
Araştırma Makalesi / Research Article

Betonarme Yapılarda Kullanılan Malzeme Modellerinin Karşılaştırılması

Ercan IŞIK^{1*}, Mesut ÖZDEMİR², İbrahim Baran KARAŞİN³, Abdülhalim KARAŞİN³

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis

²Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis

³Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

(ORCID: 0000-0001-8057-065X) (ORCID:0000-0003-0769-5098)

(ORCID: 0000-0001-5990-1215) (ORCID: 0000-0002-8802-0588)

Öz

Malzeme modelleri yapıların sismik analizlerinde önemli rol oynamaktadır. Literatürde, betonarme yapılarda kullanılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkisini tanımlamak için çeşitli malzeme modelleri bulunmaktadır. Beton ve çelik gibi iki farklı yapı malzemesinin bir arada kullanılması ile elde edilen betonarme yapılarda malzeme modelleri ayrı bir öneme sahiptir. Hem beton hem de çelik için kullanılan farklı malzeme modellerinin karşılıklı etkileşimi çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Çalışmanın amacı betonarme yapılarda kullanılan farklı malzeme modellerinin birbirleri ile uyumlu olup olmadığını kontrol etmektir. Bu çalışmada dörder farklı beton ve çelik malzeme modeli dikkate alınarak seçilen iki katlı betonarme bir yapı için hesaplamalar yapılmıştır. Her bir malzeme modeli için X ve Y doğrultularında taban kesme kuvveti – deplasman eğrileri elde edilmiştir. Çalışmada dikkate alınan malzeme modelleri hakkında bilgiler verilmiştir. Farklı malzeme modelleri arasında bir uyum olduğu gözlemlenmiştir. Bu malzeme modellerinin birlikte kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Beton, Çelik, Malzeme Modeli, Performans, Statik İtme Eğrisi

Comparison of Material Models Used in Reinforced Concrete Structures

Abstract

The material model takes a significant role in the seismic analysis of structures. There are several material models in the literature to define the stress-strain relationship of material that used in reinforced concrete buildings. The reinforced concrete has a particular importance in terms of its material models as it is obtained with the use of two different construction materials together such as concrete and steel. The mutual interaction of the different material models for both of concrete and steel comprises of the study's subject. The goal of study is to control whether the material models which are used in the reinforced-concrete structures are in compatible with each other or not. In this study, calculations are made for a two-story structure, taking four different concrete and steel models into account. For each model, displacement amount for X and Y axes and base shear force-displacement graphs are drawn. The obtained values are compared and suggestions are made.

Keywords: Concrete, Steel, Material Model, Performance, Pushover

1. Giriş

Yapıların tasarımı ve değerlendirilmesi gerçekleştirilirken yapı malzemelerinin yük altındaki davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Yapı malzemelerinin yük altındaki davranışları matematiksel modeller yardımı ile yapılmaktadır. Literatürde malzemeler ile ilgili matematiksel modeller yaygın olarak bulunmaktadır. Matematiksel modelleme yapılırken malzemeye ait gerilme – şekil değiştirme (σ - ϵ) ilişkisinden faydalanılmaktadır. Gerilme - şekil değiştirme ilişkisi de gerilme veya kuvvete bağlı elde edilen denge denklemleri ve malzemede meydana şekil değişikliklerinin ifade edildiği uygunluk

*Sorumlu yazar: eisik@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 31.01.2019, Kabul Tarihi: 22.07.2019

denklemleri arasında oluşturulan bağlantılar ile ilişkilidir. Denge ve uygunluk denklemleri malzeme özelliklerinden bağımsız olarak elde edilmektedir. Bunlar ile ilgili çözümler yapılırken malzemenin gerilme şekil değiştirme ilişkisinin doğruluğuna bağlı olarak hata payı değişmektedir. Dolayısıyla çözümlerini kolaylaştırmak adına (σ - ϵ) eğrileri idealize edilerek basitleştirilmektedir. Basite indirgenerek yapıların tasarımında ve değerlendirilmesinde kullanılan (σ - ϵ) eğrilerine matematiksel model denilmektedir. Beton ve çelik ile ilgili mukavemet problemleri çok değişkenli olduğundan bu malzemelerin yük altındaki davranışı için de matematiksel modellere ihtiyaç duyulmaktadır [1-3].

Beton ve çelik gibi malzeme özellikleri farklı iki yapı malzemesinin bir araya gelmesinden oluşan betonarme yapılarda malzeme modelleri önemli bir yer tutmaktadır. Hem beton hem de çelik için kullanılan birçok malzeme modeli mevcuttur. Bu malzeme modelleri arasındaki ilişki ile çalışmalar çok kısıtlıdır. Bu çalışmada hem beton hem de çelik için değişik araştırmacılar tarafından önerilen malzeme modellerinin birbirleri ile karşılıklı etkileşimi ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan her bir malzeme modeli hakkında bilgiler verilmiştir.

Herhangi bir malzeme için gerilme – şekil değiştirme ilişkisinin bilinmesi inşaat mühendisliği tasarım ve değerlendirme esnasında yapı güvenliği hesaplamalarında çok önemlidir. Gerilme – şekil değiştirme ilişkisi genel olarak malzeme modelleri ile ifade edilmektedir. Hem beton hem de çelik için çeşitli malzeme modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, Mander vd. [4], İlki vd. [5], Chang ve Mander [6] ile Kappos- Konstandinis [7] olmak üzere dört farklı beton malzeme modeli kullanılmıştır. Çelik malzeme modelleri olarak da iki doğrultulu çelik modeli (stl_bl) [8], Menegetto-Pinto çelik modeli (stl_mp) [9], Monti-Nuti çelik modeli (stl_mn) [10] ile Dodd-Restrepo çelik modeli (stl_dr) [11] olmak üzere dört farklı seçim yapılmıştır. Her bir beton malzeme modeli için farklı çelik modelleri seçilerek hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca her bir çelik malzeme modeli için de farklı beton malzeme modelleri seçilerek hesaplamalar ayrıca yapılmıştır. Çalışmada her bir malzeme modelinin birbirleri ile karşılıklı etkileşimi ortaya konmaya çalışılmıştır. Seçilen örnek bir betonarme yapı için farklı malzeme modelleri kullanılarak hem X hem de Y doğrultusu için statik itme eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak öneriler yapılmıştır. Çalışmada ayrıca dikkate alınan malzeme modelleri hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. Betonarme yapıların tasarımı ve değerlendirilmesi için gerilme – şekil değiştirme ilişkisinin bilinmesi önem arz etmektedir.

2. Materyal ve Metot

Dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak kullanılan malzemelerden biri betonarmedir. Betonarme, beton ve çelik gibi iki farklı yapı malzemesinin birlikte çalışması sonucu oluşan bir yapı malzemesidir. Çelik ve betonun yük altındaki davranışları birbirlerinden farklıdır. Bu da her iki malzeme için gerilme ve şekil değiştirme ilişkilerinin farklı olması sonucunu doğurmaktadır. Dolayısıyla betonarme yapılar için yapılacak hesaplamalarda hem beton hem çelik için farklı malzeme modelleri kullanılmaktadır [12,13]. Beton ve çelik için farklı şekillerde malzeme modelleri literatürde yer almaktadır. Bu çalışmada çelik ve beton için farklı malzeme modelleri dikkate alınmıştır.

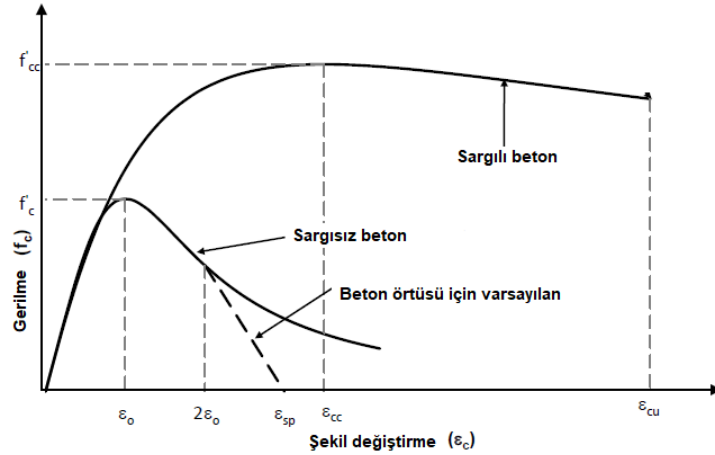
2.1. Çalışmada kullanılan beton modelleri

Bu çalışmada, Mander vd. [4], İlki vd. [5], Chang ve Mander [6] ile Kappos- Konstandinis [7] tarafından önerilen modeller olmak üzere dört farklı beton malzeme modeli kullanılmıştır. Seçilen bu malzeme modelleri yapı analizlerinin yapılacağı yazılım programı veri tabanında yer alan modellerdir.

