

BETONARME ÇERÇEVELİ YAPILARDA FARKLI TAŞIYICI SİSTEMLERİN FARKLI DÜZENSİZLİK DURUMLARINDA YAPININ SÜNEKLİĞİNE VE DEPREM DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

^{*1}Hüseyin Kasap , ²Selman Varol , ³Necati Mert and ⁴Yusuf Sümer

^{*1} Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey

²Selman Varol, Düzce, Turkey

³ Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey

⁴ Faculty of Technology, Department of Civil Engineering Sakarya University of Applied
Science, Turkey

Öz

Bu çalışmada farklı taşıyıcı sistem özelliklerine sahip yapıların deprem etkisi altında sünekliliği ve deprem davranışları araştırılmıştır.

Deprem riski yüksek olan bölgelerde yapılar farklı aks açıklıklarında ve farklı düzensizliklerde tasarlanarak statik itme (pushover) analizi yapılmıştır.

İncelenen yapıların tamamına statik itme analizi uygulanmıştır. Yer değiştirme istemleri elde edilerek kapasite diyagramları oluşturulmuştur. Elde edilen diyagramlarla, farklı düzensizlik durumlarında tasarlanan 4 adet binaya etki eden taban kesme kuvvetleri, rijitlikleri, süneklikleri, deprem yükü azaltma katsayıları ve elastik tasarım katsayıları hesaplanmıştır.

Bu analiz sonucunda elde edilen kapasite eğrilerine göre elde edilen taban kesme kuvveti düzensizlik oluşan yapılarda %10 ile %30 arasında azaldığı görülmüştür. Yapı rijitlikleri ise %13 ile %28 oranlarında azalmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yapılarda oluşacak düzensizliklerden kaçınılması ve uygun yerlerde dilatasyon kullanılması önerilir.

Anahtar Kelimeler: Statik itme analizi, betonarme yapılar, süneklik, betonarme yapıların deprem davranışı

Abstract

In this study, the ductility and earthquake behavior of the structures having different carrier system characteristics under the effect of earthquake were investigated.

In areas with high earthquake risk, structures were designed with different irregularities and static pushover analysis was performed.

As a result of this analysis, it was seen that base shear force obtained according to the capacity curves decreased between 10% and 30% in the structures with irregularities. Structural stiffness decreased by 13% to 28%. According to the results, irregularities in the structures should be avoided and dilatation should be used where appropriate.

Key words: Static pushover analysis, reinforced concrete structures, ductility, reinforced concrete structures earthquake behaviour

* Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail addressshkasap@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955754

1. Giriş (Introduction)

Deprem sonucunda edinilen bilgiler ışığında tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de deprem yönetmelikleri değiştirilmektedir. Bu doğrultuda Türkiye’de Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 yılından günümüze kadar yürürlükte kalmıştır. Yeni gelişmelere uyum sağlamak için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Ocak 2019 yılında yürürlüğe girmiştir.

Deprem bölgelerinde yapılardan istenen, yapının şiddetli depremler sonucunda göçme oluşmadan can güvenliğini sağlamasıdır. Yapı can güvenliğini sağlarken hasarlar alabilmektedir. Hasar alan yapı lineer davranıştan nonlineer davranışa geçmiştir. Nonlineer davranış gözlemlenebilmesi için yapılabilecek hesap metotlarından biride Statik İtme Analizi yöntemidir.

Statik itme yönteminde yapı artımlı olarak itmeye tabii tutulur. Her adımda yapı elemanlarında oluşan değişim gözlenir. İtme işlemi yapının göçme durumuna erişene kadar devam ettirilir.

Sonuç olarak, statik itme analizi yönteminde deprem kuvvetlerinin binadan talep ettiği yükler ve binanın deprem yüklerine karşı vermiş olduğu cevabın incelenmesidir.

2. Materyal ve Yöntem (Materials and Method)

Deprem yapıya gelen yatay yer harekettir. Yapıya kısa sürede büyük yatay kuvvetle etki eder. Bu etki depremin büyüklüğüne, zemin yapısına ve yapının karakteristiğine bağlıdır. Deprem mühendisliğinde yapıların tasarlanmasında ya da mevcut yapıların değerlendirilmesinde performans kavramı büyük önem taşımaktadır. Yapıların deprem yükleri altında nasıl davranış göstereceği ve deprem sonrasında oluşacak hasar durumunun önceden belirlenebilmesi kurtarıcı rol oynamaktadır.

Yapıların tasarlanmasında davranış spektrumu kullanılarak belirlenen elastik deprem yükleri, taşıyıcı sistemin lineer olması ve yapının hasar almaması durumunda kullanılabilir. Bu şekilde tasarım yapıldığında yapıya çok büyük depremler etki ettiğinde yapılan tasarım ekonomik olmaz. Ekonomik tasarımın yapılabilmesi için yapıların ‘can güvenli’ performans düzeyini sağlayarak kabul edilebilir seviyede hasar almasına izin verilir.

Doğrusal olmayan davranışın belirlenmesinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi yapının plastik mafsall oluşumunu, deprem kapasitesi ve taleplerini belirlemede en etkili ve geçerli yöntemdir. Ancak yöntemin uygulanması sırasında modelleme parametreleri, seçilen deprem kayıtlarının doğruluğu, etkime süresi ve frekansı gibi birçok değişkenden etkilenmektedir. Bu durumdan dolayı etki edecek olan kayıtların çok dikkatli seçilmelidir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi uygulamadaki karmaşıklığından ve prosedürün zaman almasından dolayı basitleştirilmiş yöntemlere ihtiyaç duyulmuş ve ortaya statik itme analizi yöntemi çıkmıştır. Statik itme analizi yöntemi yapının hasar aldığı yerler ve doğrusal olmayan bölgede kırılma mekanizması hakkında bilgi verir.

