

## BETONARME YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİNDEKİ DEĞİŞİKLİKLERİN YAPININ SÜNEKLİĞİNE VE DEPREM DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

\*<sup>1</sup>Hüseyin Kasap, <sup>2</sup>Mahmut Fikret Çam , <sup>3</sup>Necati Mert and <sup>4</sup>Yusuf Sümer

\*<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey

<sup>2</sup>Mahmut Fikret Çam, Bursa,Turkey

<sup>3</sup> Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey

<sup>4</sup> Faculty of Technology, Department of Civil Engineering Sakarya University of Applied  
Science, Turkey

### Öz

Bu çalışmada, betonarme yapılarda, taşıyıcı sistem değişikliklerinin deprem etkisi altında, plastik mafsallı teorisine göre yük arttırımı yöntemiyle itme (pushover) analizleri yapılarak söz konusu yapıların davranışları incelenmiştir.

Deprem aktivitesi yüksek olan bölgelerdeki betonarme yapıların itme (pushover) analizleri yapılarak yük-deplasman eğrileri elde edilmiş, deprem etkisi altındaki süneklik, rijitlik katsayıları ile yapıların davranışları hakkında belirli saptamalar yapılmıştır. Taşıyıcı sistemdeki kolon ve kirişlerin yanında perdelerin de kullanılmasıyla oluşan yapı titreşim periyotları ve yapı davranışları araştırılmış, yatay yüklerin artışı altında yatay deplasmanların değişimleri incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler ile betonarme yapılar tasarlanırken dikkat edilmesi gereken parametrelerle ilgili tavsiyeler verilmiştir.

İncelenen model yapıların her biri için itme analizleri ayrı ayrı yapılmış, hesap adımları belirlenmiştir. Sonrasında çıkan sonuçlara göre deprem etkileri altında söz konusu modellerin süneklikleri, rijitlikleri, deprem davranışları, taban kesme kuvvetleri gibi değerleri ele alınmış ve tartışılmıştır.

Sonuç kısmında ise, betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerinde perdelerin bulunmasının yapıların deprem davranışlarına etkileri ortaya konarak, yapıların süneklik katsayıları ve deprem yükü azaltma katsayıları gibi parametreler saptanmış ve bunlar tartışılarak sistemlerin dezavantajlı ve avantajlı yanları ortaya konmuştur.

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

### Abstract

In this work, responses of the subject concrete structures' carrier system modifications during affections of an earthquake were observed by increasing load methods with pushover analysis according to hinge theory.

Load displacement curves of concrete structures in regions that have high earthquake activity were

---

\* Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: caglar@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955752

obtained by using pushover analysis, and their ductility modulus under effect of an earthquake was determined. The vibration periods and structure responses were researched with different sizing of column and beam carrier systems, their horizontal displacement was observed under the effect of increased horizontal load. Significantly important parameter suggestions when designing a concrete building were given by the evaluations made with this work.

For each model structure that was observed in this work had it's pushover analysis and calculation treads separately. The results gathered for the related models responses and their plastic hinge area base shear force values under effect of an earthquake were addressed and discussed.

In the conclusion part, the effects of the presence of walls in the structural systems of the reinforced concrete structures on the earthquake behavior of the structures were determined and parameters such as ductility coefficients and earthquake load reduction coefficients of the structures were determined and these disadvantages and advantages of the systems were discussed.

**Key words:** Impulse analysis, pushover analysis, static impulse, concrete structures, ductility, earthquake responses of concrete structures, structure ductility.

## 1. Giriş (Introduction)

Yaşanılan depremler ile elde edilen tecrübeler ışığında ülkemizde de yönetmelikler zaman içerisinde değişmekte ve farklılıklar göstermektedir. Her yazılan yeni yönetmelikte yapıların güvenlik seviyeleri yukarılara çekilerek imalat, malzeme, denetim vb. hatalardan dolayı oluşabilecek tehlikelerin minimuma indirilmesi amaçlanmaktadır.

Yapıların deprem performansları çeşitli yöntemlerle belirlenebilir. Son yıllarda yapılar için performans konusu sıkça gündeme gelmiştir. Öz bir halde belirtmemiz gerekirse performans olgusu, yapılar için, talep edilen yer hareketinin karşılanıp karşılanmayacağı bilgisinin tartışıldığı ve çeşitli yöntemlerle en yakın sonuçlara ulaşılmaya çalışılarak kapasitesinin belirlenmesi şeklinde açıklanabilir.

Kullandığımız doğrusal hesap yöntemleri yapıların deprem anından sonraki hali hakkında çok net bir fikir vermemektedir. Bununla beraber, aynı yapının ardarda deprem etkisine maruz kaldığındaki durumunu da gösterememektedir. Bu noktaya gelindiğinde daha gerçekçi bir çözüm sunan yapıların elemanlarının ve kendinin sadece elastik değil, elastik ötesi davranışlarını da hesaba katan doğrusal olmayan hesap yöntemleri devreye girer.