2.1.1. Mander vd. doğrusal olmayan beton modeli (con_ma)

Bu model tek eksenli, sabit sargı modeli olup Mander vd. [4] tarafından ortaya konulmuştur. Bu model, statik ve dinamik eksenel sıkıştırma yükü altında dairesel ve dikdörtgen kesitler ile sınırlandırılmıştır [14]. Yatay sargı donatısı tarafından sabit bir sargı etkisi sağlamakta ve belirlenen kurallara göre hesaplanan bu gerilmenin bütün gerilme-birim şekil değiştirme boyunca aynı olduğu kabul edilmektedir. Bu modelin tanımlanmasında betonun basınç mukavemeti (f_c), çekme mukavemeti (f_t), en büyük gerilmedeki birim şekil değiştirme, elastisite modülü (E_c) ve öz ağırlık değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır [8]. Türk Deprem Yönetmeliğinde bu malzeme modeli kullanılmıştır [15]. Bu modelde, moment-eğrilik ilişkileri, nihai deformasyon kriterleri ve plastik mafsal boyu ($L_p = h/2$) kullanılarak her bir elemanın

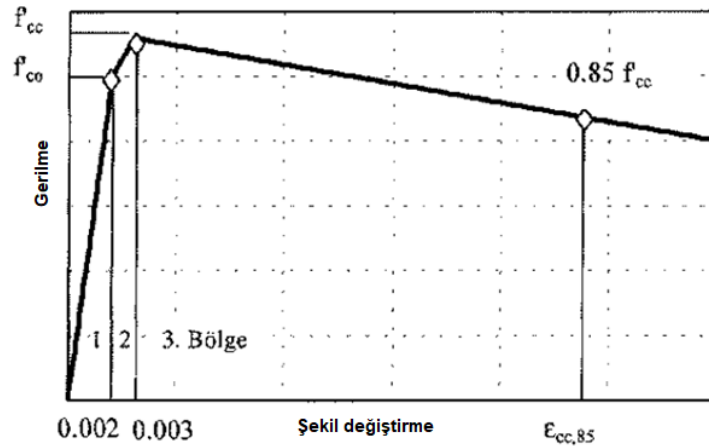
plastik dönme kapasitesi ve mafsal özellikleri belirlenmiştir [16]. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Mander vd. tarafından önerilen sargılı ve sargısız betonlar gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [17]

2.1.2. Üç doğrulu beton modeli (con_tl)

Bu model; basitleştirilmiş, tek eksenli, üç doğrulu bir beton modelidir. Bu modelde betona ait beş farklı mekanik özelliğin kalibrasyonu dikkate alınmıştır. Bunlar, basınç mukavemeti (f_{c1}), ilk rijitlik (E_1), pik sonrası rijitlik (E_2), kalan (nihai) mukavemet (f_{c2}) ve özağırlık değerleridir [8]. Bu modelde davranış üç ayrı bölgede incelenmektedir. Birinci bölge 0.002 eksenel kısılma şekil değiştirmesine kadar bir doğru ile tanımlanmakta ve 0.002 eksenel kısılmada sargılanmış betonda gerilmenin sargılanmamış eleman beton dayanımına eşit olduğu kabul edilmektedir [5]. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir.

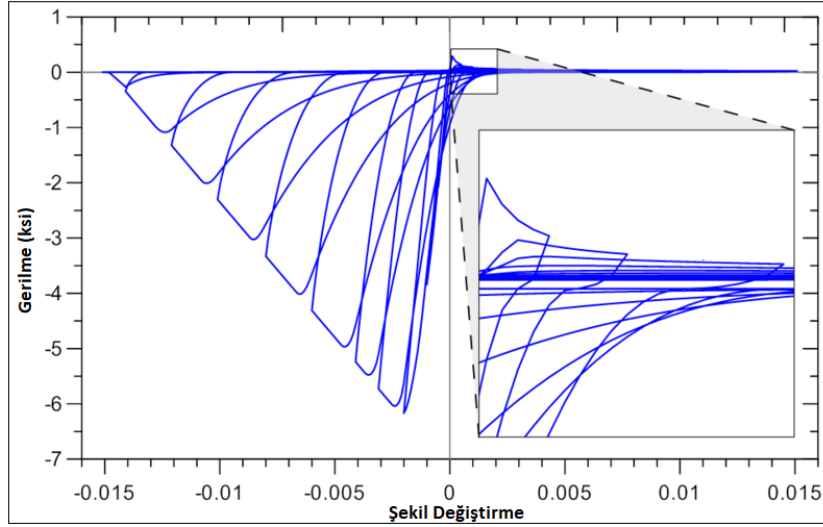


Şekil 2. Üç doğrultulu beton modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

2.1.3. Chang-Mander doğrusal olmayan beton modeli (con_cm)

Chang ve Mander’in (1994) tarafından geliştirmiş beton modelidir [6]. Bu beton modeli, ani çatlak kapanması sonucu kesit modüllerinde ani değişiklikler içeren diğer modellere nazaran, çatlak açılma-kapanma sırasında gerilme-birim şekil değiştirme davranışında geçişlere özel bir önem vermektedir. Çekme altındaki beton davranışı, basınç altında da olduğu gibi, tekrarlı bir davranışa sahip olup modele ait basınç ve çekme zarflarıysa orijindeki gerilme-birim şekil değiştirme davranışının eğimini ve aynı davranışın artan ve azalan kısımlarını (ör: pik-öncesi ve pik-sonrası kısımlar) kontrol etmektedir. Bu modelde sekiz adet parametre bulunmaktadır. Bu parametreler; betonun basınç mukavemeti (f_c), çekme mukavemeti (f_t), elastisite modülü (E_s), en büyük basınçta birim kısılma, en büyük çekme

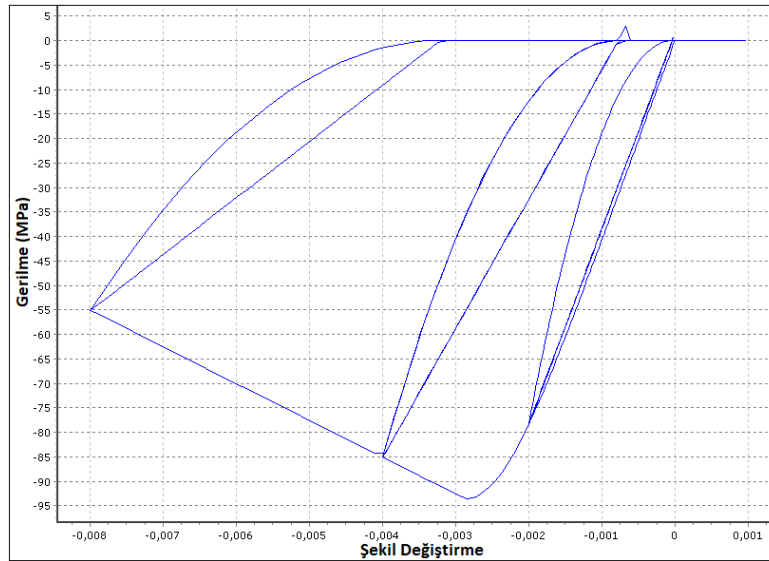
gerilmesindeki birim uzama, boyutsuz kritik basınç kısalması (X_{cr-}), boyutsuz kritik çekme uzaması (X_{cr+}) ve öz ağırlıktır [8]. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Chang ve Mander beton modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [18]