2.1. Statik İtme Analizi (Static Pushover Analysis)

Statik itme analizi deprem yükleri altında yapı performansının belirlenmesinde kullanılan özel bir yöntemdir. Doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre daha basitleştirilmiş bir yöntem olmasından dolayı son yıllarda kullanımı yaygınlaşmıştır.

İtme analizi yönteminde, yapı hareketinin hakim mod biçiminde kontrol edilerek yapının lineer ve lineer olmayan tepkisi boyunca bu şekilde devam ettiği kabul edilmiştir. Bu kabul hesabın statik olarak yapılabilmesine olanak sağlamıştır.

İtme analizi yöntemi ile yapıya artımsal yatay yük verilerek yapının yapmış olduğu tepe noktası yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti arasındaki ilişki belirlenir. Elde edilen bu taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği itme eğrisi olarak adlandırılmaktadır. İtme eğrisi yapının taban kesme kuvvetindeki artışına bağlı davranışı hakkında bilgi verir. Yük yapıya arttırılarak etki ettirilir. Yükün artması sonucunda elemanlarda plastik mafsall oluşur. Oluşan plastik mafsall sonucunda yapıdaki yük dağılımı değişiklik gösterir. Analiz göçme oluşuncaya veya belirli bir duruma gelinceye kadar devam ettirilir.

Literatürde itme analizinde izlenen değişkenlere göre iki çeşit prosedür bulunmaktadır. Bu prosedürlerden birinde kuvvet kontrolü diğerinde ise deplasman kontrolü uygulanmaktadır. Kuvvet kontrollü itme analizinde yükün, yerçekimi yüklemesi bilinmelidir. Deplasman kontrollü itme analizinde, Allahabadi tarafından 1987 yılında önerildiği gibi, yük dağılımının büyüklüğü, kontrol deplasmanının belirli bir değere ulaşana kadar artırılır. Ardından, tüm iç kuvvetler ve deformasyonlar hedef yer değiştirme seviyesinde hesaplanır.

1998 yılında Krawinkler ve Seneviratna, itme analizinin yapının tepkisini görselleştirmede çok güçlü olduğunu vurgulamıştır. Lineer veya dinamik analizde yapı tepkisi görselleştirilememektedir. Ayrıca lineer analiz yönteminde belirlenemeyecek yapının zayıflıklarını ortaya çıkarmıştır [1].

2.2. Tek Modlu İtme Analizi (Single Mode Pushover Analysis)

Tek modlu itme yöntemi mod birleştirme yönteminin yapıda artımsal olarak uygulanmasına karşılık gelir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için ek dışmerkezlikler dikkate alınmadan doğrusal elastik kısım dikkate alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\mu_{bi} < 1,4$ koşulunu sağlamalıdır. Bununla birlikte hesabın yapıldığı deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış esasına göre hesaplanan hakim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam bina kütlelerine oranı (rijit perdelerle çevrilen bodrum katlar hariç) en az 0,7 olmalıdır. Yapıya ait yükseklik sınıfı $BYS \geq 5$ olmalıdır. [2]

Tek modlu itme analizi hesap adımları aşağıdaki gibidir;

- Hesabın başlangıç adımında deprem dışı düşey yükler altında birinci mod biçimi ile orantılı şekilde artımsal itme hesabı yapılır. Bu hesap sonucunda bulunan iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler başlangıç adımı olarak dikkate alınacaktır.
- Katlara etkiyen deprem yükleri, düşey yüklerle yapılan hesaptan sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak

belirlenir.

- İtme hesabında ikinci mertebe etkilerinin sonuçları dikkate alınmaktadır.
- İtme hesabı sonucunda tepe noktası yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti grafiği (itme eğrisi) elde edilir.
- İtme eğrisine uygulanacak olan koordinat dönüşümleri sonucunda modal yer değiştirme – modal ivme eğrisi elde edilir.
- Modal kapasite diyagramı, tanımlanan deprem etkisi altında modal yer değiştirme talebi ve buna bağlı olarak yapıda meydana gelecek iç kuvvet ve plastik yer değiştirme talepleri hesaplanır.
- İtme analizi adımlarında belirtildiği üzere modal kapasite eğrisinin elde edilmesi için yapılması gereken işlem şu şekildedir.

Birinci moda ait modal katkı çarpanı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i(X)n}}{\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{iXn}^2 + m_i \Phi_{iYn}^2 + m_{i\theta} \Phi_{i\theta n}^2)} \quad (2.1)$$

$$m_{ix1}^{(X,1)} = m_i \Phi_{ix1}^{(1)} \Gamma_n^{(X,1)} \quad (2.2)$$

$$m_{iy1}^{(X,1)} = m_i \Phi_{iy1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} \quad (2.3)$$

$m_{ix1}^{(X,1)}$, $m_{iy1}^{(X,1)}$: birinci adımda hesaplanan kat etkin kütlelerinin birinci mod karşılıklarıdır.