Yapılarda, şekil değiştirmelerin kontrol altında tutularak, sabit düşey yüklemeler altında, yatay yüklerin orantılı olarak arttırılması esas alınarak yapılan doğrusal olmayan (non-linear) hesap yöntemine 'Statik İtme Analizi – Pushover Analizi' denir. [1]

Statik İtme Yöntemi, birden çok depreme maruz kalmış ve/veya henüz hiç depremle yüzyüze gelmemiş yapıların hangi bölgelerinde hasar olabileceği yada en çok hasarın ne çeşit bir senaryoda ortaya çıkabileceği konusunda ciddi bir çalışma sunar.

## 2. Materyal ve Yöntem (Materials and Method)

Mevcut yönetmeliklerde betonarme yapılar için, doğrusal (elastik) ve doğrusal olmayan (inelastik) başlıca iki analiz metodu bulunur. Doğrusal analiz metotlarında malzemenin sadece doğrusal sınırlar dahilinde kalan kapasitesinden yararlanırken, doğrusal olmayan analiz metotlarında ise malzemenin kalan ek kapasitesinden de faydalanılabilmektedir.

Sabit düşey yükler altında, yatay yükler orantılı olarak artırılarak yatay ötelenmeler meydana getirilir. Uygulanan yapı deprem sırasındaki gerçek davranışlara maruz bırakılır. Yük ve yer değiştirmelerin artmasıyla beraber elemanlarda ve yapıda elastik sınırların ötesinde, plastik şekil değiştirme davranışlarının meydana geldiği gözlenmeye başlanır. Bu değişim elemanlar sınırı (taşıma kapasitesi) değerlere ulaşana kadar devam eder. Bu yol izlenerek yapı, belli bir yanal ötelenmeye ulaşınca ve/veya elemanlar göçme şekil değiştirmesine ulaşınca dek itilmeye devam ettirilir.

Son noktada ulaşılan şekil değiştirme seviyesi, yapıda deprem sonrası oluşacak hasar seviyesini belirlemektedir. Bu aynı zamanda bize yapıda hangi kesitlerin en çok zorlandığını ve/veya deplasmana maruz kaldığını gösterdiği için o kesitlere yada yapıya güçlendirme ile müdahale edebilme yolunda fikir verir.

### 2.1. Statik İtme Analizi (Static Pushover Analysis)

Yapıların yatay yükler altındaki davranış özelliklerinin ve performanslarının anlaşılmasına yönelik olarak geliştirilen itme (pushover) analizleri, genel kapsamda yapıda adımlar halinde artırılan yatay yüklerin etkisinde rijitlik ile dayanım değişiminin yapı elemanlarındaki doğrusal olmayan davranış özellikleri dikkate alınarak hesaplandığı ve belirli performans değerleri için tariflendiği sayısal bir analiz yöntemidir.

İtme analizi metodunda genel olarak iki farklı hesap yöntemi bulunur. Bunlardan biri deplasman (yer değiştirme) kontrollü analiz iken diğeri ise yük (kuvvet) kontrollü analizdir. Deplasman kontrollü analiz yönteminde, yapı en üst katındaki belirli bir nokta istenilen yer değiştirme seviyesine (değerine) ulaşınca kadar yatay kuvvet etkisine maruz bırakılır. Bu yüklemeler belirli aralıklar ile adım adım artırılarak yapılır. Her bir adımda yapıda ve elemanlarında ortaya çıkan kuvvet-deplasman ilişkileri incelenir ve yapının ve/veya elemanlarının hasar düzeyleri belirlenerek kontrolü sağlanır. [3]

Mevcut bir yapı için uygulanabilen itme analizi yöntemi, yeni yapılacak bir yapının matematik modeli kurularakta analizlenebilir.

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

Çalışmada kullanılan yapı için tek modlu itme analizi yönteminin kullanım kriterleri TBDY – 2018 Bölüm 5.5.2. ve 5.6.2.’de aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

- İlk adımda düşey yükler altında artımsal itme hesabı yapılır. Bulunan iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler başlangıç adımı olarak kabul edilir.
- Katlara etkiyen deprem yükleri, düşey yüklerle yapılan hesaptan sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca değiştirilmeyen sabit mod şekli ile belirlenir.
- İkinci mertebeye etkilerinin sonuçları dikkate alınmalıdır.
- Tepe noktası yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti grafiği (itme eğrisi) elde edilir.
- Pushover (itme) 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.

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.

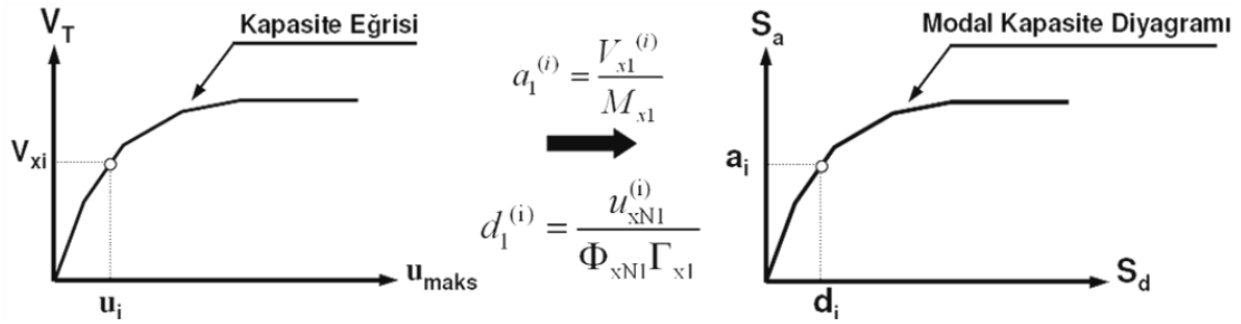
$\Gamma_n^{(X)}$  : (x) deprem doğrultusunda birinci titreşim modu için ilk itme adımında hesaplanan modal katkı çarpanı' dır.

