u / \phi_y$ olarak elde edilir. Plastik mafsallık boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutunun (h) yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0,5h$).

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0,0015 \eta \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (20)$$

Betonarme kolon ve kirişler, çerçevesiz yapıların sismik davranışını belirleyen ana taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapı tasarımı için kolon ve kiriş elemanlarının davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir (Foroughi ve ark., 2020). Mevcut veya yeni tasarlanacak betonarme yapıların sismik değerlendirmesinde, kolon ve kiriş kesitlerinin moment-eğrilik, normal kuvvet etkileşim ilişkileri ile farklı performans düzeylerine göre şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ve plastik mafsallık özellikleri araştırılmıştır. Betonarme binaların deprem performansının belirlenmesi için hesaplanan doğrusal olmayan ilişkilerden faydalanarak TBDY (2018)'de betonarme elemanlar için öngörülen şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ve plastik mafsallık özellikleri analitik olarak hesaplanmıştır. Tablo 1'de detay ve özellikleri verilen betonarme kiriş ve kolonların moment-eğrilik, normal kuvvet etkileşim ilişkileri ile farklı performans düzeyleri için şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ve plastik mafsallık özellikleri farklı tasarım parametrelerine göre hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Betonarme kolon kesitleri için farklı tasarım parametreleri dikkate alınarak normal kuvvet-moment etkileşim diyagramları elde edilmiştir. Boyutları, donatı oranı ve donatı konumları bilinen betonarme kare ve dairesel en-kesitli kolonların SAP2000 (Ver.20.2.0) programına göre normal kuvvet-etkileşim diyagramını oluşturmak, kolon kesiti için verilen bir eksenel yük altında moment kapasitesini ve verilen bir moment altında kesitin eksenel yük kapasitesini hesaplamaktır. Sonuçlar tablolarda ve grafiksel olarak sunulmaktadır. Farklı performans düzeyleri için yapısal elemanların plastik mafsallık bölgeleri için akma ve plastik dönme değerleri elde edilmiştir. Kapsamlı analiz hesaplamalarına dayanan bu çalışmada kolon ve kiriş gibi taşıyıcı elemanların tasarım parametreleri değiştirilerek doğru bir şekilde hem doğrusal olmayan davranış hem de şekil değiştirme esaslı hasar sınırları elde edilerek incelenmesi planlanmıştır. Bu durumda taşıyıcı elemanların eksenel yük seviyeleri, boyuna donatı oranı, enine donatı oranı ve malzeme özellikleri için kolon ve kiriş gibi taşıyıcı elemanlar için analizlerde TBDY (2018)'e göre deformasyon kapasiteleri ve plastik mafsallık özellikleri dikkate alınarak artımsal itme analizi yöntemiyle deprem etkileri altında bina taşıyıcı sistemlerinin performans değerlendirmesi için iki farklı taşıyıcı sisteme sahip 5 katlı konut binası tasarlanmıştır. Tasarlanan betonarme binaların TBDY (2018)'e göre doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemiyle performans analizleri ETABS (Ver.18.1.1) programı yardımı ile yapılmıştır. Bu çalışmanın kapsamında dikkate alınan binalar TBDY (2018)'de yer alan hükümler göz önüne alınarak

modellenmiş, kapasiteleri, talepleri ve elde edilen bina performansları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. TBDY (2018)'de betonarme yapı sistemlerinde doğrusal olmayan yöntemlerin kullanılabilmesi için başlangıç aşamasında yapılması gereken işlemler maddeler halinde özetlenmiştir. Performans değerlendirmesi için dikkate alınan model, amacına dayalı olarak tasarım depremi ve en büyük deprem yükü etkisi altındaki yapısal performansı incelenmiştir. Çalışmanın bütününden her bölüm için analiz sonuçları karşılaştırarak yorumlanmıştır.

Materyal ve Metot

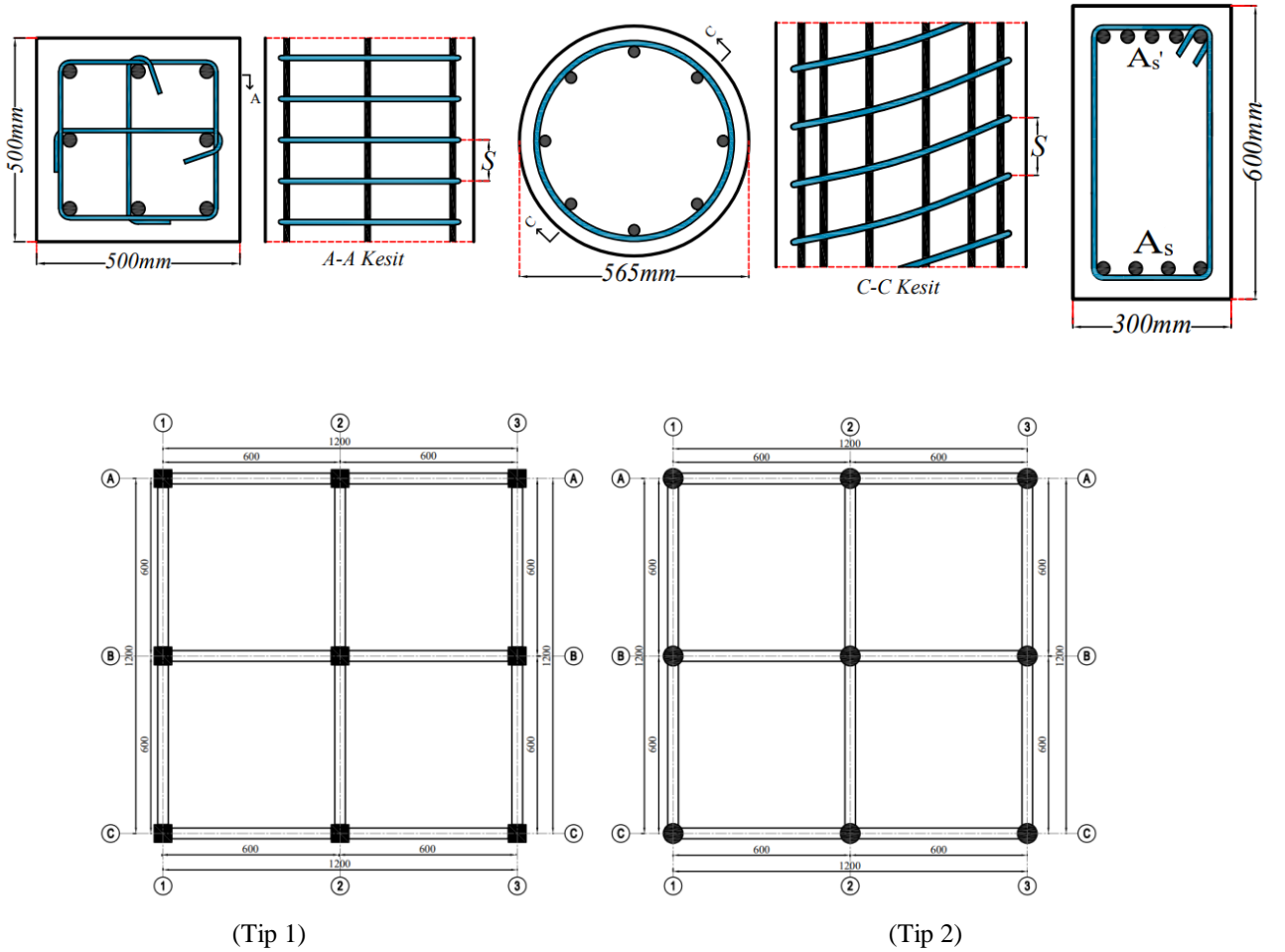
Bu çalışmada, tasarlanan 5 katlı betonarme konut yapısının iki farklı kolon geometrisi için TBDY (2018)'e göre doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemiyle bina taşıyıcı sistemlerinin performans analizi yapılmıştır. Performans analizi için 5 katlı betonarme taşıyıcı sisteme sahip konut binası tasarlanmıştır. Zemin+4 normal kattan oluşan konut binasının kat yüksekliği 3,5m olup toplam yüksekliği 17,5m'dir. Kare ve dairesel en-kesitli kolonlara sahip iki farklı bina tipi tasarlanmıştır. Kolon elemanlar kare en-kesit için 500mm×500mm boyutlarında ve dairesel en-kesit için 565mm çapında tasarlanmıştır. Her iki tip binada da kiriş boyutları 300mm×600mm olarak alınmıştır. Kolon ve kirişler için verilen boyutlar tüm katlarda sabittir. Döşeme sistemi ise 150mm kalınlığında plak döşemedir. Analizlerde dikkate alınan betonarme kolon ve kirişlerin tipi, boyutları ve donatıları Tablo 1'de verilmiştir. Tasarlanan betonarme kolon ve kirişlerin kesit geometrisi ile bina kat kalıp planı Şekil 3'te verilmiştir. Tasarlanan betonarme yapının geometrik bilgileri, deprem parametreleri, zemin parametreleri ile malzeme bilgileri detaylı olarak Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tasarlanan yapı sistemlerinde normal kat döşemelerine etkiyen kaplama yükü 2kN/m^2 , çatı katı döşemelerine etkiyen kaplama yükü $2,5\text{kN/m}^2$ ve kirişlere etkiyen duvar yükü de $4,5\text{kN/m}$ olarak dikkate alınmıştır. Tasarlanan yapıların normal kat döşemelerine etkiyen hareketli yük $3,5\text{kN/m}^2$, çatı katı döşemelerine etkiyen hareketli yük ise $2,7\text{kN/m}^2$ alınmıştır.