2.1.4. Kappos ve Konstantinidis doğrusal olmayan beton modeli (con_hs)

Yüksek dayanımlı betonlar için Kappos ve Konstantinidis (1999) tarafından geliştirilmiş ve programlanmış, tek eksenli, doğrusal olmayan ve sabit sargı etkisine sahip bir modeldir [7]. Nagashima et al. (1992) tarafından önerilen konstitütif ilişkiyi kullanır ve istatistiksel olarak kalibrasyonu da yelpazesi çok geniş olan bir deneysel veriye göre yapılmıştır [19]. Enine donatı tarafından sağlanan sargı etkisi değiştirilmiş Sheikh ve Uzumeri (1982) faktörüyle (sargı etkisi katsayısı) ele alınmaktadır [20]. Bütün gerilme-birim şekil değiştirme tanım aralığı boyunca sabit bir sargı etkisinin varlığı kabul edilir. Bu modelde betonun basınç mukavemeti (f_c), çekme mukavemeti (f_t), elastisite modülü ve öz ağırlık parametreleri modeli tanımlayabilmek için gereklidir [8]. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Kappos ve Konstantinidis beton modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

Çalışmada ele alınan beton malzeme modelleri için kullanılan değişkenler ve değerler Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan beton malzeme modellerinin karşılaştırılması

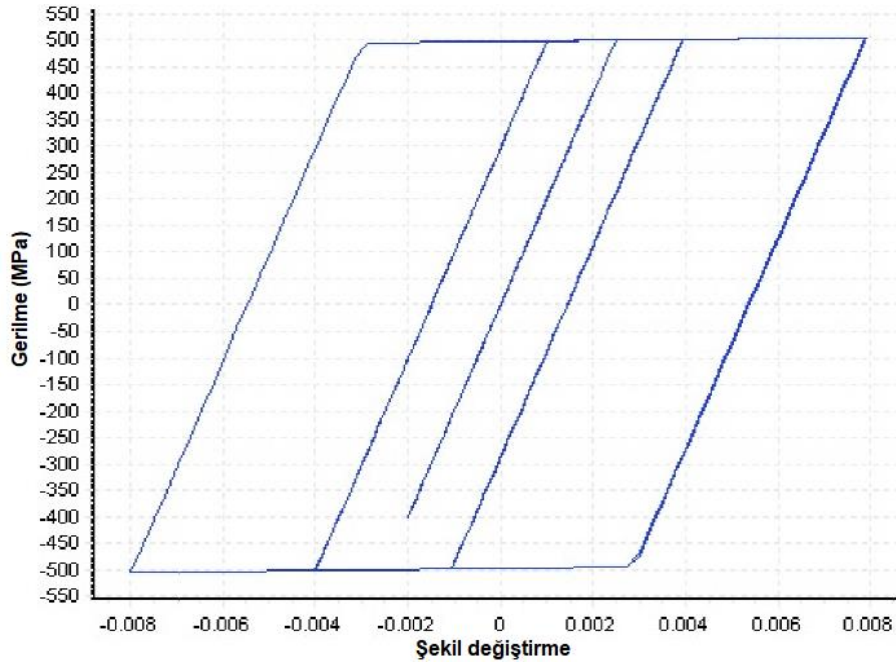
Malzeme Modeli	Mander vd.		Üç Doğrultulu		Chang-Mander		Kappos- Konsantinidis	
	Tipik Değerler	Varsayılan Değer	Tipik Değerler	Varsayılan Değer	Tipik Değerler	Varsayılan Değer	Tipik Değerler	Varsayılan Değer
Basınç mukavemeti – f_{c1} (kPa)	15000-45000	28000	15000-45000	28000	15000-45000	28000	50000-12000	78000
İlk rijitlik – E_1 (kPa)	---	---	1.50E+07-3.00E+07	2.00E+07	---	---	---	---
Pik sonrası rijitlik – E_2 (kPa)	---	---	5.00E+06- 3.00E+07	1.00E+07	---	---	---	---
Kalan mukavemet – f_{c2} (kPa)	---	---	5000-15000	5000	---	---	---	---
Öz ağırlık - (γ) (kN/m ³)	24	24	24	24	24	24	24	24
Çekme mukavemeti – f_t (kPa)	2000-3000	2200	---	---	---	2200	---	4600
Elastisite modülü (E_c) (MPa)	18000-30000	24870	---	---	10000-30000	22960	35000-45000	40742
En büyük basınçta kısılma – ϵ_c	0.002 -0.0022	0.002	---	---	0.002 -0.0022	0.002	---	---
En büyük çekmede uzama – ϵ_t	---	---	---	---	0.0002 -0.00022	0.0002	---	---
Boyutsuz kritik basınç kısılması - r	---	---	---	---	1.1-1.5[-]	1.3[-]	---	---
Boyutsuz kritik çekme uzaması – X_{CR}	---	---	---	---	1-5[-]	3[-]	---	---

2.2. Çalışmada Kullanılan Çelik Modelleri

Bu çalışmada, iki doğrulu çelik modeli (stl_bl) [8], Menegetto-Pinto çelik modeli (stl_mp) [9], Monti-Nuti çelik modeli (stl_mn) [10] ile Dodd-Restrepo çelik modeli (stl_dr) [11] olmak üzere dört farklı malzeme modeli dikkate alınmıştır. Modellerin tamamı yazılım programı içerisinde yer almaktadır.

2.2.1. İki doğrulu çelik modeli (stl_bl)

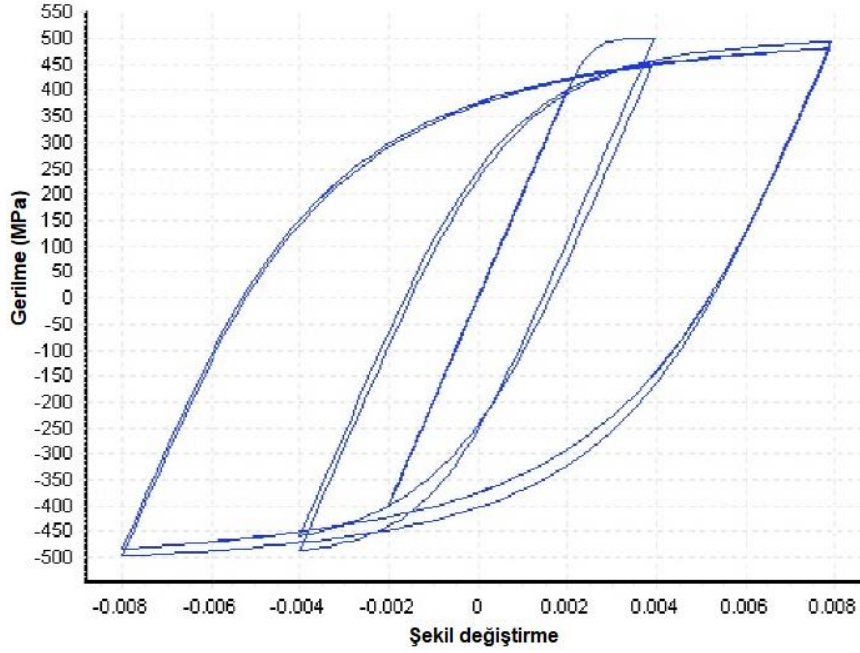
Çalışmada kullanılan bu model, iki doğrulu, tek eksenli kinematik pekleşmeli gerilme-şekil değiştirme modelidir. Bu modelde, elastik kısım değişik yüklemelerde aynı kalmakta ve çeliğin akmasından sonra pekleşme kuralı gereği akma yüzeyi birim plastik deformasyon artırımı ile doğrusal orantılı olduğu kabul edilmektedir. Bu bir temel model olup, hesaplama verimliliği ve değişkenleri kolaylıkla ayarlanabilen bir modeldir. Çelik yapılarda ve betonarme yapılarda kullanılabilir. Model, çok basit bir formülasyona sahip olmasından dolayı yük tersinimlerinin ciddi olduğu betonarme yapılarda kullanılması uygun olmamaktadır [8]. Elastisite modülü (E_s), akma dayanımı (f_y), pekleşme değişkeni (μ), kopma/burkulma-birim şekil değiştirmesi (ϵ_{ult}) ve öz ağırlık (γ) olmak üzere beş farklı değişken ile mekanik özellikler ifade edilmektedir. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. İki doğrulu çelik modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