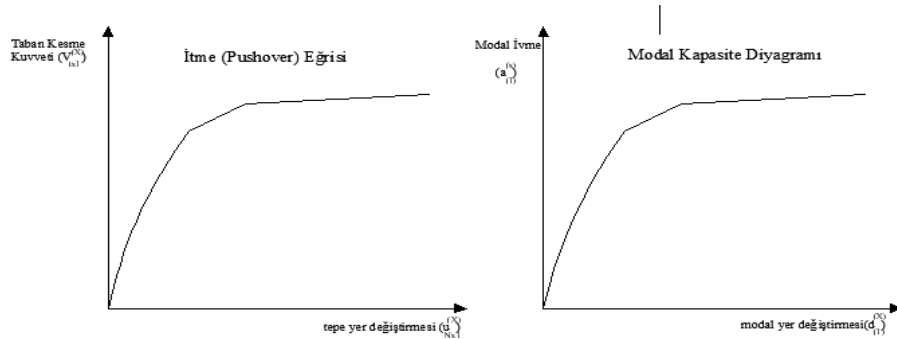
$\Gamma_n^{(X)}$: (x) deprem doğrultusunda birinci titreşim modu için ilk itme adımında hesaplanan modal katkı çarpanı' dır.

$\Phi_{ix1}^{(1)}$ = i'inci katta her bir k'ıncı itme adımında serbest titreşim hesabı ile yenilenen değişken mod şekli'nin x doğrultusundaki genliği(k)

$\Phi_{iy1}^{(1)}$ = i'inci katta her bir k'ıncı itme adımında serbest titreşim hesabı ile yenilenen değişken mod şekli'nin y doğrultusundaki genliği

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,k)}} \quad (2.4)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\Phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (2.5)$$



Şekil 1. İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramının karşılaştırılması

Deprem modal yer değiştirme talebinin elde edilmesi, verilen deprem etkisi altında modal kapasite diyagramı tarafından temsil edilen modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi hesabına karşı gelmektedir. Sistemdeki en büyük yer değiştirme, doğrusal olmayan,

spektral yer değıştirme olarak tanımlanmıştır.

$$d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1) \quad (2.6)$$

$S_{di}(T_1)$ Yapının hakim titreşim moduna karşılık gelen spektral yer değıştirmeyi verir.

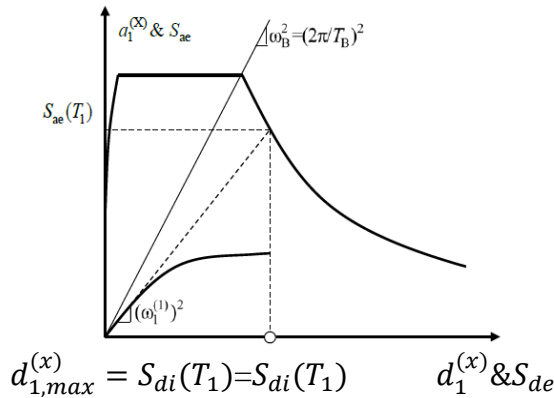
$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de} T_{(1)} \quad (2.7)$$

C_R Spektral yer değıştirme oranını belirler. Akma dayanımı azaltma katsayısına bağı olarak aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanabilir.

T_1 başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'ye eşit veya daha büyük olması durumunda, doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değıştirme S_{di1} , eşit yer değıştirme kuralına göre doğal periyodu yine T_1 (1) olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait doğrusal elastik spektral yer değıştirme $S_{de}(1)$ 'e eşit alınır. Dolayısıyla spektral yer değıştirme oranı C_{r1} , T_1 (1) başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'ye eşit veya daha büyük olması durumunda $C_{r1} = 1$ olarak alınır.

$$C_r = 1 \quad T_1 > T_A \quad (2.8)$$

$$C_r = \frac{(1+R_y-1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad T_1 \leq T_B \quad (2.9)$$



Şekil 2. Spektral yer değıştirme-modal yer değıştirme eğrisi

Spektral yer değıştirme oranı (C_{r1}), başlangıç periyodu (T_1) ivme spektrumundaki karakteristik periyot (T_B)'den küçük olması durumunda (C_{r1}) ardışık yaklaşımla hesaplanır.

Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_r=1$ kabulü yapılır. Eşdeğer akma noktasının koordinatları diyagramın altında kalan alanların eşitliği ilkesine dayanır. Bu şekilde a_{yi}^0 (yaklaşık akma sözde

ivmesi) kullanılarak $R_{y1} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}}$, $C_r = \frac{(1+R_y-1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1$ ve $S_{di}(T_1) = C_R S_{de} T_{(1)}$

denklemleri yardımıyla R_{y1} , C_r ve $S_{di}(T_1)$ değerleri hesaplanır. Bulunan bu değerler ile elasto-plastik diyagram tekrar oluşturulur. Yeniden bulunan a_{y1} göz önüne alınarak aynı işlemler tekrar yapılır. Sonuçların yeterince yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.

Tek modlu itme yöntemi özet olarak hakim mod titreşim biçimi ile orantılı olacak şekilde deprem yer değıştirme sınırına kadar artımsal olarak adım adım deprem yükü etki ettirilir. Yapıda oluşan plastik yer değıştirmeler, plastik dönmeler, iç kuvvet değışimleri birikimli olarak hesaplanır. Son adımda deprem istemine karşılık oluşan şekil değıştirmeler değerlendirilecek olan değerlerdir.