Analizi yapılacak binaların bulunduğu konumdan deprem parametreleri ve zemin parametreleri elde edilmiştir. Yapı ETABS programı ile modellenerek x ve y doğrultusunda periyotları, her bir katın ağırlığı ile toplam ağırlığı hesaplanmıştır. Yapının bulunduğu konumuna göre deprem yer hareketi düzeyi ve yerel zemin sınıfına göre S_{DS} ve S_{D1} değerleri x ve y doğrultu için elde edilmiştir (Tablo 2). DTS'nin belirlenmesine esas olmak üzere BKS, binaların kullanım amaçlarına bağlı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada tasarlanan bina konut binası olduğu için BKS=3 olarak seçilmiştir. BKS'ye bağlı olarak bina önem katsayısı $I=1$ olarak seçilmiştir.

Tasarlanan betonarme yapıların kiriş elemanlarının ve farklı geometrilere sahip kolonların farklı parametreler için moment-eğrilik ve iki boyutlu normal kuvvet-moment etkileşim diyagramları elde edilmiştir. Betonarme kiriş elemanların mesnetlerinde mesnet donatılarına göre moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiştir. Elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinden plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanmasında kullanılacak değerler elde edilmiştir. Yapı geometrik bilgileri, deprem parametreleri, zemin parametreleri ve malzeme bilgileri kullanılarak TBDY (2018)'e göre yapı sistemlerinin eşdeğer

deprem yükü dağılımı hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışına göre modellenen betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları hesaplanmıştır. ETABS programı ile gerçekleştirilen artımsal itme analizlerinin sonucunda Tip 1 ve Tip 2 yapıların tepe yatay yer değiştirme-taban kesme kuvvet eğrileri elde edilmiştir. TBDY (2018)'e göre şekil değiştirme esaslı hasar sınırları ile plastik mafsal özelliklerinin hesaplanması için gerekli olan tüm doğrusal olmayan ilişkileri ve değerleri hesaplanmıştır. Böylece çalışma kapsamında TBDY (2018)'e göre betonarme kiriş ve kolonların doğrusal olmayan ilişkileri, şekil değiştirme esaslı hasarı sınırları, hasar bölgeleri ve plastik mafsal özelliklerinin hesaplanabilmesi için gereken değerler hesaplanmıştır. Bu bölümden elde edilen analiz sonuçları farklı detay ve özelliklere göre karşılaştırmalı olarak sunulularak yorumlanmıştır. Farklı tasarım parametrelerine göre kolon ve kiriş elemanlarının doğrusal olmayan davranışı nasıl ve ne oranda etkiledikleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Analizleri gerçekleştirilen yapılarda x doğrultusunda katlarda oluşan deplasman ve plastik dönme değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarından bina taşıyıcı sistem elemanlarının deprem performansını araştırmak için Tip 1 ve Tip 2 binaların zemin kat kiriş ve kolon elemanlarının hasar dağılımı ve hasar sınır limitleri elde edilerek irdelenmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan betonarme kolon ve kirişlerin kesit geometrisi ile betonarme binaların kat kalıp planı (birimler mm'dir)

Tablo 1. Betonarme kolon ve kirişlerin tipi, boyutları ve donatıları

Bina Tipi	Kolon Tipi	Kesit Boyutu	Boyuna donatı Oranı	Enine donatı Tipi	Enine donatı
1	Kare Kolon	500mm×500mm	0,01	Etriye	Φ10/50mm
2	Dairesel Kolon	565mm	0,01	Spiral	Φ10/50mm
Bina Tipi	Kiriş Tipi	Kesit Boyutu	Üst Donatı	Alt Donatı	Enine Donatı
1	Dikdörtgen	300mm×600mm	5Φ16	4Φ16	Φ10/100mm
2	Kiriş	300mm×600mm	5Φ16	4Φ16	Φ10/100mm

Tablo 2. Yapı genel bilgileri

Deprem Parametreleri	
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Hareketli yük katılım katsayısı (n)	0,30
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	8
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	3
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	6
Zemin Parametreleri	
Zemin Tipi	ZC
Spektrum Karakteristik Periyotları	T _a : 0,06, T _b : 0,30
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S _s)	1,648
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S ₁)	0,401
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (SD _s)	1,9776
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (SD ₁)	0,6015
En Büyük Yer İvmesi (g) (PGA)	0,674
En Büyük Yer Hızı (PGV)	43,601
Malzeme Bilgileri	
Kolonlar, Kirişler ve Döşemeler	C40, B420C

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Yapı sistemleri rijitlik ve kütle bakımından planda simetrik olmalarından dolayı x ve y yönlerindeki hâkim modların özellikleri aynıdır. Bu nedenle sadece x yönde artımsal itme analizleri yapılmıştır. ETABS programından elde edilen analiz sonuçları için TBDY (2018)'e göre yapı sistemlerinin doğrusal olmayan statik analizinde kullanılacak eşdeğer deprem yükü dağılımları hesaplanarak farklı tip binalara göre Tablo 3 ve 4'te sunulmuştur.