2.2.2. Menegetto-Pinto çelik modeli (stl_mp)

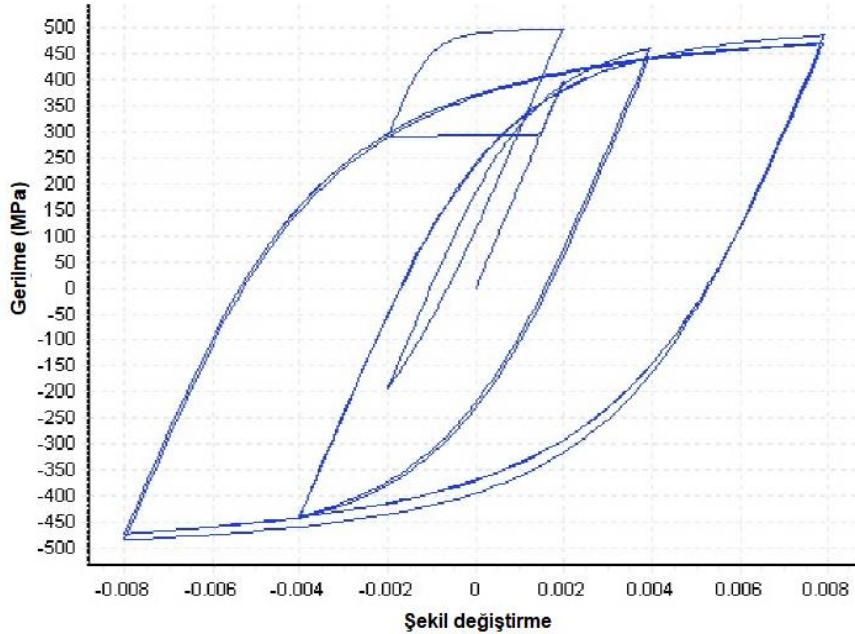
Bu tek eksenli bir çelik modeli olup ilk olarak Yassin [21] tarafından Menegetto-Pinto [9] tarafından önerilen basit ama etkili bir gerilme-şekil değiştirme ilişkisi temelinde programlanmıştır. Programlanan bu model Filippou vd. [22] tarafından tanımlanan izotropik pekleşme kuralları ile birleştirilmiştir. Programlanan uygulama Monti vd [10] çalışmasında belirtildiği gibidir. Modele, Fragiadakis vd. [23] tarafından ilave bir kural önerilmiştir. Betonarme yapılarda uygulaması sınırlı olmakla birlikte, yük tersinimlerinin var olduğu yüklem karmaşıklıklarının bulunduğu hallerde kullanılması daha uygun olmaktadır. Nervürlü betonarme çeliği için düşünülmüş ise de malzeme parametrelerinin doğru kalibrasyonunun sağlanması ile düz betonarme donatısı içinde kullanılabilir [24-26]. Bu modelde on farklı kalibrasyon değişkeni bulunmaktadır. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Menegetto-Pinto çelik modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

2.2.3. Monti-Nuti Çelik modeli (stl_mn)

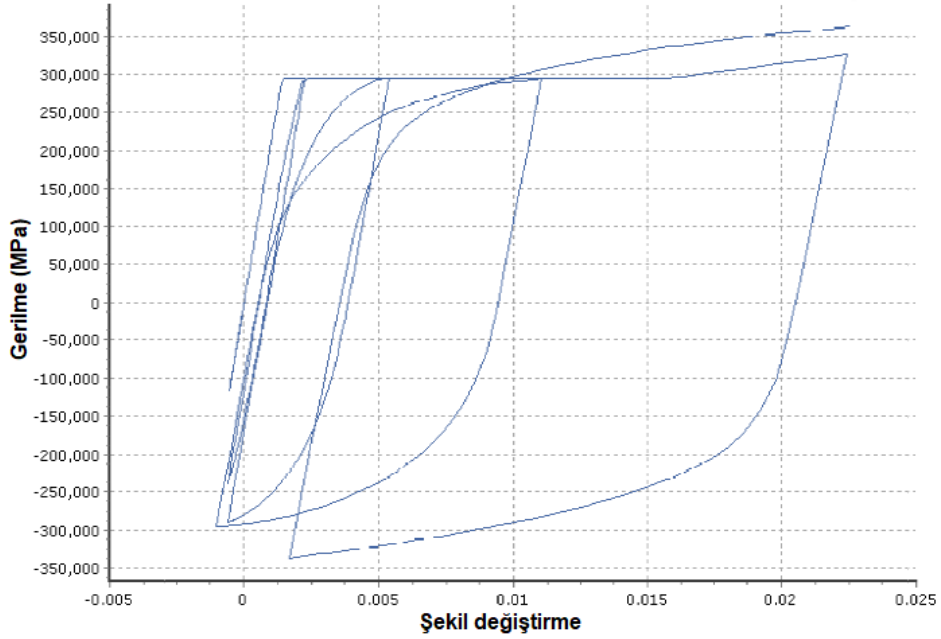
Bu model ilk defa Monti vd. (1996) tarafından programlanmıştır [10]. Bu modelde basınç etkisindeki betonarme çeliklerinin elastik sonrası burkulmasını modelleme imkanına sahiptir. Model, Menegetto-Pinto(1993) [9] tarafından önerilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, Filippou vd. (1983) [22] tarafından önerilen izotropik pekleşme ve Monti-Nuti (1992) tarafından önerilen burkulma kurallarının tümünü içermektedir [27]. Fragiadakis vd. (2008) tarafından geçici deprem yüklemesi esnasında kararlılık ve doğruluğu arttırmak adına ilave bir kural eklenmiştir [23]. Menegetto-Pinto çelik modelinde olduğu gibi nervürlü betonarme çeliği için düşünülmüş ise de malzeme parametrelerinin doğru kalibrasyonunun sağlanması ile düz betonarme donatısı içinde kullanılabilir [24]. Bu modelde on farklı kalibrasyon değişkeni bulunmaktadır. Bu model için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Monti - Nuti çelik modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

2.2.4. Dodd – Restrepo çelik modeli (stl_dr)

Tek eksenli olarak modellenen çelik malzeme modeli ilk olarak Dodd ve Restrepo tarafından ortaya konmuştur [11]. Yük boşaltma modülü plastik birim şekil değiştirme değerine bağlı iken sonuç birim uzaması yalnızca sınır birim kısılma değerine bağlıdır. Malzeme modelinin tanımlanabilmesi için sekiz farklı değişkene ihtiyaç duyulmaktadır [8]. Bu model, herhangi bir gerilme adımındaki eksenel şekil değiştirmeyi doğru bir şekilde tahmin etmek için iki koordinat dönüşümüne dayanmaktadır. İlk koordinat dönüşümünden sonra, dönüştürülmüş gerilme ve şekil değiştirme eğrileri hemen hemen aynıdır, hesaplamaları basitleştirir. İkinci koordinat dönüşümü, betonarme çeliğinin spesifik malzeme özelliklerine göre eğriyi normalleştirir [28,29]. Bu modele ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Dodd-Restrepo çelik modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [8]