İtme analizi yönteminde her katın rijit diyafram olarak davranış gösterdiği kabul edilir. Bu rijit diyafram davranışında yatay yükler yönündeki iki ekseninde yatay yer değiştirme kat kütle merkezi ekseninde ise sadece dönmelerin olduğu kabul edilmiştir.

İtme analizi yapının faya uzaklığının 15 km'den az olduğu durumlarda ve ikinci mertebe etkilerinden dolayı modal kapasite diyagramının akma sonrasında yöneliminin negatif yönde olması durumunda kullanılmamalıdır[2].

3. Yapı Modellerinin Tasarımı ve İtme Analizi Uygulaması (Design of Building Models and Application of Pushover Analysis)

Bu bölümde, tasarlanmış olan 4 farklı modelden bir tanesi referans modeldir. Diğer 3 adet yapı kendi içlerinde Model D-1, Model D-2, Model D-3 olarak adlandırılmıştır. Model D şeklinde isimlendirilen modeller yapıda plan düzensizlikleri oluşturularak tasarlanmıştır.

Yapıların her biri x doğrultusunda 30m y doğrultusunda 20m uzunluğundadır. Kat yüksekliği 3'er metredir ve 4'er kattan oluşmaktadır. Aks açıklığı her iki doğrultuda 5'er metredir.

Modellerin tümünde kesit özellikleri aynı özelliklerdedir. Kolon ebatları 50x50 cm boyutlarındadır. Döşeme kalınlıkları 15cm seçilmiştir. Döşemelerin oturduğu kirişler 25x50 cm olarak seçilmiştir.

Malzeme olarak beton sınıfı C25, çelik sınıfı ise S420 seçilmiştir. Yapılar konut olarak tasarlanmıştır. Bundan dolayı bina önem katsayısı $I=1$ olarak seçilmiştir. Deprem yüklerinin tamamı süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerden karşılanmaktadır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$ 'dir. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından yapının yapıldığı parsele esas alınan değerler aşağıdaki gibidir.

$S_s = 1,357$ (Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz])

$S_1 = 0,368$ (1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz])

$S_{DS} = 1,357$ (Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz])

$S_{D1} = 0,711$ (1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz])

$PGA = 0,557$ (En büyük yer ivmesi [g])

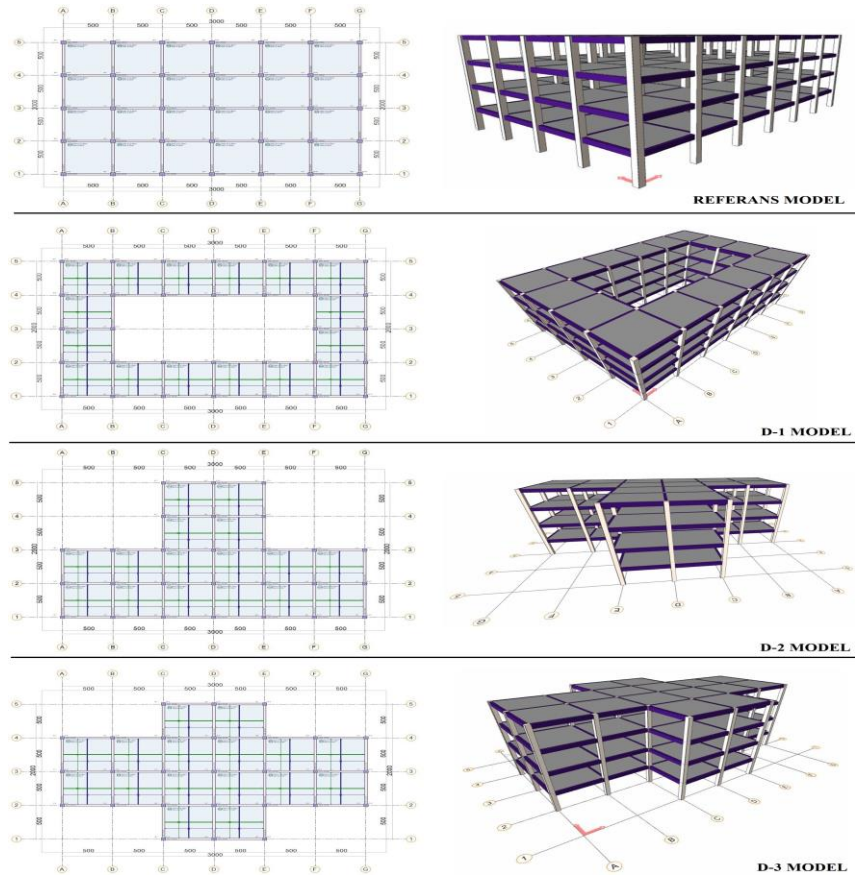
$PGV = 36,035$ (En büyük yer hızı [cm/sn])

Kolonlar için alınan etkin kesit eğilme rijitliği = 0,70

Kirişler için alınan etkin kesit eğilme rijitliği = 0,35

Hareketli yük katılım katsayısı (n) = 0,30

Modelleme sırasında döşeme ağırlıkları ölü yük olarak kirişlere aktarılmıştır. Kolonlar zemine ankastre bağlandığı kabul edilmiştir. Şekil 3.1.'de yapıların kalıp planları ve perspektif görünüşleri gösterilmiştir.