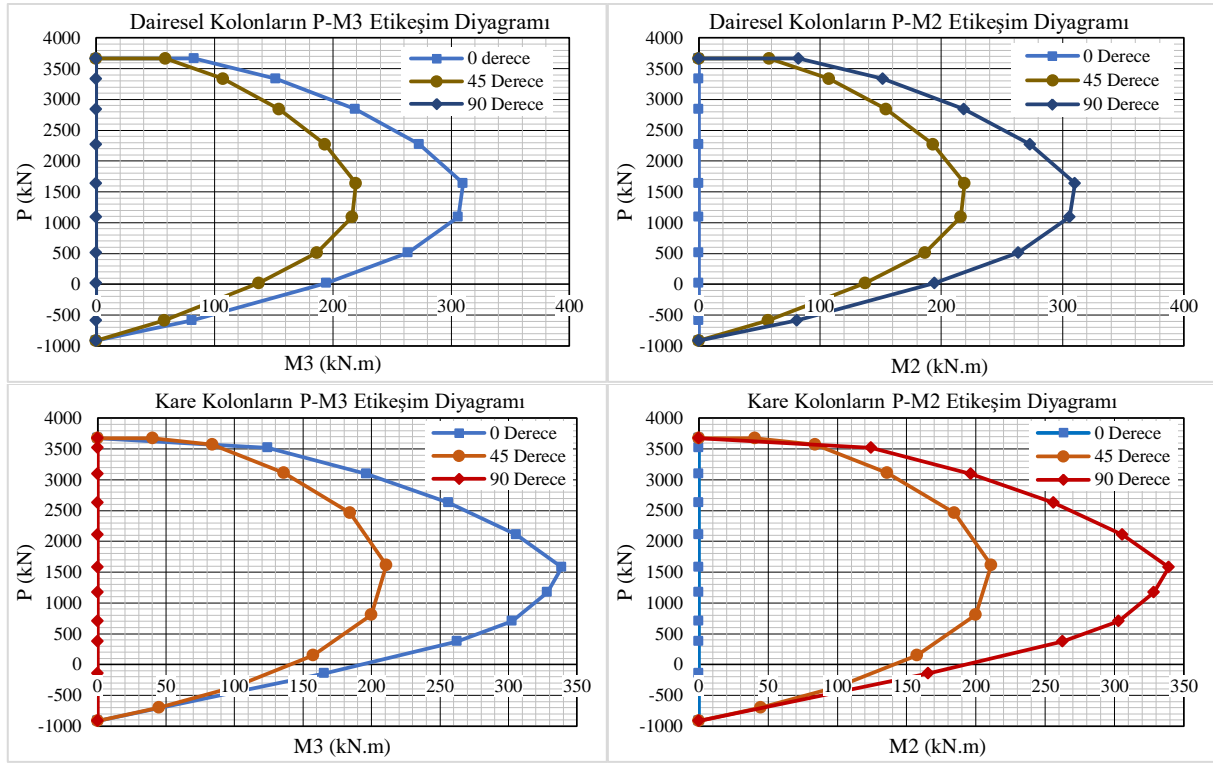
Tablo 3. Birinci titreşim modlarına ait etkin kütle oranları

Bina Tip No	Mod No	Periyot (sn)	Etkin Kütle Oranları		
			U _x	U _y	R _z
Tip 1	1	0,680	0,801	0	0
Tip 2		0,701	0,774	0	0

Tablo 4. Tip 1 ve Tip 2 yapı sistemlerinin eşdeğer deprem yükü dağılımı

Bina Tip No	Kat	Ağırlık (kN)	x Doğrultusunda Hâkim Mod Şekli Genlikleri (m)	Ağırlık×Genlik	Eşdeğer Deprem Yükü Dağılımı
Tip 1	Zemin	1570	0,0161	25,3	0,21
	1	1570	0,0401	63,0	0,52
	2	1570	0,0571	89,6	0,73
	3	1570	0,0815	128,0	1,05
	4	1346	0,0907	122,1	1,00
Tip 2	Zemin	1597	0,0163	26,0	0,21
	1	1597	0,0405	64,7	0,52
	2	1597	0,0573	91,5	0,73
	3	1597	0,0817	130,5	1,04
	4	1378	0,0910	125,4	1,00

Kolonların doğrusal olmayan davranışlarının modellenenilmesi için normal kuvvet ve moment bileşeninden oluşan iki boyutlu etkileşim yüzeyi (P-M) ve moment-eğrilik ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Betonarme kolonların normal kuvvet-moment etkileşim (P-M) diyagramı ve betonarme kolon ve kirişlerin plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanmasında kullanılacak moment-eğrilik (M-K) ilişkileri farklı aksenal yük seviyeleri için SAP2000 programından elde edilmiştir. Tasarlanan betonarme çerçevesel binalarda eşdeğer en-kesit alanına sahip iki Tip kolon geometrisi (kare ve dairesel) dikkate alınmıştır. Betonarme kolonların normal kuvvet-moment etkileşim ve moment-eğrilik ilişkilerinde kolon kesitinde her sabit aksenal yük altında x eksenini ile saat ibresinin tersi yönde 0, 45 ve 90 derecelik eksen etrafında momentin artırılması sonucundan elde edilmiştir (Şekil 4 ve 5). Farklı tasarım parametrelere göre moment-eğrilik analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak kolon ve kiriş modelleri için φ_y , M_y , φ_u , M_u ve μ değerleri hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışına göre modellenen betonarme kolon ve kirişlerin farklı tasarım parametrelerine göre akma durumu için θ_y değerleri hesaplanmıştır. GÖ, KH ve SH için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere betonarme dairesel, kare en-kesitli kolonların ve kirişlerin TBDY (2018)'e göre plastik mafsallık dönmeleri (θ_p) hesaplanmıştır (Tablo 5 ve 6). Farklı performans düzeyi için verilen plastik dönme hasar sınırları; φ_y , φ_u , L_P , L_S ve d_b 'nin fonksiyonudur. Dolayısıyla aksenal yük seviyesi, sargı donatı oranı, boyuna donatı oranı, kesit geometrisi ve sargı donatısının konfigürasyonu gibi φ_y ve φ_u değerlerini etkileyen parametreler θ_p değerlerini de etkilemektedir. SH performans düzeyinde taşıyıcı sistemlerde plastik mafsallık oluşmasına izin verilmediği için farklı parametrelere göre betonarme kolon kesitlerinde $\theta_p^{(SH)} = 0$ elde edilmiştir. Tablolarda M_y ve M_u değerleri; (kNm), k_y ve k_u değerleri; (Rad/m), θ_y ve θ_p değerleri; (Rad) olarak verilmiştir. Taşıyıcı elemanların moment-eğrilik ilişkilerinden φ_y ve φ_u değerleri hesaplanarak θ_p değerleri hesaplanmıştır.