$\Phi_{ix1}^{(1)}$  = 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 değiştirme 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 değiştirmeyi verir.

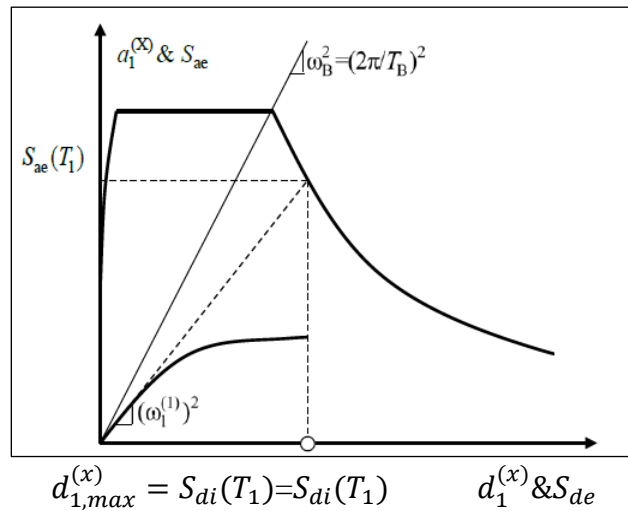
$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (2.7)$$

$C_R$  Spektral yer değiştirme oranını belirler. Akma dayanımı azaltma katsayısına bağlı 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 değiştirme  $S_{di1}$ , eşit yer değiştirme kuralına göre doğal periyodu yine  $T_1$  (1) olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme  $S_{de}(1)$ 'e eşit alınır. Dolayısıyla spektral yer değiştirme 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 değiştirme-modal yer değiştirme eğrisi

Spektral yer değiştirme 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  $a_{y1}^0$  (yaklaşık akma sözde

ivmesi) kullanılarak  $R_{y1} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}}$ ,  $C_r = \frac{(1+R_y-1)^{T_B}}{R_y} \geq 1$  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 değiştirme sınırına kadar artımsal olarak adım adım deprem yükü etki ettirilir. Yapıda oluşan plastik yer değiştirmeler, plastik dönmeler, iç kuvvet değişimleri birikimli olarak hesaplanır. Son adımda deprem istemine karşılık oluşan şekil değiştirmeler değerlendirilecek olan değerlerdir.

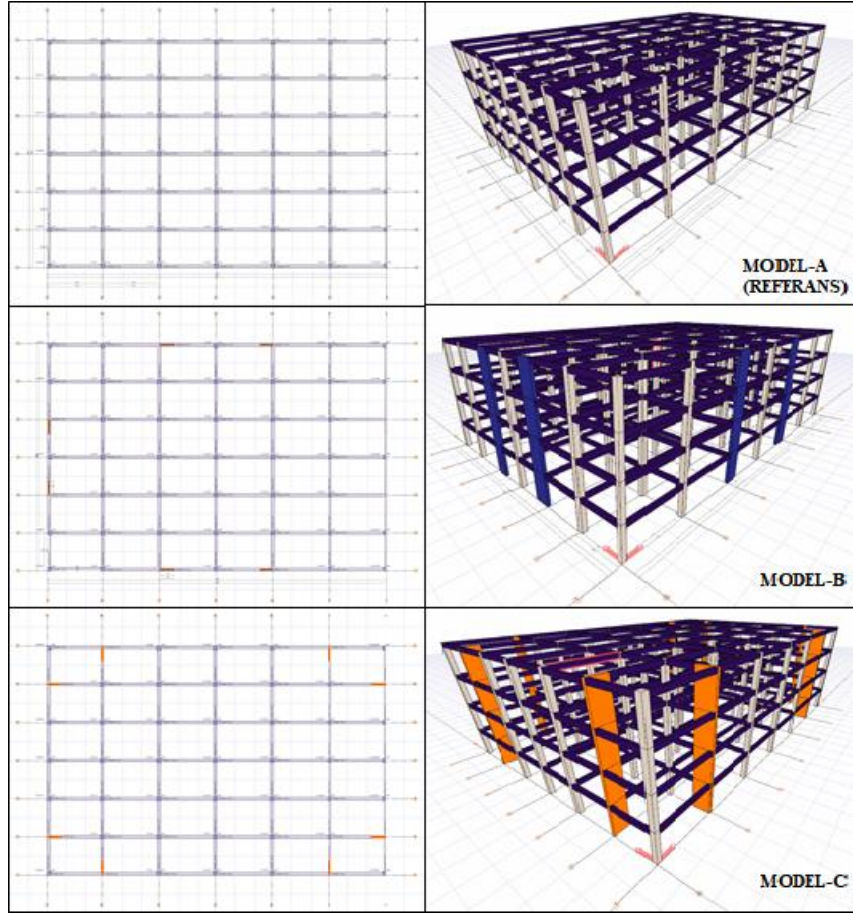
### 3. Yapı Modellerinin Tasarımı ve İtme Analizi Uygulaması (Design of Building Models and Application of Pushover Analysis)

Referans model ile beraber analizi yapılan yapı adedi 6 (altı) dır (Model-A(referans), Model-B, Model-C, Model-D, Model-E, Model-F) (Şekil 4. ve Şekil 5.). İncelenen her yapının taşıyıcı sistemlerine perdeler ilave edilerek, yapıların deprem davranışlarını, sünekliklerini ya da pushover (itme) eğrilerini değiştirebileceği öngörülen belli başlı bazı değişiklikler yapılmıştır.