Şekil 4. Yapı modelleri

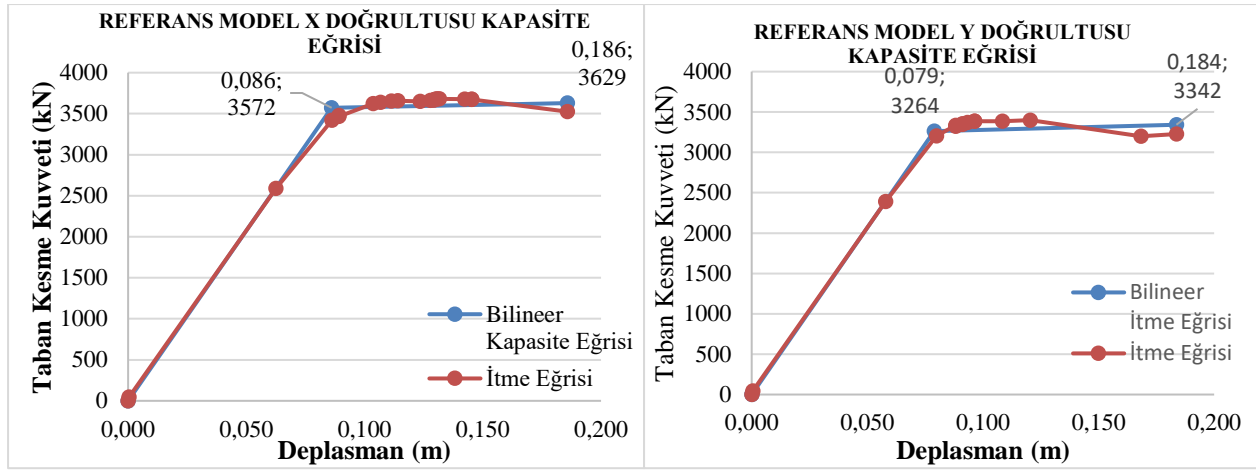
Yapılan incelemeler ve analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 1. Yapıların x doğrultusunda itme analizi sonuçları

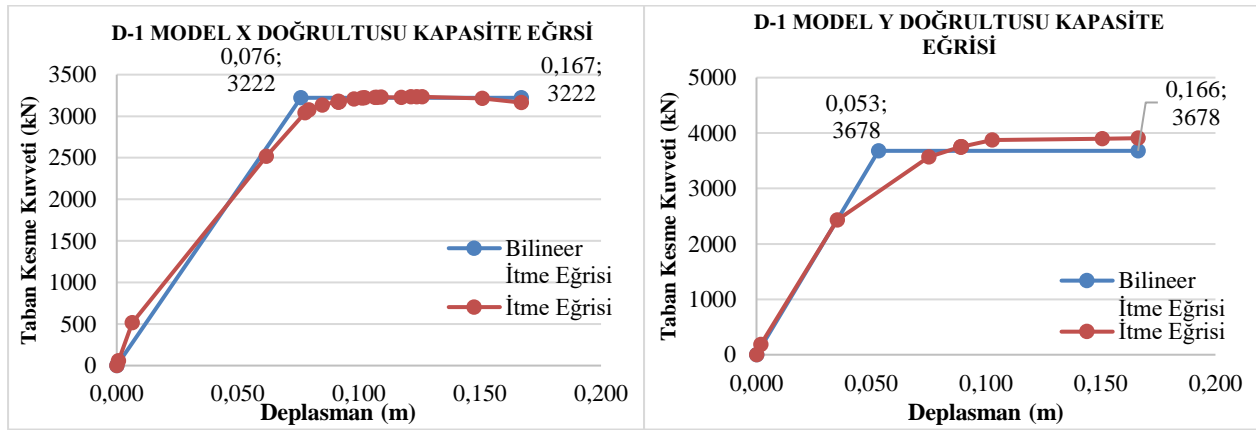
	Referans Model	D-1 Model	D-2 Model	D-3 Model
ay_x	1.663	2.029	2.031	1.667
Sae_x	8.800	9.100	7.400	7.900
Ry_x	5.292	4.485	3.644	4.739
U_{px} (m)	0.186	0.167	0.135	0.218

Tablo 2. Yapıların y doğrultusunda itme analizi sonuçları

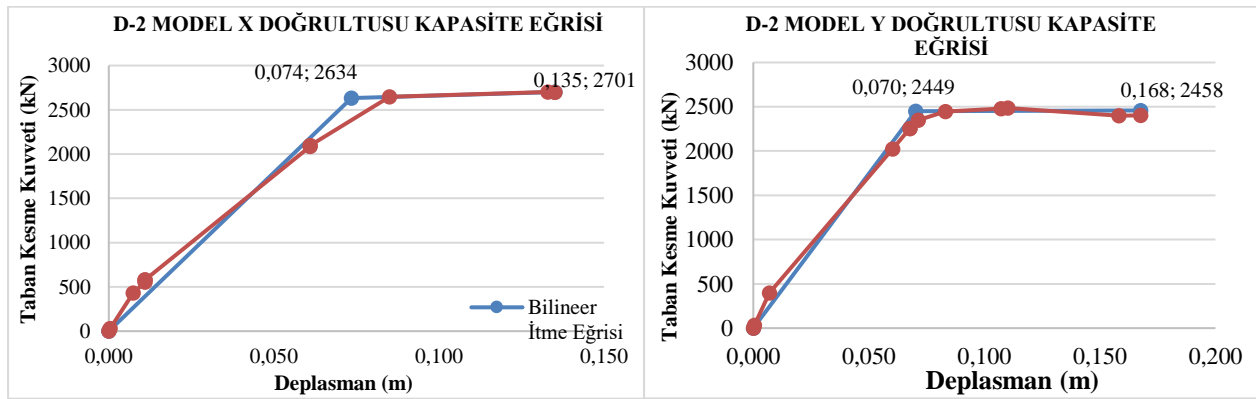
	Referans Model	D-1 Model	D-2 Model	D-3 Model
ay_y	1.525	2.408	1.651	1.623
Sae_y	9.000	7.500	8.600	8.700
Ry_y	5.902	3.115	5.209	5.360
U_{py} (m)	0.184	0.166	0.168	0.202