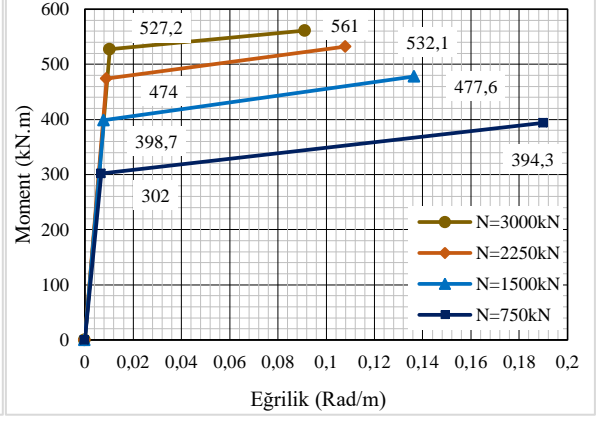
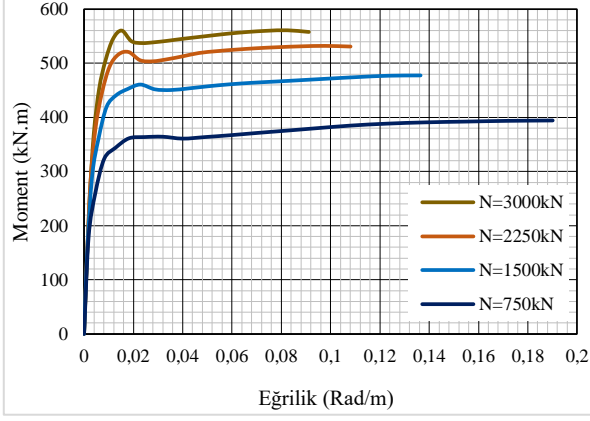
Şekil 4. Betonarme kolonların iki boyutlu P-M diyagramları

Tablo 5. Betonarme kolonların plastik mafsallik özelliklerinin tanımlanmasında kullanılacak değerler

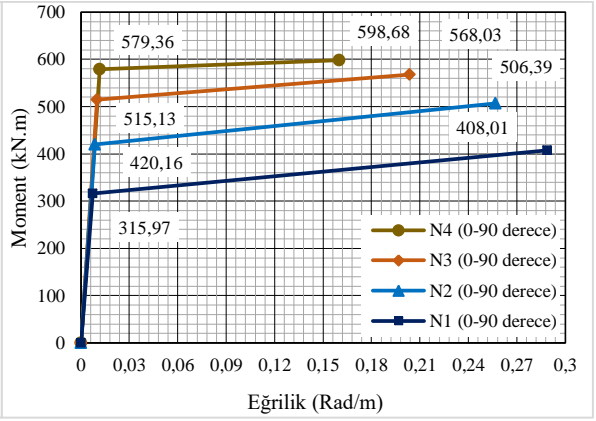
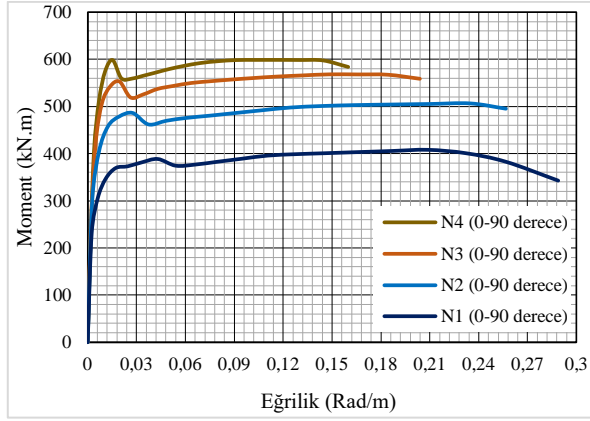
Kolon	N/N_{max}	M_y	M_u	M_u/M_y	ϕ_y	ϕ_u	μ_k	θ_y	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$	$\theta_p^{(KH)}$
Dairesel	750	302,0	394,3	1,31	0,0069	0,1901	27,6	0,0076	0,0431	0,0323
	1500	398,7	477,6	1,20	0,0079	0,1365	17,3	0,0085	0,0305	0,0228
	2250	474,0	532,1	1,12	0,009	0,1081	12,1	0,0093	0,0236	0,0177
	3000	527,2	561,0	1,06	0,0103	0,0912	8,9	0,0103	0,0195	0,0146
Kare (0-90 derece)	750	315,9	408,0	1,29	0,0074	0,2888	39,1	0,0080	0,0609	0,0457
	1500	420,2	506,4	1,21	0,0086	0,2567	29,9	0,0089	0,0538	0,0404
	2250	515,1	568,0	1,10	0,0099	0,2038	20,6	0,0099	0,0422	0,0317
	3000	579,4	598,7	1,03	0,0116	0,1599	13,8	0,0112	0,0325	0,0244
Kare (45 derece)	750	309,3	407,2	1,32	0,0061	0,1873	30,6	0,0069	0,0393	0,0295
	1500	401,9	485,3	1,21	0,0069	0,1481	21,5	0,0076	0,0307	0,0231
	2250	465,1	536,3	1,15	0,0078	0,1262	16,2	0,0083	0,0259	0,0194
	3000	500,1	561,7	1,12	0,0082	0,1121	13,7	0,0086	0,0228	0,0171