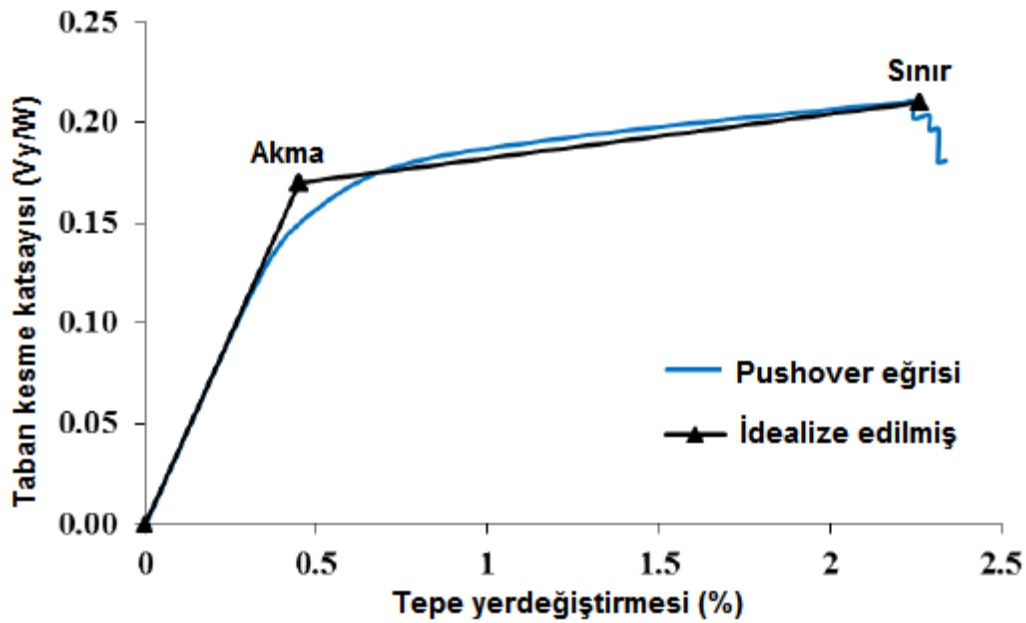
Çalışmada ele alınan dört farklı çelik malzeme modeli için kullanılan değişkenler ve değerlerin karşılaştırılması Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. Çalışmada dikkate alınan çelik malzeme modellerinin karşılaştırılması

Malzeme Modeli	İki Doğrulu		Menegetto-Pinto		Munt-Nuti		Dodd-Restrepo	
	Tipik	Varsayılan	Tipik	Varsayılan	Tipik	Varsayılan	Tipik	Varsayılan
Malzeme Özellikleri								
Elastisite Modülü (E_s) (kPa)	2.00E+08 - 2.1E+08	2.00E+08	2.00E+08 - 2.1E+08	2.00E+08	2.00E+08 - 2.1E+08	2.00E+08	2.00E+08 - 2.1E+08	2.00E+08 - 2.1E+08
Akma Dayanımı (f_y) (kPa)	230000-650000	500000	230000-650000	500000	230000-650000	500000	230000-650000	295400
Pekleşme Değişkeni (μ)	0.005 - 0.015 (-)	0.005(-)	0.005 - 0.015 (-)	0.005(-)	0.005 - 0.015 (-)	0.005 (-)	---	---
Kopma-Burkulma Birim Şekil Değiştirilmesi	---	0.1 (-)	---	0.1(-)	---	0.1(-)	---	---
Özgül Ağırlık (γ) (kN/m ³)	78	78	78	78	78	78	78	78
Geçiş Eğrisinin İlk Şekil Değişkeni (R_p)	---	---	20(-)	20(-)	20 (-)	20 (-)	---	---
Geçiş Eğrisinin Şekil Kalibrasyon Değişkeni (A1)	---	---	18.5(-)	18.5(-)	18.5 (-)	18.5 (-)	---	---
Geçiş Eğrisinin Şekil Kalibrasyon Değişkeni (A2)	---	---	0.05-0.15 (-)	0.15 (-)	0.05-0.15 (-)	0.05-0.15 (-)	---	---
İzotropik Pekleşmenin Kalibrasyon Değişkeni (A3)	---	---	0.01-0.025 (-)	0(-)	---	---	---	---
İzotropik Pekleşmenin Kalibrasyon Değişkeni (A4)	---	---	2-7 (-)	1(-)	---	---	---	---
Kinematik / İzotropik Ağırlık Katsayısı (P)	---	---	---	---	0.9 (-)	0 (-)	---	---
Gerçek Olmayan Boşaltmayı Düzeltme Katsayısı (r)	---	---	---	---	2.5-5(%)	2.5 (%)	---	---
En Büyük Yükteki Gerilme (kPa)	---	---	---	---	---	---	---	479500
Pekleşme Eğrisinin Başlangıç Birim Şekil Değiştirilmesi	---	---	---	---	---	---	(-)	0.016 (-)
En Büyük Yükteki Şekil Değiştirme	---	---	---	---	---	---	(-)	0.207(-)
Pekleşme Eğrisinin Ara Noktasındaki Birim Şekil Değiştirme	---	---	---	---	---	---	(-)	0.053(-)
Pekleşme Eğrisinin Ara Noktasındaki Gerilme(kPa)	---	---	---	---	---	---	(-)	420000

2.3. Statik İtme Eğrisi

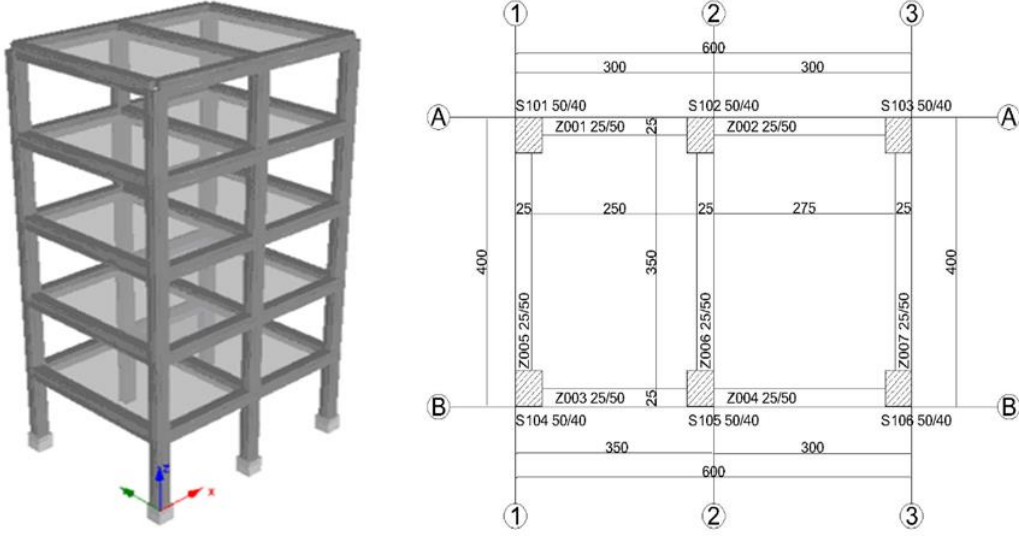
Herhangi bir yapıda tasarım yer hareketi altında oluşabilecek hasar düzeyleri belirlenirken performans dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Yapıyı meydana getiren her bir eleman için oluşacak hasar düzeylerinin kabul edilen sınır değerlerini sağlanıp, sağlanmadığının kontrolü mümkündür. Farklı büyüklükteki depremler için hedeflenen performans düzeylerinin öngörülen hasar sınır değerleri ile uyumlu olması gerekmektedir [30-34]. Bu amaç için koordinatları tepe yer değiştirilmesi – taban kesme kuvveti olan itme eğrisi (pushover eğrisi) elde edilmektedir. Bu eğrinin elde edilmesi statik itme analizi gereklidir. Mevcut veya tasarlanmış yapıların sismik performanslarını belirlemek için statik itme analizi popüler bir yöntem haline gelmiştir. Statik itme analizi ile tasarım yer hareketinden kaynaklanabilecek yapısal sistem ve bileşenlerinin sismik talepleri hakkında yeterli bir bilgiye ulaşılabilmektedir. Statik itme analizi yapıda her iki doğrultu için farklı farklı uygulanabilmektedir. Herhangi bir yapının, herhangi bir doğrultusunda, sıfır konumundan yapının kararsız duruma geçmesine kadar artırılarak uygulanan yüklerin etkisinde elde edilen taban kesme kuvvetlerine karşılık gelen tepe yer değiştirme değerlerinin bir eğri üzerinde gösterilmesi statik itme eğrisini vermektedir (Şekil 9). Modal kapasite diyagramlarına dönüştürülmesi ve yapının maksimum elastik ötesi yer değiştirme kapasitesinin hesaplanması ile statik itme eğrisi anlam kazanır [35-38].