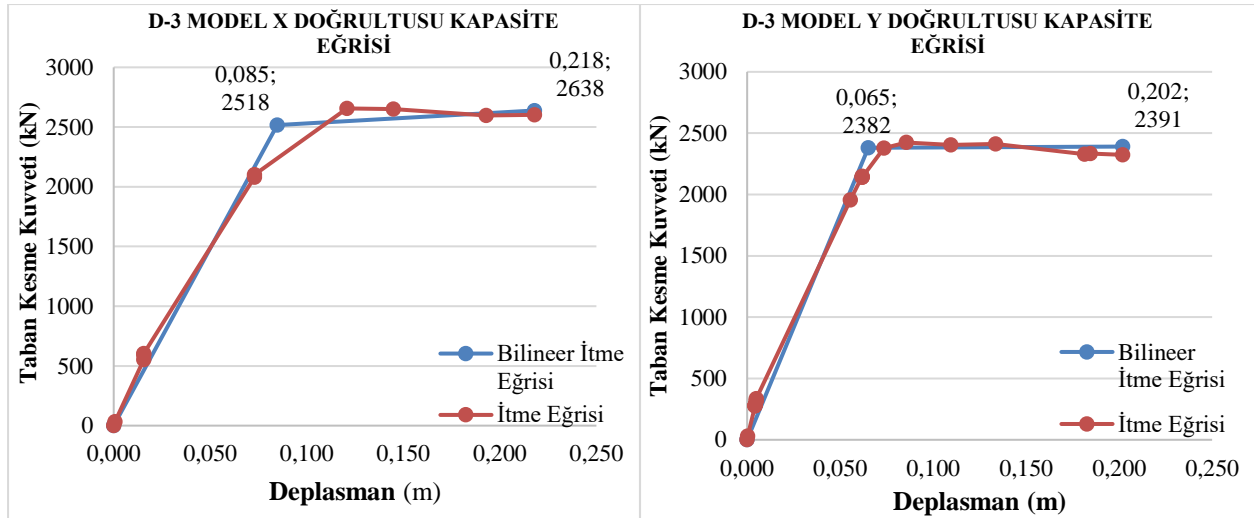
Şekil 1. Referans model performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi



Şekil 2. D-1 model performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi



Şekil 3. D-2 model performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi



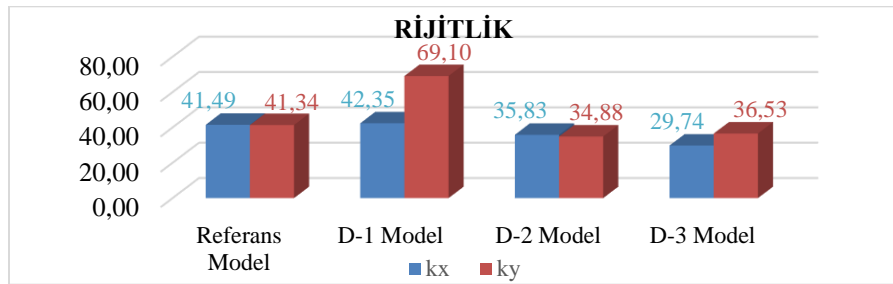
Şekil 4. D-3 model performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

Elde edilen kapasite eğrileri ile yapı davranışı hakkında bir çok sonuca varılabilir. Bu kapasite eğrileri ile yapıya gelen taban kesme kuvveti, yapının rijitliği, sünekliği, deprem yükü azaltma katsayısı ve enerji tüketim kapasiteleri bulunabilir.

Rijitlik , yapının başlangıçtan akmanın meydana geldiği noktaya kadar yaptığı lineer davranışın eğimi hesaplanarak bulunabilir.

Tablo 3. Yapı rijitliklerinin katsayıları

	Referans Model	D-1 Model	D-2 Model	D-3 Model
k_x	41.49	42.35	35.83	29.74
k_y	41.34	69.10	34.88	36.53



Şekil 5. Yapıların rijitlik katsayılarının karşılaştırılması

Referans model x ve y doğrultularında rijitlikleri yaklaşık olarak eşittir.

D-1 modelin x doğrultusunda yapıda x doğrultusunda B-F, y doğrultusunda 2-4 aksları arasındaki yapı elemanları kaldırılarak A2 düzensizliği oluşturulmuştur. Rijitlik x doğrultusunda %2'lik bir artış yapmıştır. Y doğrultusuna ise rijitlik %67 oranında artmıştır.