Tablo 6. Kirişlerin plastik mafsallik özellikleri

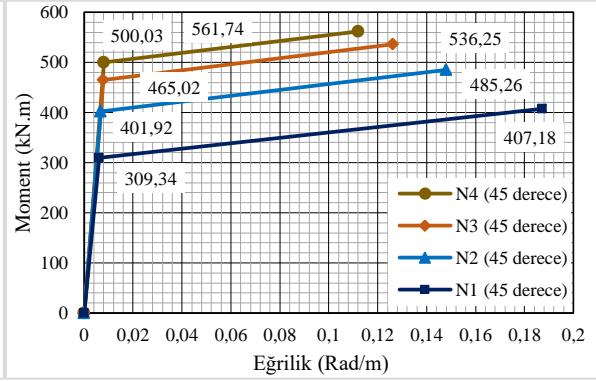
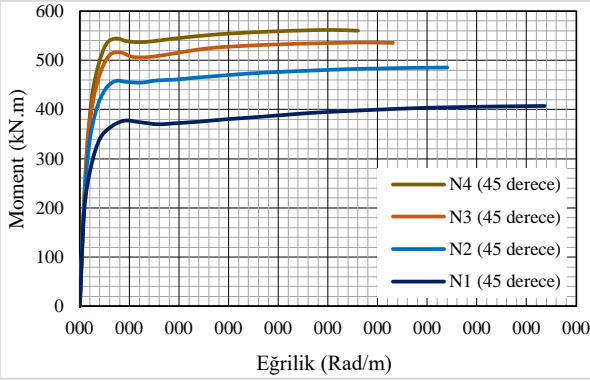
Mesnet yeri	Çekme bölgesi	M_y	M_u	M_u/M_y	ϕ_y	ϕ_u	μ_k	θ_y	$\theta_p^{(G\ddot{O})}$	$\theta_p^{(KH)}$
Sol	Açıklık (+)	209,4	277,4	1,32	0,0052	0,0795	15,3	0,0072	0,0178	0,0133
	Uç (-)	235,9	318,2	1,35	0,0053	0,0632	11,9	0,0073	0,0139	0,0104
Sağ	Açıklık (+)	209,4	277,4	1,32	0,0052	0,0795	15,3	0,0072	0,0178	0,0133
	Uç (-)	235,9	318,2	1,35	0,0053	0,0632	11,9	0,0073	0,0139	0,0104



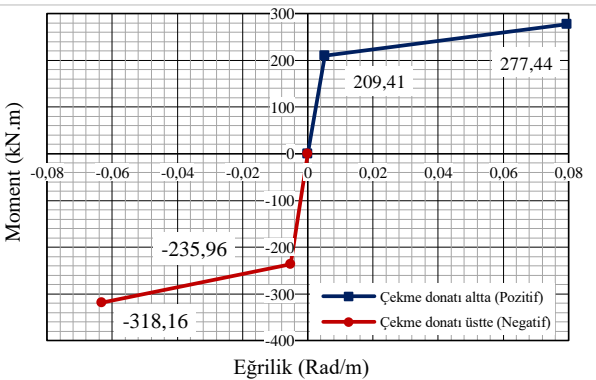
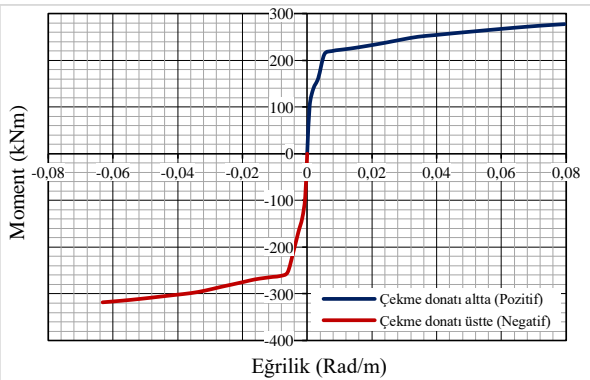
a) Dairesel en-kesitli kolonlar



b) Kare en-kesitli kolonlar (0-90 derece)



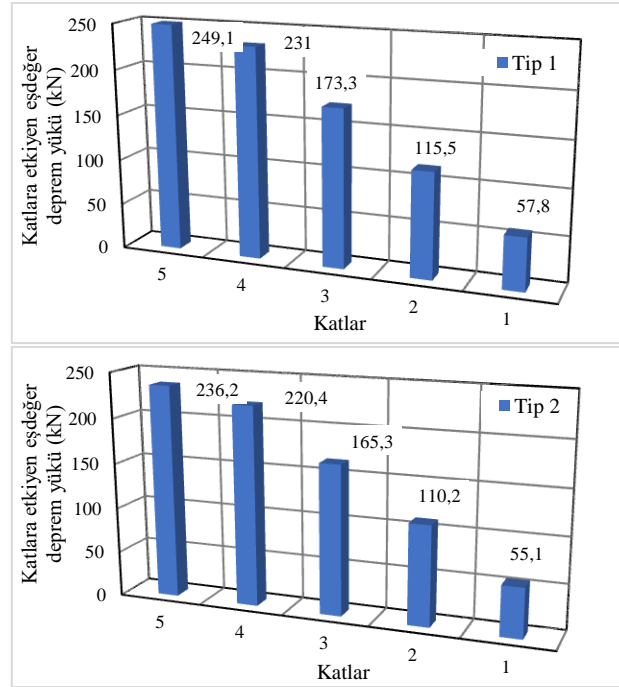
c) Kare en-kesitli kolonlar (45 derece)



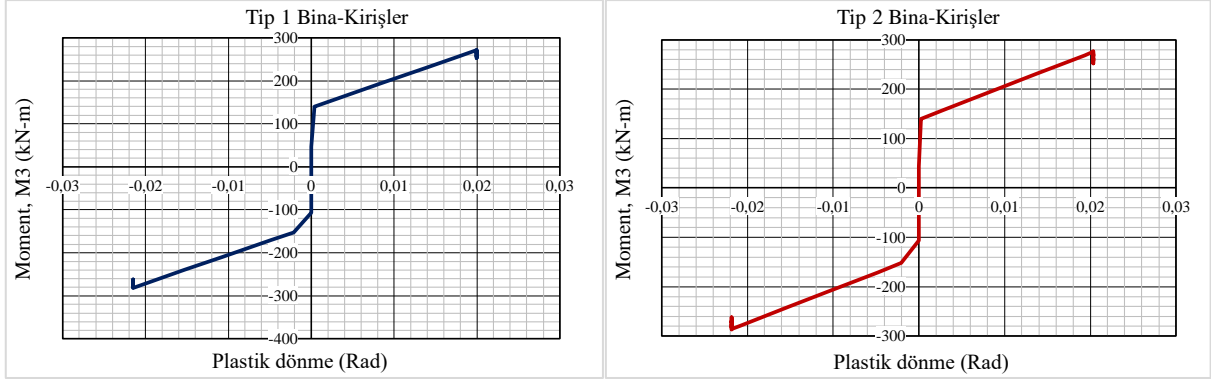
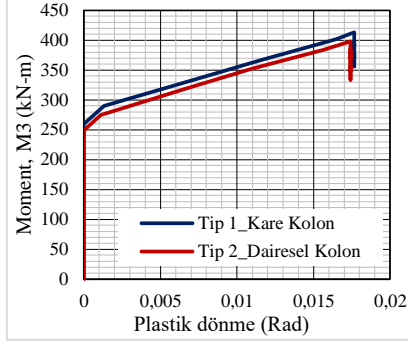
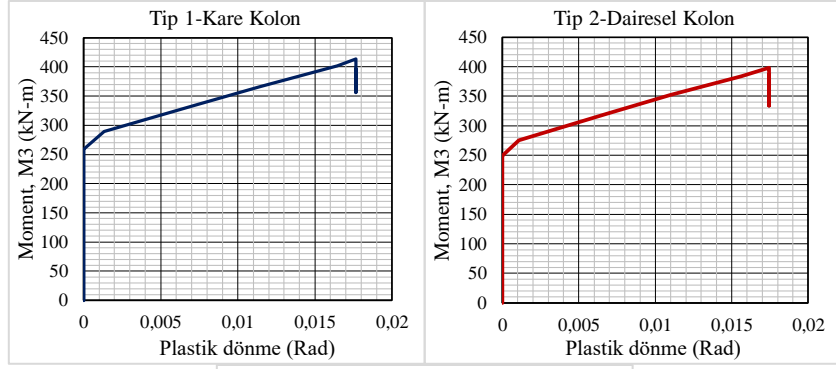
d) Betonarme kirişler