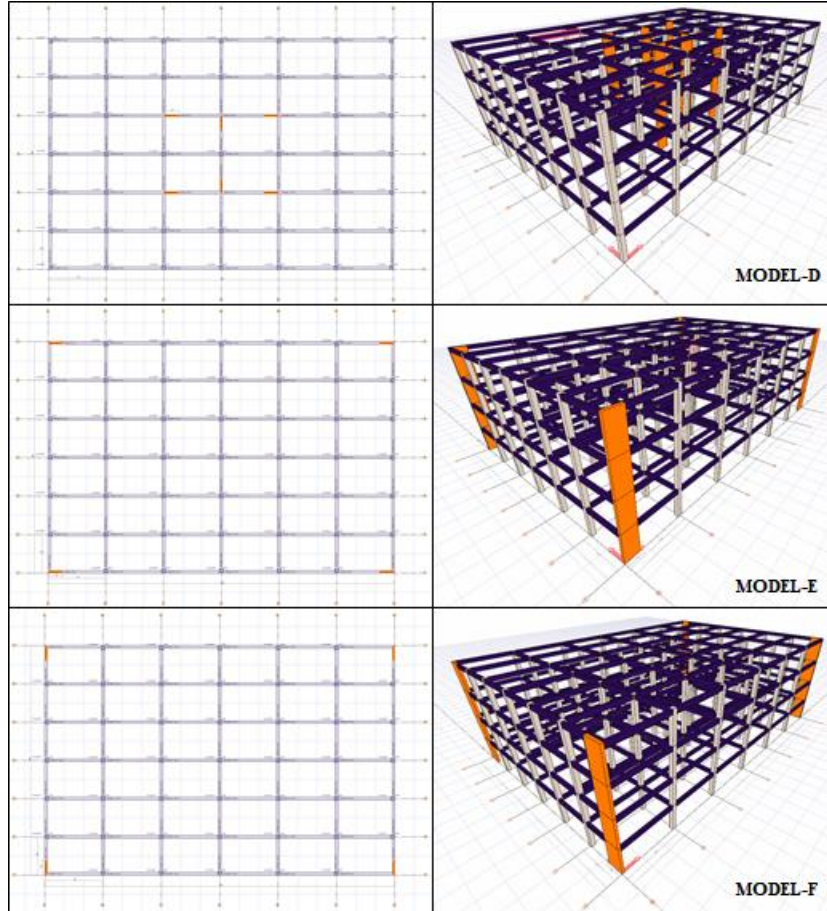
- Yapıların tamamı ile ilgili genel bilgiler aşağıdaki gibidir.
- Yapı kat sayısı: 4 kat
- Kat yüksekliği (h): Zemin ve normal katlar, 3 m.
- Yapının X doğrultusundaki toplam uzunluğu / aks sayısı: 36 m. / 7 aks
- Yapının Y doğrultusundaki toplam uzunluğu / aks sayısı: 24 m. / 7 aks
- Bina önem katsayısı (I): 1.0
- Yapı yüksekliği: 12 m.
- Zemin sınıfı: ZD (TBDY-2018)
- Deprem yükü azaltma katsayısı (R): Referans model için 8 perdeli modeller için 7 alınmıştır.
- Yapıda kullanılan beton sınıfı: BS 25/30
- Çelik sınıfı: St420 (Europe Rebar)
- Döşeme türü: Plak – Rijit diyafram
- Döşeme kalınlığı: 0,12 m.

Analizi yapılan yapıların Bursa ili Geçit mahallesinde olduğu kabul edilmiş olup AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılarak zemin bilgileri ve deprem bilgileri elde edilmiştir. (Enlem: 40.268827°, Boylam 28.953773°) Genel bilgiler;