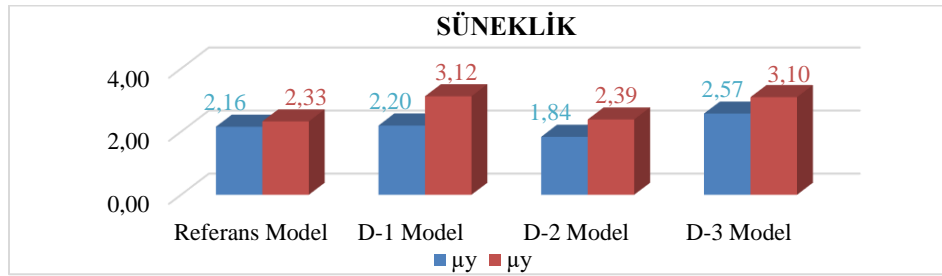
D-2 modelde A-C ve 3-5 aksları ile E-G ve 3-5 aksları arasında kalan yapı elemanları kaldırılarak ‘⊥’ şeklinde bir yapı elde edilmiştir. Bu yapı rijitliklerinin x ve y doğrultularında birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Referans modele göre ise rijitlik yaklaşık %14 oranında azalma görülmüştür.

D-3 modelde A-C ve 1-2 ile E-G aksları ve 4-5 aksları arasında kalan yapı elemanları kaldırılarak ‘+’ şeklinde bir yapı oluşturulmuştur. Rijitlik x ve y doğrultularında azalma görülmüştür. X doğrultusunda ki rijitlik azalması referans modele göre %28 oranında azalmıştır. Y doğrultusunda ise rijitlik yaklaşık %12 oranında azaldığı görülmüştür.

Süneklik, yapının yer değiştirme istemine kadar yaptığı yer değiştirmenin, akma meydana geldiği durumdaki yer değiştirmesine oranıdır.

Tablo 4. Yapıların süneklik katsayıları

	Referans Model	D-1 Model	D-2 Model	D-3 Model
μ_x	2.16	2.20	1.84	2.57
μ_y	2.33	3.12	2.39	3.10



Şekil 6. Yapıların süneklik katsayılarının karşılaştırılması

Referans modelin x ve y doğrultularında aks açıklıkları 5’er metredir. Yapı süneklikleri de her iki doğrultuda da birbirine çok yakındır. X yönünde süneklik katsayısı 2.16, y doğrultusunda 2.33 olarak hesaplanmıştır. Y doğrultusunun sünekliği x yönündeki sünekliğe göre %7 daha büyüktür.

D-1 (ortada boşluk bulunan) modelin sünekliği, x ve y doğrultusunda da referans modele göre artmıştır. X doğrultusunda süneklik yaklaşık %2 oranında, y doğrultusunda ise %34 oranında artmıştır.

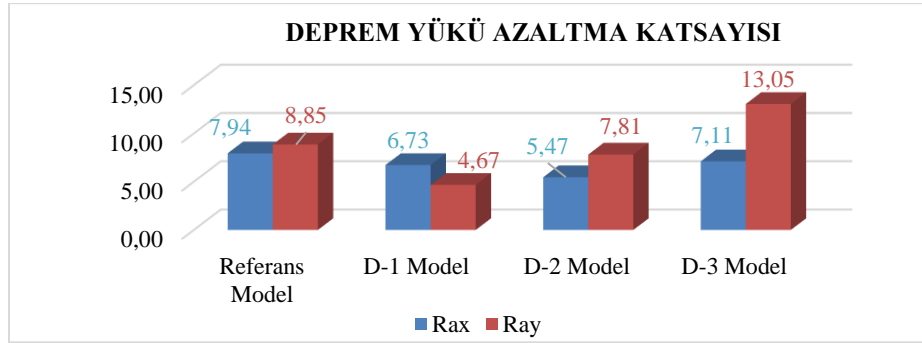
D-2 (⊥ şeklindeki) model sünekliği referans model göre x doğrultusunda azalmış, y doğrultusunda ise artmıştır. X doğrultusunda süneklik yaklaşık % 15 azalmış, x doğrultusunda ise yaklaşık %34 oranında arttığı görülmüştür.

D-3 (+ şeklindeki) model sünekliği, x ve y doğrultusunda da referans modele göre artmıştır. X doğrultusunda süneklik yaklaşık %25 oranında, y doğrultusunda ise %33 oranında artmıştır.

Tbdy ‘de ‘R’ deprem yükü azaltma katsayısı yüksek süneklikte projelendirilen çerçeve türünden taşıyıcı sistemlerde R=8 olarak öngörülmüştür. Tablo 5.4’de çalışmada kullanılan 7 farklı modelin itme analizi yardımıyla hesaplanan deprem yükü azaltma katsayıları x ve y doğrultuları için gösterilmiştir.

Tablo 5. Yapıların deprem yükü azaltma katsayıları

	Referans Model	D-1 Model	D-2 Model	D-3 Model
R_{ax}	7.94	6.73	5.47	7.11
R_{ay}	8.85	4.67	7.81	13.05

**Şekil 7.** Yapıların deprem yükü azaltma katsayılarının karşılaştırılması

Referans model x yönü deprem yükü azaltma katsayısı 7,94 hesaplanmıştır. Yönetmeliğin seçilmesini öngördüğü 8 değerine yakın çıkmıştır. Y doğrultusunda bakıldığında 8.85 hesaplanmıştır. Bu değer seçilen değerden % 11 daha fazladır.

D-1 (ortada boşluk bulunan) model deprem yükü azaltma katsayısı x doğrultusunda 6.73, y doğrultusunda 4.61 olarak hesaplanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı referans değere göre x doğrultusunda %15, y doğrultusunda %42 daha küçüktür.