Şekil 5. Betonarme kolon ve kirişlerin moment-eğrilik grafikleri

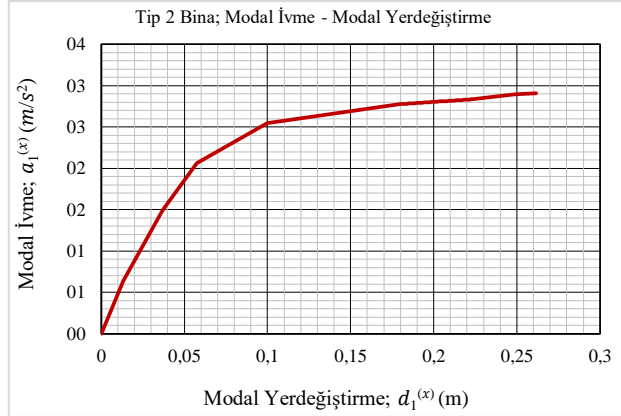
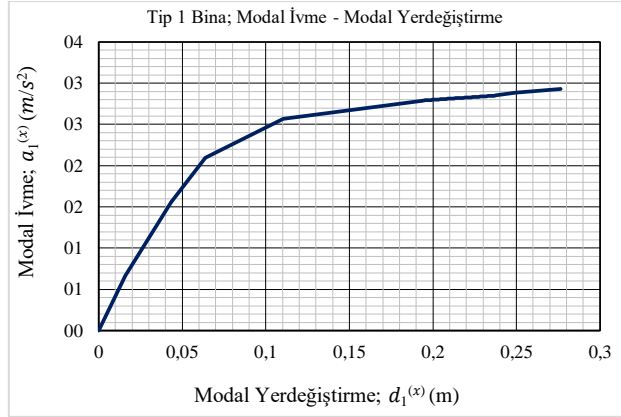
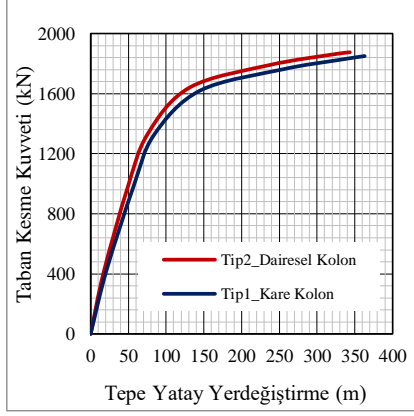
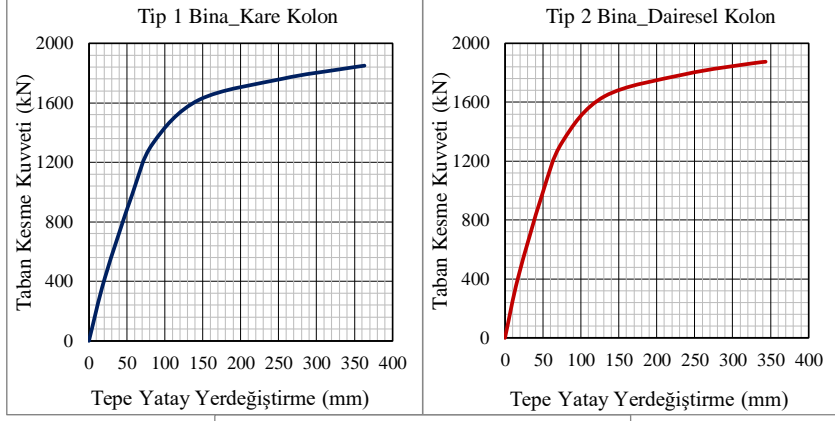
Yapılan analizler sonucunda yapı sistemlerinin tepe yatay yer değiştirme-taban kesme kuvveti ilişkileri elde edilmiştir. Tip 1 ve Tip 2 binaların eşdeğer deprem yükü dağılımı Şekil 6, kolonlarının moment-dönme kapasiteleri ve kirişlerinin moment-dönme kapasiteleri Şekil 7’de verilmiştir. Yapı sistemlerinin performans noktalarının belirlenmesi amacıyla, yapı sistemleri için elde edilen kapasite eğrilerinin, spektral ivme-spektral yer değiştirme (S_a-S_d) eksen takımına dönüştürülmüştür. Daha sonra deprem etkisini temsil eden S_d-T talep eğrisinin eksenleri S_a-S_d eksen takımına dönüştürülmüştür. Aynı eksen takımına dönüştürülen kapasite ve talep eğrileri artık birbiriyle ilişkilendirilebilir duruma gelir. Bu kapsamda birbiriyle ilişkilendirilen kapasite ve talep eğrileri aynı grafik üzerinde çizilerek yapı sistemlerinin performans noktası elde edilmiştir. Betonarme çerçeve binaların x eksenı yönünde kapasite eğrileri, modal kapasite eğrisi ve Tip 1 ve Tip 2 Binalar için x eksenı doğrultusunda kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi Şekil 8’de verilmiştir. Yapı sistemlerinin performans noktalarındaki tepe yer değiştirme istemlerinin hesaplanabilmesi için itme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme (S_{de1}) hesaplanmıştır. Şekil 8’deki grafiklerde yapı sistemleri için hesaplanan doğrusal elastik spektral yer değiştirme değerlerinden tepe yer değiştirmesi istemi $u_{XN1}^{(p)}$ hesaplanmıştır. Hesaplanan parametre değerleri Tablo 7’de farklı bina modelleri için verilmiştir. Hesaplanan $u_{XN1}^{(p)}$ tepe yer değiştirmesi istemi büyüklüklerine yapı sistemlerinin performans noktası denir. Yapı sistemleri için hesaplanan performans noktalarındaki deprem istemlerinin karşılaştırılması için taban kesme kuvvetleri, tepe yatay yer değiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri ve görelı kat ötelenmeleri elde edilerek karşılaştırılmıştır (Şekil 9).