$S_s=0,935$ ,  $S_1=0,243$ ,  $SDS=1,053$ ,  $SD1=0,514$ ,  $PGA=0,394$ ,  $PGV=23,543$

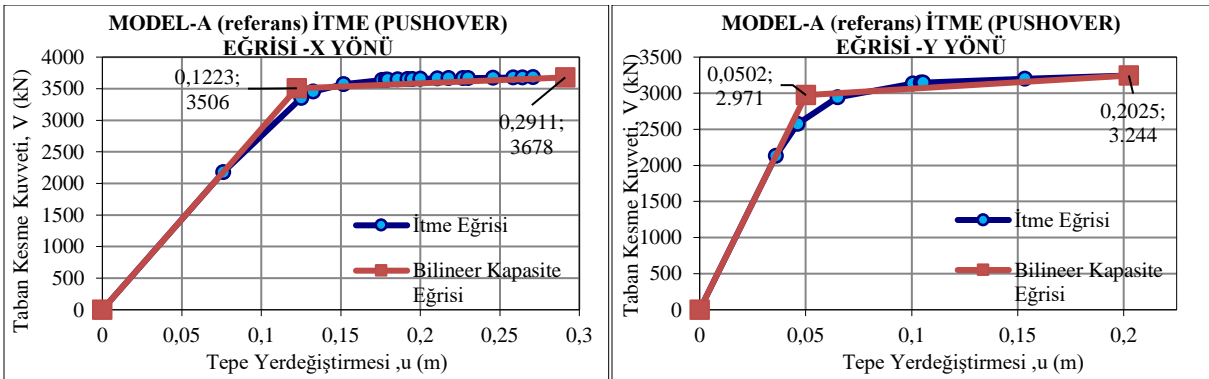


Şekil 4. Yapı modelleri



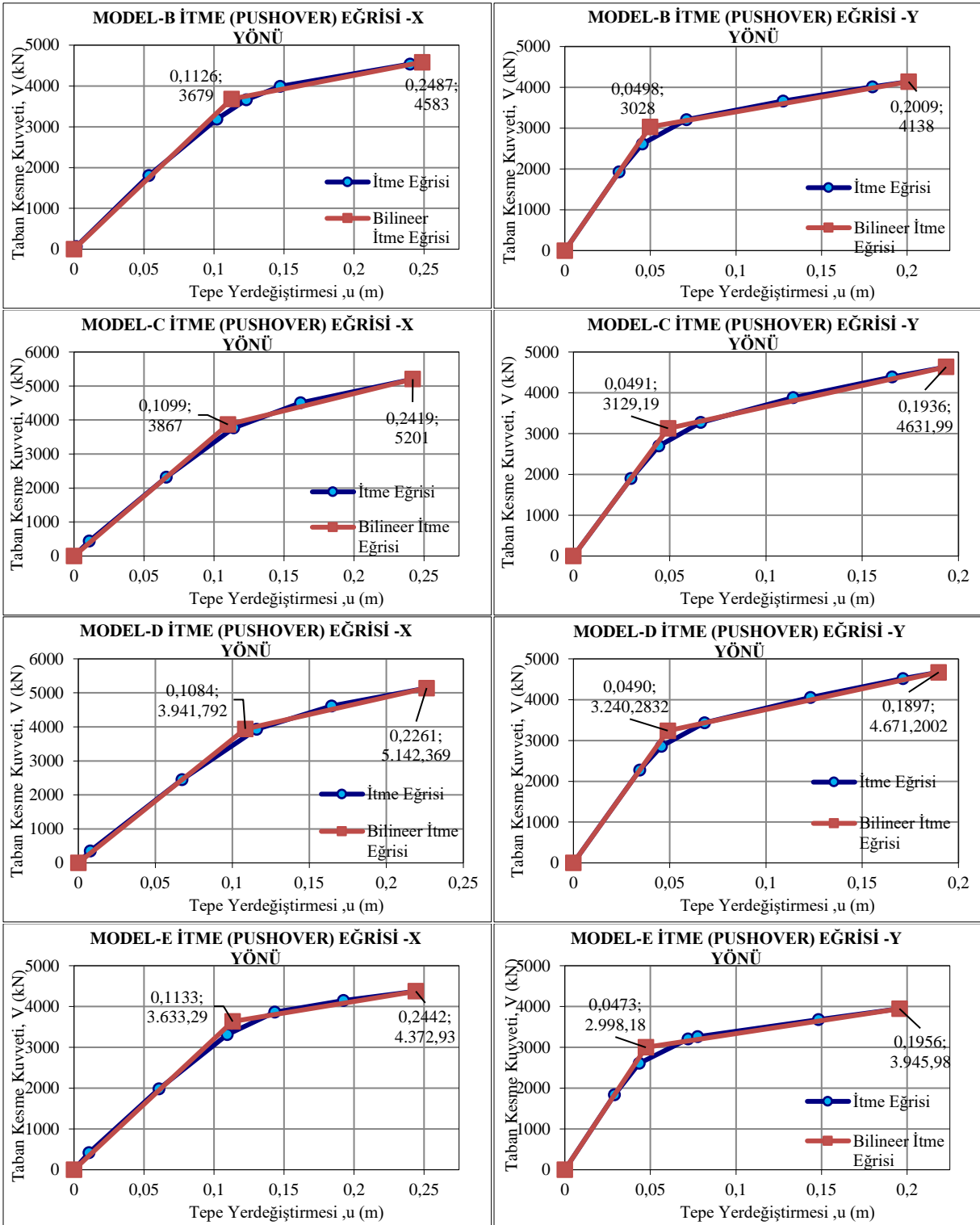
Şekil 5. Yapı modelleri (devamı)

Yapılan incelemeler ve analiz sonuçları ile elde edilen kapasite eğrileri ve yapı davranışı hakkında birçok sonuca varılabilir (Şekil 6., Şekil 7. ve Şekil 8.). Bu kapasite eğrileri ile yapıya gelen taban kesme kuvveti, yapının rijitliği, süneklığı, deprem yükü azaltma katsayısı ve enerji tüketim kapasiteleri bulunabilir.