Şekil 9. Tipik pushover ve ideal kapasite eğrisi [39]

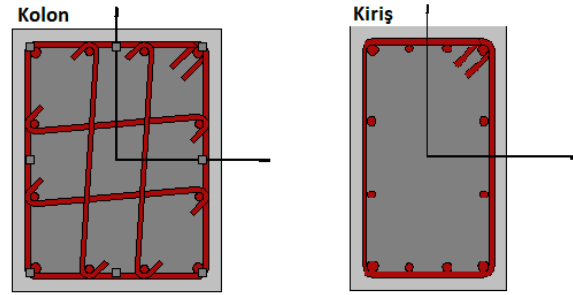
2.4. Bina Özellikleri

Çalışmada farklı malzeme modellerinin karşılıklı etkileşimini ortaya koymak adına beş katlı bir betonarme yapı seçilmiştir. Yapının her kati eşit yükseklikte olup 3m olarak alınmıştır. Betonarme malzeme sınıfı olarak C30-S420 seçilmiştir. Kolon ve kirişlerde kullanılan donatının çapı 14mm olarak seçilmiştir. Çalışmada dikkate alınan betonarme yapıya ait kat kalıp planı ve yazılım programından elde edilen üç boyutlu modeli Şekil 10'da verilmiştir. Çalışmalarda Seismostruct yazılım programı kullanılmıştır [40].



Şekil 10. Yapıya ait kat kalıp planı ve üç boyutlu modeli

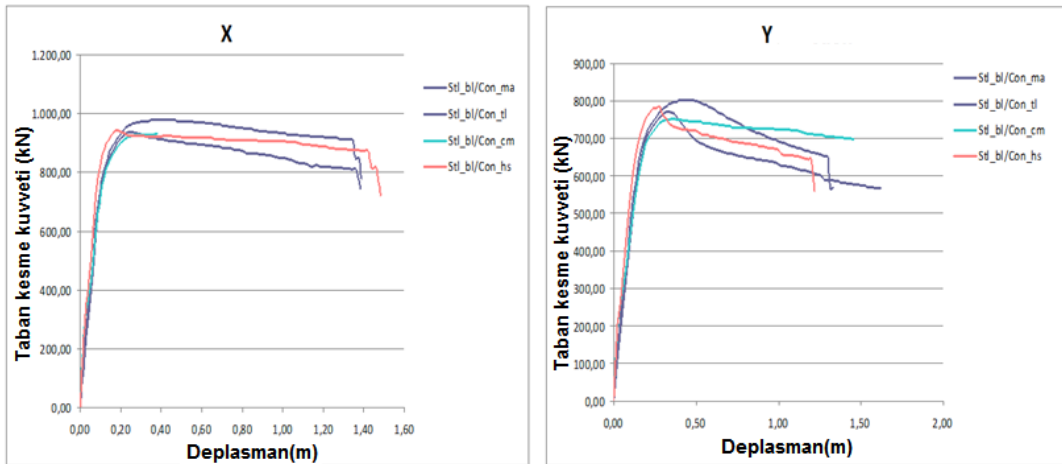
Yapıda kullanılan tüm kolonların boyutları 40*50cm ve tüm kirişler ise 25*50cm olarak seçilmiştir. Kiriş ve kolonlarda köşe donatısı olarak 4Φ20 iç kısımlarda ise 8Φ16 olarak belirlenmiştir. Kiriş ve kolonların tümünde enine donatı olarak $\phi 10/10$ dikkate alınmıştır. Kolon ve kiriş kesitleri Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Kolon ve kiriş en kesitleri

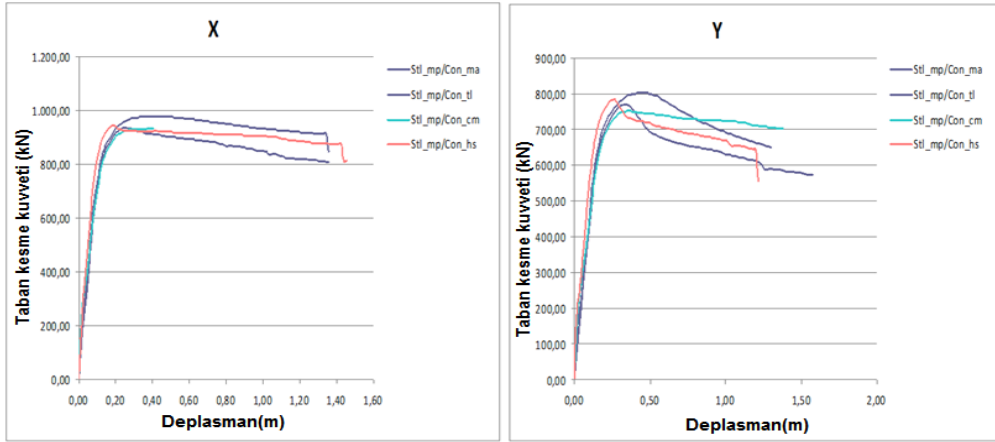
3. Bulgular

X ve Y doğrultuları için iki doğrulu çelik modeli için farklı beton modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 12'de gösterilmiştir.



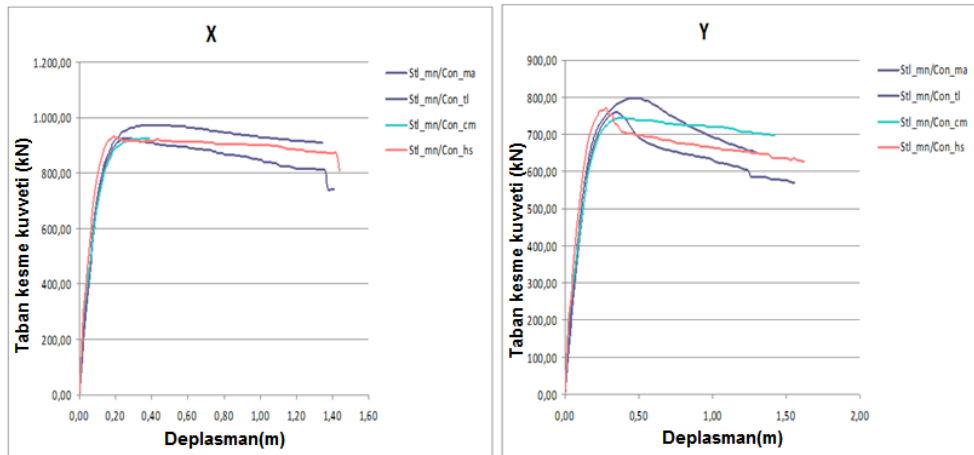
Şekil 12. İki doğrulu çelik modeli – dört farklı beton malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Menegetto-Pinto çelik malzeme modeli için farklı beton modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 13'te gösterilmiştir.



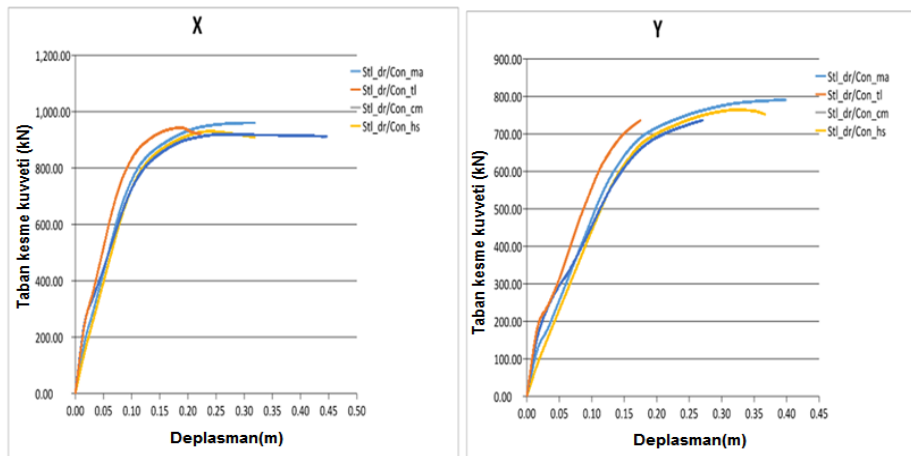
Şekil 13. Menegetto-Pinto çelik modeli – dört farklı beton malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Monti-Nuti çelik malzeme modeli için farklı beton modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 14'te gösterilmiştir.