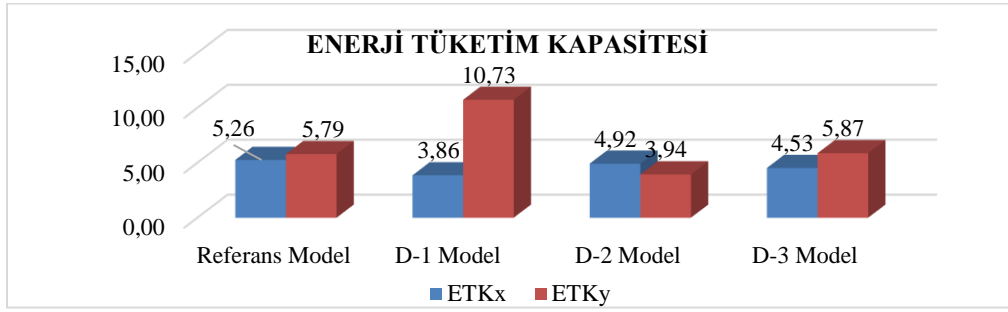
D-2 (\perp şeklindeki) model deprem yükü azaltma katsayısı x doğrultusunda 5.47, y doğrultusunda 7.81 olarak hesaplanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı referans değere göre x doğrultusunda %31, y doğrultusunda %2 daha küçüktür.

D-3 (+ şeklindeki) model x doğrultusunda deprem yükü azaltma katsayısı 7.11, y doğrultusunda 13.05 olarak hesaplanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı referans değere göre x doğrultusunda %11 azalmış, y doğrultusunda %63 daha büyüktür.

Kapasite diyagramı yapıya verilen itme analizinde yapıda oluşan taban kesme kuvveti yer değiştirme değişimlerini adım adım göstermektedir. Çizilen kapasite eğrisinin altında kalan alan yapının tükettiği enerji miktarını gösterir. Enerji tüketim kapasitesi(ETK), yapıda ilk mafsallı oluştuktan sonra tüketilen enerjinin başlangıçtan ilk mafsallı oluşana kadar tüketilen enerjiye oranıdır.

Tablo 6. Yapıların enerji tüketim katsayıları

	Referans Model	D-1 Model	D-2 Model	D-3 Model
ETK _x	5.26	3.86	4.92	4.53
ETK _y	5.79	10.73	3.94	5.87



Şekil 8. Yapıların enerji tüketim kapasitesi katsayılarının karşılaştırılması

Referans model ETK katsayısı x doğrultusunda 5,26, y doğrultusunda 5.79 olarak hesaplanmıştır. D-1 (ortada boşluk bulunan) model ETK katsayısı x doğrultusunda 3.86, y doğrultusunda 10.72 olarak hesaplanmıştır.

D-2 (\perp şeklindeki) model ETK katsayısı x doğrultusunda 2.72, y doğrultusunda 3.94 olarak hesaplanmıştır.

D-3 (+ şeklindeki) model ETK katsayısı x doğrultusunda 4.53, y doğrultusunda 5.87 olarak hesaplanmıştır.

4. Değerlendirmeler

Düzensizlik durumlarının olduğu D-1, D-2 ve D-3 modellerde yapıya gelen taban kesme kuvvetinin %10 ile %30 oranlarında azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte yapıların rijitliklerinde de %13 ile %28 oranlarında azalma görülmüştür. Düzensiz yapıların dayanımlarında görülmeden azalmadan dolayı bu tip yapılardan kaçınılmalı, dilatasyon yardımı ile yapı düzenli hale getirilerek tasarım yapılması önerilir.

İtme analizi ile elde edilen kapasite eğrisi kullanılarak yapıların deprem yükü azaltma katsayıları hesaplanmış ve yönetmeliğin önerdiği değerden farklı olduğu görülmüştür. Yapılar tasarlanırken analiz sonucu elde edilen deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak tekrar analiz yapılabilir. TBDY 2018'e göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı süneklik düzeyi yüksek çerçevesel taşıyıcı sistemlerde 8'den büyük alınamayacağından bu yapılarda ekstra güvenlik sağlayacağı görülmüştür.

Lineer olmayan yaklaşımla yapılan itme analizi ile yapıda oluşan hasar mekanizması görülebilmektedir. Bununla birlikte yapının tükettiği enerji miktarı da adım adım hesaplanabilir. Bu şekilde yapının lineer kısımda ve lineer olmayan kısımlarında istenildiği kadar enerji tüketmesi müdahale edilerek yapı davranışının istenildiği şekilde gerçekleşeceği düşünülmektedir. Enerji tüketim kapasitesi yapının sünekliği hakkında bilgi verdiği görülmüştür.

İtme analizi yeni yapıların tasarımında da kullanılarak gerçek davranışa daha yakın tasarımlar yapılabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça:

- [1] Krawinkler, Seneviratna, “Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation,” Journal of Engineering Structures, 1998.
- [2] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara Afet İşleri Müdürlüğü.
- [3] Nzapfakumunsi Alexis, T Tipi Plan düzensizliği olan batonarme yapıların Doğrusal olmayan Yöntemle Performansının değerlendirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Y Lisan tezi, 2018
- [4] FEMA and NEHRP, “ Pre-Syandart and Commentary, seismic Rehabilitation Of Building(FEMA-356)