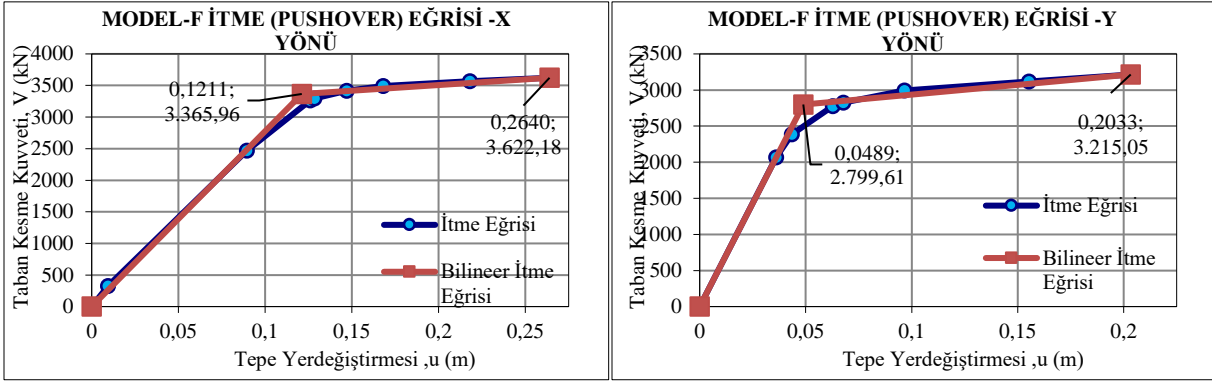


Şekil 6. Kapasite ve itme eğrileri





Şekil 7. Kapasite ve itme eğrileri (devamı)

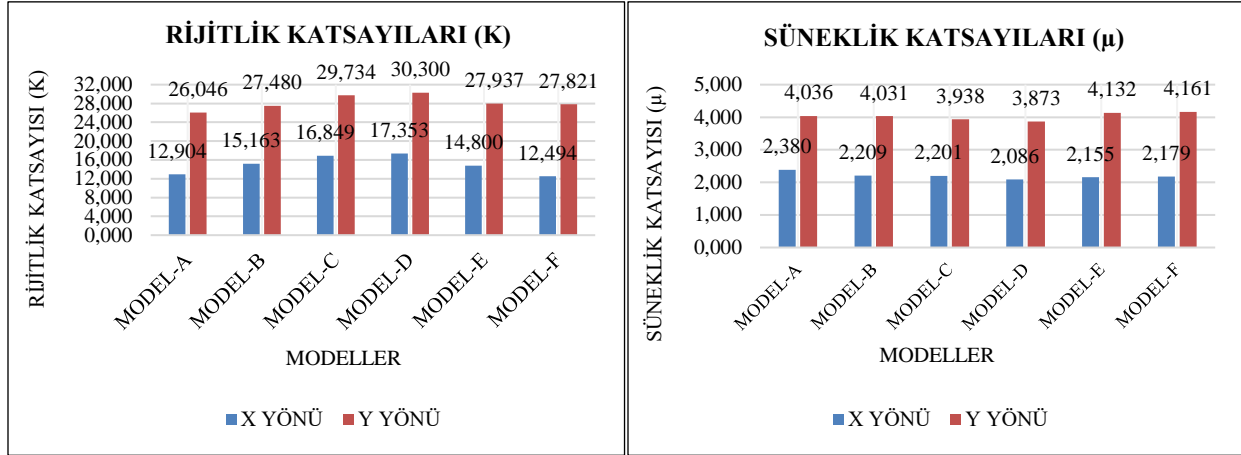


Şekil 8. Kapasite ve itme eğrileri (devamı)

Modeller için iki doğrultudaki tüm hesap sonuçlarına Tablo 1.' de yer verilmiştir.

Tablo 1. Tüm modeller için hesap sonuçları

		MODEL-A		MODEL-B		MODEL-C		MODEL-D		MODEL-E		MODEL-F	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
RIJİTLİK KTS.	K	12.904	26.046	15.163	27.480	16.849	29.734	17.353	30.300	14.800	27.937	12.494	27.821
SÜNEKLİK KTS.	μ	2.380	4.036	2.209	4.031	2.201	3.938	2.086	3.873	2.155	4.132	2.179	4.161
DAYANIM TALEBİ	FE	8344,92	11994,25	9736,28	12208,01	9772,10	12323,90	10395,83	12548,66	9611,71	12389,86	9233,38	11648,15
DAYANIM KAPASİTESİ	FY	3506,38	2971,84	3679,40	3028,75	3867,69	3129,19	3941,79	3240,28	3633,29	2998,18	3365,96	2799,61
DAYANIM AZALTMA KTS.	RY	2.380	4.036	2.646	4.031	2.527	3.938	2.637	3.873	2.645	4.132	2.743	4.161
TASARIM DAYANIMI	FD	2337,59	1981,23	2452,93	2019,17	2578,46	2086,12	2627,86	2160,19	2422,19	1998,79	2243,98	1866,41
DEPREM YÜKÜ AZALTMA KTS.	RA	3.570	6.054	3.969	6.046	3.790	5.908	3.956	5.809	3.968	6.199	4.115	6.241
ENERJİ TÜKETİM KAPASİTESİ KTS.	ETK	8,91	13,30	14,89	19,20	9,36	21,45	7,81	15,25	10,73	8,98	5,19	8,93



Şekil 9. Tüm yapıların rijitlik ve süneklik katsayılarının karşılaştırılması

Şekil 9.'da görüldüğü gibi Model-D yapısının rijitlik katsayısı diğer tüm modellere göre X ve Y yönlerinin ikisi için de daha büyüktür. Model-D yapısında sistemin ortasında toplanan 6 (altı) adet perdenin sistemin rijitliğine olan etkisi oldukça fazladır.