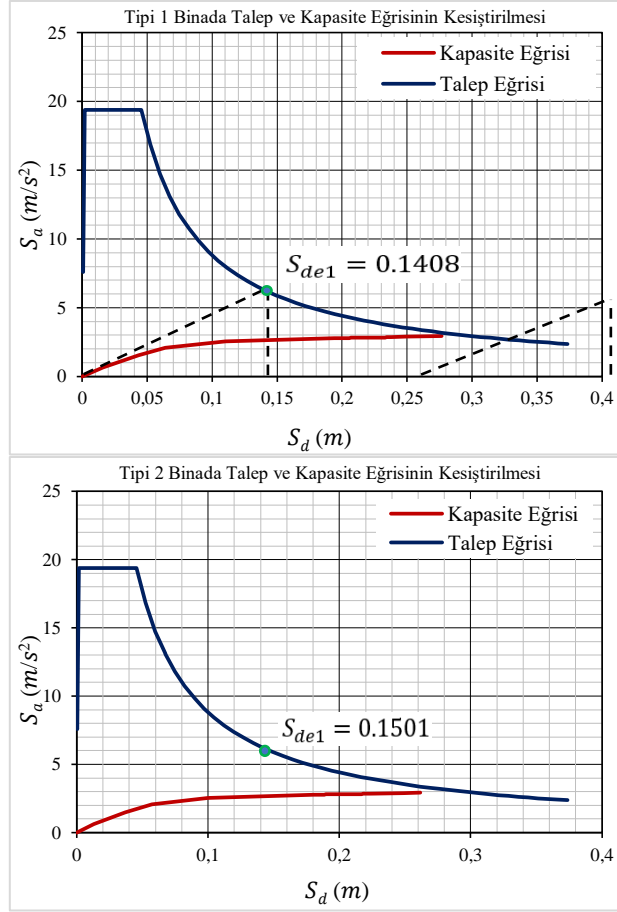


Şekil 6. Tip 1 ve Tip 2 binaların eşdeğer deprem yükü dağılımı



Şekil 7. Tip 1 ve Tip 2 binaların kolon ve kirişlerinin moment-dönme kapasiteleri

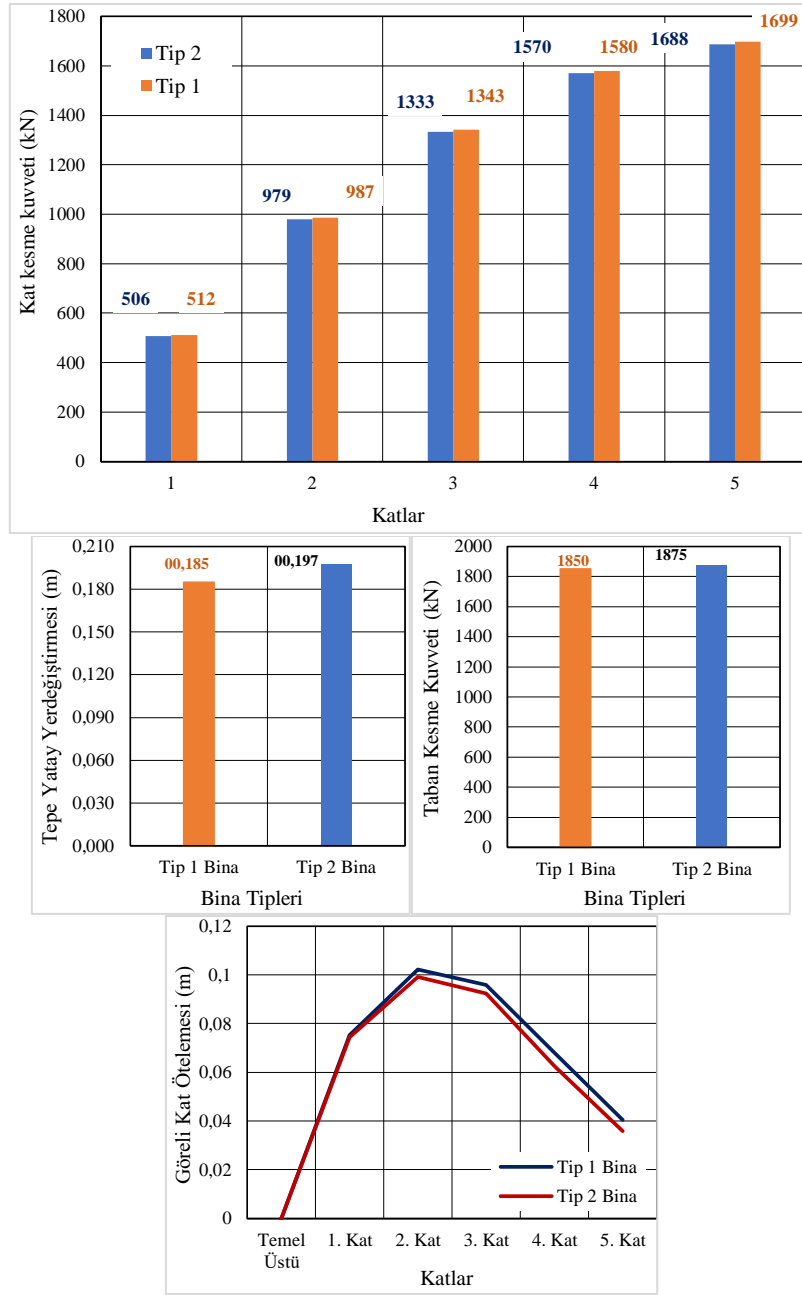




Şekil 8. Tip 1 ve Tip 2 Banalar için x eksenı doğrultusunda kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi.

Tablo 7. TBDY 2018'e göre yapı sistemi için tepe yatay yer değıştirmesi istemi değeri

Parametreler	Birimler	Tip 1 Bina	Tip 2 Bina
C_{R1}	-	1,0	1,0
S_{de1}	(m)	0,1408	0,1501
$d_1^{(p)} = S_{di1}$	(m)	0,1408	0,1501
Φ_{XN1}	(m)	0,0907	0,0910
Γ_{X1}	(1/m)	14,48	14,43
$u_{XN1}^{(p)}$	(m)	0,1849	0,1971



Şekil 9. Performans noktasındaki deprem istemlerinin karşılaştırılması için elde edilen parametrelerin ilişkileri.