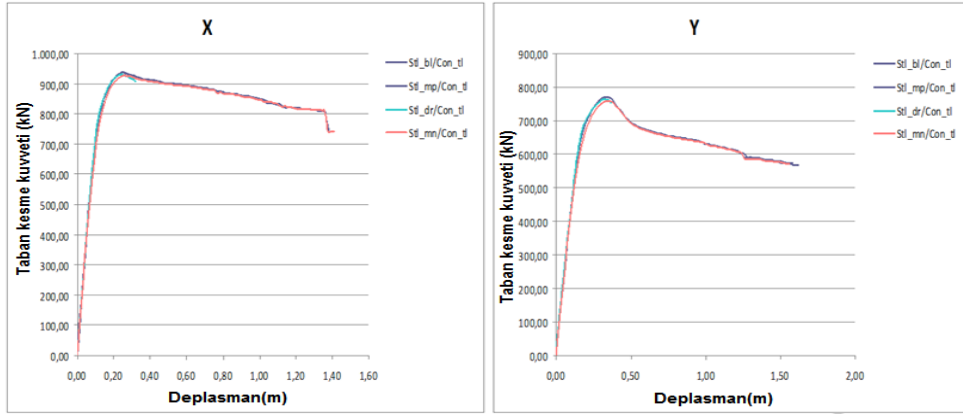
Şekil 14. Monti -Nuti çelik modeli – dört farklı beton malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Dodd-Restrepo çelik malzeme modeli için farklı beton modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 15'te gösterilmiştir.



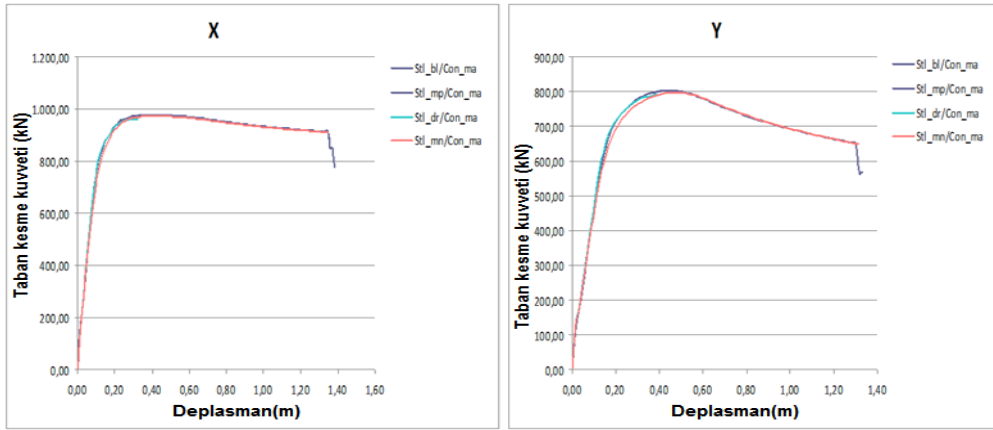
Şekil 15. Dodd-Restrepo çelik modeli – dört farklı beton malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için üç doğrulu beton malzeme modeli için farklı çelik malzeme modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 16’da gösterilmiştir.



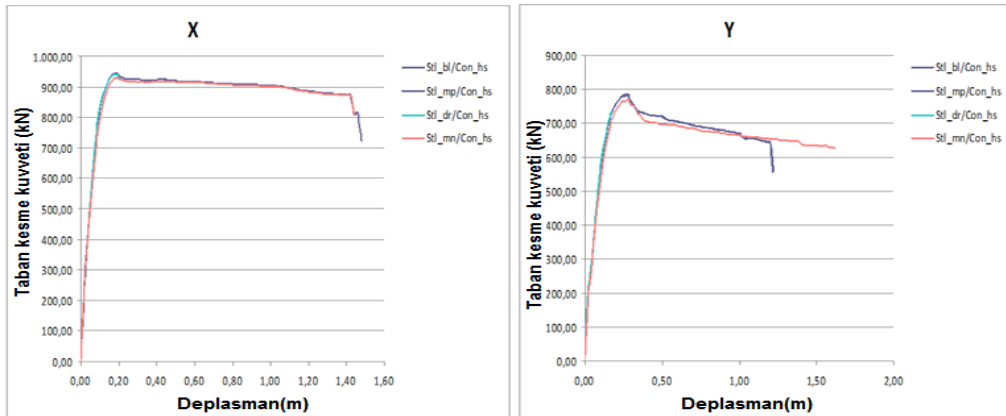
Şekil 16. Üç doğrulu beton modeli – dört farklı çelik malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Mander vd., beton malzeme modeli için farklı çelik malzeme modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 17’de gösterilmiştir.



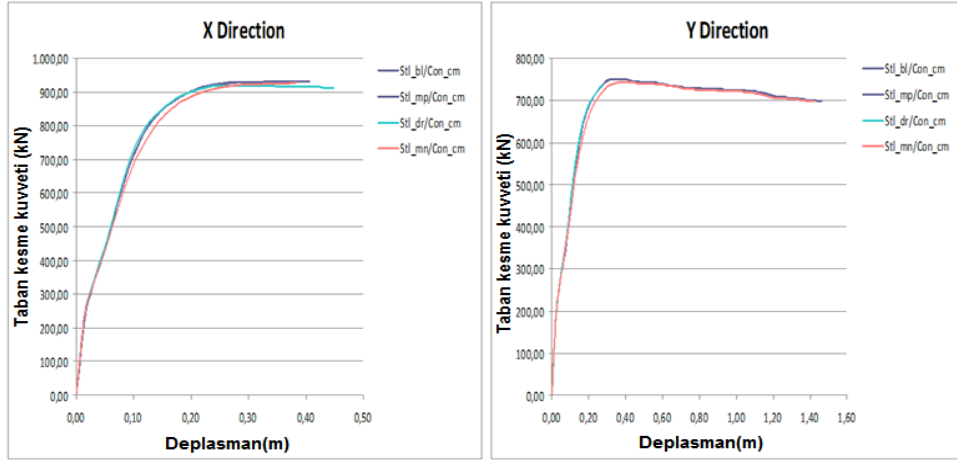
Şekil 17. Mander vd., beton modeli – dört farklı çelik malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Kappos- Konsantinidis beton malzeme modeli için farklı çelik malzeme modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Kappos- Konsantinidis beton modeli – dört farklı çelik malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

X ve Y doğrultuları için Chang-Manderdoğrusal olmayan beton malzeme modeli için farklı çelik malzeme modellerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Chang-Mander doğrusal olmayan beton modeli – dört farklı çelik malzeme modeli için elde edilen itme eğrileri

Çalışmada dikkate alınan beton malzeme modellerinin her birinin sabit olması ve kullanılan çelik malzeme modelinin değişken olarak seçilmesi durumunda elde edilen tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvvetlerinin X ve Y doğrultularında karşılaştırılması Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Farklı beton malzeme modelleri için elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Beton Malzeme Modeli	Çelik Malzeme Modeli	Yer değiştirme (cm)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
		Doğrultu		Doğrultu	
		X	Y	X	Y
Mander vd.	İki doğrulu	138.6	132.9	778.084	568.29
	Menegetto-Pinto	135.8	130.2	845.19	650.90
	Monti-Nuti	134.4	131.1	910.16	649.12
	Dodd-Restrepo	32	40	960.53	790.78
Üç doğrulu	İki doğrulu	138	161.9	744.79	566.25
	Menegetto-Pinto	135.8	157.9	808.96	572.58
	Monti-Nuti	140.8	155.93	740.27	570.76
	Dodd-Restrepo	32	36.79	907.88	751,54
Chang-Mander	İki doğrulu	38	145.4	931.62	697.79
	Menegetto-Pinto	40.6	137.95	931.86	701.89
	Monti-Nuti	38.4	141.95	926.95	697.19
	Dodd-Restrepo	44.8	27.19	911.77	736.89
Kappos-Konsantinidis	İki doğrulu	148	121,9	722.60	557.41
	Menegetto-Pinto	145.6	121.57	815.03	555.74
	Monti-Nuti	144	161.9	807.06	627.13
	Dodd-Restrepo	22.4	17.60	921.24	737.36

Çalışmada kullanılan her bir beton modelinin sabit kalması ve çelik malzeme modelinin değişken olarak alındığında en büyük taban kesme kuvvetleri ve en küçük yer değiştirmeler Dodd-Restrepo çelik modelinin kullanılmasından elde edilmiştir. Beton modeli sabit kalmak kaydı ile diğer üç çelik modelinde değerler birbirlerine oldukça yakın çıkmışlardır. Taban kesme kuvvetleri açısından çelik malzeme modellerinin tamamen uyum içinde olduğu söylenebilir. Dodd-Restrepo modelinde dikkate alınan sekiz farklı parametrenin büyük bölümü gerilme ve şekil değiştirme değişkenlerini içermektedir.