Model-C yapısının ise Model-D yapısına çok yakın seviyede rijitlik katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Model-B ve Model-E, X ve Y yönlerinde birbirlerine daha yakın rijitlik katsayı değerleri verirken, Model-F' nin ise Y yönünde, Model-B ve Model-E' ye yakın, X yönünde ise tamamı çerçeveli sistemlerden oluşan referans Model-A' dan bile daha düşük rijitlik katsayısı değeri vermesi, perdelerin yönlerinin yapıların o doğrultudaki rijitliklerini ciddi miktarda etkilediklerinin göstergesidir. Model-F için Y yönünde tertip edilen perdelerin yapının tamamının Y yönü rijitliğini arttırdığını, ancak X yönünde perde olmamasının o yönde yapının rijitliğinin çerçeveli sistemlerdeki çok yakın sonuçlar vermesine yol açmıştır.

Süneklik katsayılarının karşılaştırıldığı grafikte ise, rijitlik katsayılarının tam aksine bir eğri çıkması yapılan hesapların doğruluğunu kanıtlağığı gibi bununla beraber yapıların rijitlik ve süneklik katsayılarının birbirinin tersi yönde olduğunun açık göstergesidir.

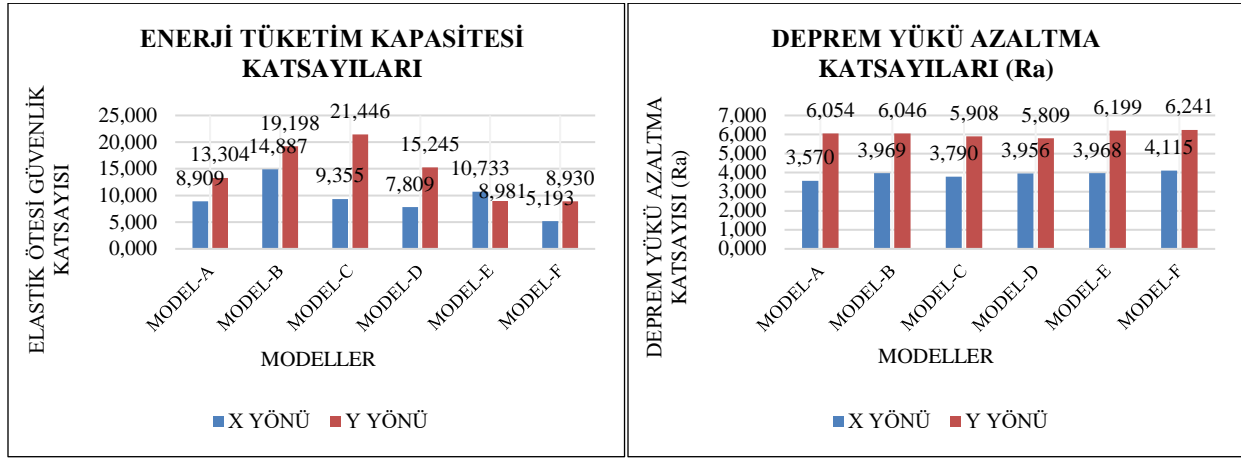
Referans Model-A için X yönündeki süneklik katsayısı diğer modeller ile kıyaslandığında elde edilen en büyük değerdir. Bu Model-A yapısının Y doğrultusuna göre daha geniş açıklıkların bulunduğu uzun kenar doğrultusunda (X yönü), daha sünek davrandığını gösterir. Bu veriden yola çıkarak, tamamı çerçevelerden oluşan yapıların daha sünek davrandığını söylemek doğru olur.

Tüm modellerin arasında Model-D en düşük süneklik katsayısına sahiptir. Şekil 9.'da görüldüğü gibi perdeli sistemlerde bulunan perdelerin yönü ve doğrultusu sistemin süneklik ve rijitlik katsayılarına doğrudan etkilidir. Model-D yapısı rijitlik olarak en büyük sonuçları iki yönde de verirken, süneklik olarak ta en düşük sonuçları vermiştir.

Sadece kenar akslarında X ve Y yönlerinde perde bulunan Model-E ve Model-F yapılarından ise Y yönünde en yüksek süneklik katsayıları elde edilmiştir. Bu sonuç gösterir ki perdeli sistemlerde perdelerin yerleştirildiği doğrultu ve akslar, sistemin tamamının rijitlik ve süneklik katsayılarına etki eder. Kimi zaman da tez çalışmamızda olduğu gibi sistem perdeli de olsa perde yönüne göre

daha sünek davranırken enerji yutma kapasitesini de arttırabilir.