Kare ve dairesel en-kesitli betonarme kolonların farklı eksenel yük seviyeleri için elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinin incelenmesinden görüleceği gibi eksenel yük seviyelerinin artması ile M_y , M_u ve k_y değerleri artmakta fakat k_u ve μ_k değerleri azalmaktadır. Plastik mafsallıkların tanımlanmasında kullanılan değerlerin karşılaştırılmasından; eksenel yük seviyesinin artması ile plastik mafsallıkların dönmesi artmakta ve GÖ ve KH performans düzeyi için plastik dönme değerleri azalmaktadır (Tablo 5). Betonarme kirişlerde çekme donatısı oranının artması ile moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen M_y , M_u ve k_y değerleri artmakta fakat k_u değerleri azalmaktadır. Çekme donatı oranının artması ile betonarme kiriş kesitlerinin maksimum moment taşıma kapasitesi artmakta ve sünekliği azalmaktadır. Plastik mafsallıkların tanımlanmasında kullanılacak değerlerin

karşılaştırılmasından görüleceği gibi çekme donatı oranının artması ile plastik mafsal akma dönmesi artmakta ve GÖ ve KH performans düzeyi için plastik dönme değerleri azalmaktadır (Tablo 6).

5 katlı Tip 1 ve Tip 2 betonarme çerçeveli binaların hâkim mod şekillerine ve kat ağırlıklarına bağlı olarak elde edilen eşdeğer deprem yükü dağılımlarının karşılaştırılmasından görüleceği gibi Tip 2 binaya göre Tip 1 binaya %5,2 kat daha fazla deprem yükü etkilemektedir (Şekil 6). İki farklı Tip binanın zemin kat kirişlerinde oluşan plastik dönme değerlerinin incelenmesinden Tip 2 binanın kirişlerinde Tip 1 binasına göre ortalama %1,7 daha fazla plastik dönmeler oluşmaktadır. Zemin kat kolonlarında oluşan plastik dönme değerlerinin incelenmesinden Tip 1 binanın kolonlarında Tip 2 binasına göre ortalama %0,63 daha fazla plastik dönmeler oluşmaktadır. Zemin kat kolonlarındaki plastik mafsal bölgesinde oluşan moment değerlerinin incelenmesinden Tip 1 binada Tip 2 binasına göre ortalama %7,4 daha fazla moment oluşmaktadır. Zemin kat kirişlerindeki plastik mafsal bölgesinde oluşan moment değerlerinin incelenmesinden Tip 2 binanın Tip 1 binasına göre ortalama %1,7 daha fazla moment oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Tip 1 ve Tip 2 yapılarının tüm zemin kat kolon ve kiriş elemanları belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. (Şekil 7). Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme değerleri Tip 1 binaya göre Tip 2 binada %6,2 daha fazla olarak elde edilmiştir (Şekil 8). Tip1 ve Tip2 binaların 5'inci kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılmasından görüleceği gibi Tip 2 binaya göre Tip 1 binaya %0,65 kat daha fazla kesme kuvveti etkilemektedir. Çerçeveli binaların maksimum taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılmasından Tip 1 binaya göre Tip 2 binaya %1,33 kat daha fazla taban kesme kuvveti etkilemektedir. Binalar için elde edilen maksimum tepe yatay yer değiştirmelerinin incelenmesinden Tip 1 binaya göre Tip 2 bina %6,2 kat daha fazla yatay yer değiştirmeye maruz kalmıştır (Şekil 9).

Sonuç

Eksenel yük seviyesindeki artış hem eleman sünekliğini hem de kesit hasar sınırlarını önemli derecede azaltmaktadır. Eksenel yük seviyesinin artmasıyla kesitin hasar sınırına karşı gelen eğrilik değeri azalmaktadır. Dolayısı ile eksenel yük seviyesinin artması ile kolon kesitlerinin hasar sınırlarının düşük şekil değiştirme değerinde oluşacağı söylenebilir.

Dairesel en-kesitli kolona sahip binaya göre kare en-kesitli binaya daha fazla deprem yükü ile kesme kuvveti etkilemektedir. Kare en-kesitli kolona sahip binaya göre dairese kolona sahip binada daha fazla taban kesme kuvveti ile yatay yer değiştirme değeri elde edilmiştir. Dairesel kolona sahip binanın kare kolona sahip binaya göre kiriş ve kolonlarında daha fazla plastik dönmeler oluşmaktadır. Kare kolona sahip binada dairese kolona sahip binaya göre zemin kat kolon ve kirişlerinde daha fazla moment oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde her iki tip binanın tüm zemin kat kolon ve kiriş elemanlarının belirgin hasar bölgesinde olduğu görülmektedir.

Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme değerleri kare kolona sahip binaya göre dairese kolona sahip binada daha fazla elde edilmiştir. Dairesel kolon kare kolona göre daha performanslıdır (%6,2). Analiz ve değerlendirmeler sonucunda her iki yönde kritik kattaki kolon ve

kirişlerin tamamının belirgin hasar bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara ve TBDY (2018)'de belirtilen performans kriterlerine göre her iki binanın da kontrollü hasar performans seviyesinde olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmayı 211104011 numaralı proje kapsamında destekleyen Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Balıkçı İ. Mevcut binaların deprem performanslarının 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019; sayfa no:120s, Denizli, Türkiye.
- Dalyan I., Sahin 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.
- Elci H., Goker KA. Deprem yönetmeliklerinin (DBYBHY 2007 ve TBDY 2018) betonarme kolonların deprem performansı açısından karşılaştırılması. International Journal of Scientific and Technological Research 2018; 4(6): 9-21.
- ETABS. Structural software for analysis and design. Computers and Structures, Inc. Version 18.1.1., Build 1727, USA, 2018.
- Foroughi S., Yüksel S. Betonarme kolonların şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının araştırılması. International Journal of Engineering Research and Development 2019; 11(2): 584-601.
- Foroughi S., Jamal R., Yüksel SB. Şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının belirlenmesinde sargı donatısının ve eksenel yükün etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2020; 8(4): 1042-1052.
- Meral E. Yapısal parametrelerin betonarme kolonların eğrilik sünekliğine etkileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2018; 1(1): 28-43.
- Özer Ö., Yüksel SB. Farklı betonarme bağ kirişi modellerinin TBDY (2018)'e göre yapı performansına etkisi. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering 2020; 25(3): 1169-1188.

- Sönmez M. DBYBHY-07 ve ASCE 41-06'da tanımlanan doğrusal olmayan performans değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi 2012; 454s.
- SAP2000. Structural Software for Analysis and Design, Computers and Structures, Inc, USA., (2000).
- Şahin B. Depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenmesi ve yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2010; Sayfa No: 138 s, İstanbul, Türkiye.
- TBDY. Türkiye bina deprem yönetmeliği. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2018; Ankara.
- Ulutaş H., Tekeli H., Demir F. Kesit hasar sınırlarının belirlenmesinde sargılama durumunun etkisi. International Burdur Earthquake and Environment Symposium 2015; 252-259, Burdur Türkiye.
- Ulutaş H. DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) deprem yönetmeliklerinin kesit hasar sınırları açısından kıyaslanması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2019; 17: 351-359.
- Yüksel SB., Yağlıkcı S. Betonarme binaların doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile analizi üzerine bir çalışma. 2nd International Congress on Engineering and Architecture, (ENAR) 2019; 495-512, Marmaris, Turkey.