Y yönü olan kısa kenar doğrultusunda ise aynı rijitlik katsayı grafiğinde olduğu gibi, uzun olan X yönüne göre kayda değer farklılıklar oluşmuştur. Tüm sistemler Y yönünde daha sünek ve daha rijit davranmışlardır. Bu da bize kareye yakın şekile sahip yapıların, dikdörtgen şekle sahip yapılara göre daha iki doğrultuda birbirine daha yaklaşık sonuçlar vererek daha tutarlı davranacağını gösterir.



Şekil 10. Tüm yapıların ETK ve DYA katsayılarının karşılaştırılması

Şekil 10.'da tüm yapı modellerinin enerji tüketim kapasite katsayıları ve deprem yükü azaltma katsayıları verilmiştir. Enerji tüketim kapasitesi (ETK), yapıda ilk mafsal oluşuktan sonra tüketilen enerjinin başlangıçtan ilk mafsal oluşana kadar tüketilen enerjiye oranıdır. Başka bir deyişle, yapıların hasar alarak gerçek deprem davranışlarına yaklaşmasıdır. İncelenen modellerde bu kapasite katsayıları ele alınarak hangi modelin daha fazla enerji tüketerek hasar aldığı saptanmıştır.

Y yönü incelendiğinde, Model-C' nin en büyük katsayıya sahip olduğunu bunun da yapının yük etkisi altındaki en büyük plastik şekil değiştirmeyi yaptığını gösterir. En az ise X yönünde köşelerde perdelerle sahip yapının (Model-E) olduğu görülür.

X yönüne baktığımızda ise en büyük enerji tüketim kapasitesinin Model-B' de olduğu görülür. Yani o yönde en çok plastik şekil değiştirme Model-B' de olur. Dış akslarında perdelerin olduğu sistemlerin enerji yutarken elastik ötesi davranışa da oldukça izin verdiği söylenebilir.

Model-E için de X yönündeki elastik davranış Y yönüne göre daha çoktur denilebilir.

Analizler sırasında programa TBDY-2018 [2]'e göre tanımlanan deprem yükü azaltma katsayıları (R) girilmiştir. Tamamı çerçeveli yapılar için R=8, perdeli yapılar için ise R=7 alınmıştır. Ancak yapılan analizler göstermiştir ki deprem yükü azaltma katsayısı her bir yapı ve o yapıdaki özel durumlar değerlendirilerek belirlenmelidir (Şekil 10.).

Ele aldığımız 6 model içinde Model-D en küçük, R=5,809 olarak bulunmuştur. Analizlerden önce tüm perdeli sistemlerde 7 olarak kabul ettiğimiz R katsayısı için X yönü ve Y yönü olmak üzere

gerçekte alınması gereken R değerleri belirlenmiştir.

Belirlenen değerler Model-E ve Model-F için diğer tüm modellerden iki yönde de daha büyük çıkmıştır.

#### 4. Değerlendirmeler

Çalışma kapsamında betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerindeki değişikliklerin yapıların sünekliğine ve deprem davranışlarına etkisi incelendi. Bu bölümde tartışılan tüm grafikler göstermiştir ki, perde sayısı ve yönlerinin yapının rijitliğine katkısı oldukça fazladır. Çerçeve sistemlerdeki açıklıkların ve yapıların şekillerinin yapının sünekliğe ve elastik ötesi davranışına etki eder. R katsayısı her yapı sistemi seçilirken mevcut yönetmelikler gereği ele alınan yerine, sistem analizi yapıldıktan ve yapının gerçek deprem davranışına yakın davranışı belirlendikten sonra kabul edilmelidir.

Yapılan analizler ve çalışmalar göstermiştir ki, yapılar modellenirken aks açıklıkları iki yönde de olabildiğince aynı olmalı, model geometrisi korunarak kolon, perde ve kirişler yerleştirilmelidir. Perdeli sistemlerde perdeler yapıya düzenli bir şekilde dağılmalıdır. Eğer yapı rijitliği ön planda tutulmak isteniyorsa perdeler yapının merkezinde ve çift yönlü olmalı, rijitliğin ve sünekliğin dengelendiği bir sistem kurulmaya çalışılıyorsa perdeler dış akslarda ve iki yönde de çalışacak şekilde olmalıdır. Yapılarda tek yönde kullanılan perdeler sadece o yönde değerleri değiştiren diğer yöne bir katkı yapmamaktadır. Yapı geometrisinin simetriğe yakın olduğu sistemler deprem etkileri altında iki yönde de birbirine yakın şekilde davranacağından yapı sistemlerinin bu şekilde kurulması yaklaşımı daha doğru olacaktır.

#### *Kaynakça:*

- [1] Kesim, B. 2005. Statik itme analizi yöntemiyle mevcut bir betonarme yapının analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [2] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara Afet İşleri Müdürlüğü.
- [3] Altunışık, A.C., Ateş, Ş., Adanur, S., İnşaat mühendisliğinde SAP2000 uygulamaları, Dynamic Academy Yayınları, 978-605-81854-1-8 / 40023.
- [4] Aktan, S., Kırac, N. 2009. Betonarme Binalarda Perdelerin Davranışa Etkileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXIII, Sayı:1, 2010.
- [5] Arslan, M.H., Köroğlu, M.A., Köken, A., Binaların yapısal performansının statik itme analizi ile belirlenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2008 (2) 71-84.