Çalışmada dikkate alınan çelik malzeme modellerinin her birinin sabit olması ve kullanılan beton malzeme modelinin değişken olarak seçilmesi durumunda elde edilen tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvvetlerinin X ve Y doğrultularında karşılaştırılması Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Farklı çelik malzeme modelleri için elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Çelik Malzeme Modeli	Beton Malzeme Modeli	Yerdeğiştirme (cm)		Taban Kesme Kuvveti (kN)	
		Doğrultu		Doğrultu	
		X	Y	X	Y
İki doğrulu	Mander vd.	138.6	132.9	778.084	568.29
	Üç doğrulu	138	161.9	744.79	566.25
	Chang-Mander	38	145.4	931.62	697.79
	Kappos- Konsantinidis	148	121.9	722.60	557.41
Menegetto-Pinto	Mander vd.	135.8	130.2	845.19	650.90
	Üç doğrulu	135.8	157.9	808.96	572.58
	Chang-Mander	40.6	137.95	931.86	701.89
	Kappos- Konsantinidis	145.6	121.57	815.03	555.74
Monti-Nuti	Mander vd.	134.4	131.1	910.16	649.12
	Üç doğrulu	140.8	155.93	740.27	570.76
	Chang-Mander	38.4	141.95	926.95	697.19
	Kappos- Konsantinidis	144	161.9	807.06	627.13
Dodd-Restrepo	Mander vd.	32	40	960.53	790.78
	Üç doğrulu	32	36.79	907.88	751.54
	Chang-Mander	44.8	27.19	911.77	736.89
	Kappos- Konsantinidis	22.4	17.60	921.24	737.36

4. Sonuçlar

Bu çalışma, yapı hesaplamalarında kullanılan malzeme modellerinin farklılaşmasının sonuçları ortaya koymak amacı ile yapılmıştır. Betonarme yapılarda kullanılan farklı çelik ve beton malzeme modellerinin karşılıklı etkileşimi için analiz ve hesaplamalar yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda yazılım programı içerisinde yer alan dörder farklı çelik ve beton malzeme modeli dikkate alınmıştır. Her bir model için bilgiler verilmiştir. Hem çelik hem de beton modellerinin kendi aralarında parametre değişimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışma kapsamında seçilen örnek bir betonarme bina için X ve Y doğrultularında statik itme eğrileri elde edilmiştir. Öncelikle beton malzeme modeli sabit tutularak çelik malzeme modeli değişken olarak seçilmiştir. Ayrıca çelik malzeme modeli sabit tutularak beton malzeme modeli değişken olarak seçilmiştir. Tüm bu durumlar için ayrı ayrı tepe yer değiştirme ve taban kesme kuvvetleri hesaplanarak, karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan her bir çelik modelinin sabit kalması ve beton malzeme modeli değişken olarak alındığında X doğrultusunda en büyük taban kesme kuvvetleri ve en küçük yer değiştirmeler Chang-Mander doğrusal olmayan beton modelinin kullanılmasından elde edilmiştir. Y doğrultusunda ise tüm modellerde değerler birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Özellikle Y doğrultusunda çelik malzeme modeli sabit kalmak kaydı ile diğer üç beton modelinde değerler birbirlerine oldukça yakın çıkmışlardır. Taban kesme kuvvetleri açısından beton malzeme modellerinin sınıflarının tamamen uyum içinde olduğu söylenebilir.

Mander vd. üç doğrulu, Chang-Mander veya Kappos- Konsantinidis beton modellerinden herhangi birinin seçilmesi durumunda iki doğrulu, Menegetto-Pinto, Monti-Nuti çelik modelleri arasında bir uyum olduğu söylenebilir. Bu beton modelleri için bu üç farklı çelik modelinin betonarme yapılarda kullanılabilirliği söylenebilir. Bu üç model için Dodd-Restrepo çelik modeli için elde edilen yer değiştirme değerleri diğer modellere nazaran farklı değerler aldığından kullanılmaması daha uygun olacaktır.

Çelik malzeme modeli olarak iki doğrulu, Menegetto-Pinto veya Monti-Nuti modelinin seçilmesi durumunda Mander vd. üç doğrulu ve Kappos- Konsantinidis beton malzeme model değerleri birbirlerine yakın değerler almıştır. Bu da, seçilecek olan bu çelik modelleri ile beton modellerinin

birbirleri ile beraber kullanılabilceği sonucunu doğurmaktadır. Dodd- Restrepo çelik malzeme modeli ile birlikte çalışmada dikkate alınan dört farklı beton malzeme modelinin kullanılabilceği söylenebilir.

Malzeme modellerinin bazı koşullar altında, yapısal modele ve uygulanan yüklere göre değişebileceği unutulmamalıdır. Yapı analizlerinde farklı malzeme modelleri kullanırken kullanılan yazılım programında yer alan malzeme modelleri incelenerek hangi modelinin kullanılacağına öyle karar verilmelidir.

Kaynaklar

- [1] Ersoy U., Özcebe G. 2007. Betonarme. Evrim Yayınevi, 816s, Türkiye.
- [2] Celep Z. 2014. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme. Beta Dağıtım, 236s. İstanbul.
- [3] Işık E., Özdemir M. 2017. Performance Based Assessment of Steel Frame Structures by Different Material Models. International Journal of Steel Structures, 17 (3): 1021-1031.
- [4] Mander JB., Priestley MJN., Park R. 1998. Theoretical Stress-strain Model for Confined Concrete. Journal of Structural Engineerings, 114 (8): 1804-1825.
- [5] İlki A., Fukuta T., Özdemir P. 2003. Sargılı Beton Davranışı ve Üç Doğrudan Oluşan Gerilme – Şekil Değiştirme Modeli. IMO Teknik Dergi, 190: 2853-2871.
- [6] Chang GA. Mander JB. 1994. Seismic Energy Based Fatigue Damage Analysis of Bridge Columns: Part 1 –Evaluation of Seismic Capacity. NCEER Technical Report No. NCEER-94-0006, State University of New York, Buffalo, N.Y.
- [7] Kappos A., Konstantinidis D. 1999. Statistical Analysis of Confined High Strength Concrete Materials and Structures, 32: 734-748.
- [8] Antoniou S., Pinho R. 2003. Seismostruct–Seismic Analysis Program by Seismosoft. Technical Manual and User Manual.
- [9] Menegotto M., Pinto PE. 1973. Method of Analysis for Cyclically Loaded RC. Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-elastic Behavior of Elements under Combined Normal Force and Bending. Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland, 15-22.
- [10] Monti G., Nuti C. 1992. Nonlinear Cyclic Behaviour of Reinforcing Bars Including Buckling. Journal of Structural Engineerings, 118 (12): 3268-3284.
- [11] Dodd L., Restrepo-Posada J. 1995. Model for Predicting Cyclic Behavior of Reinforcing Steel Journal of Structural Engineerings, 121 (3): 433-445.
- [12] Işık E., Özdemir M., 2017. Consistency of Concrete Material Models that Used for RC Buildings. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture & Civil Engineering, 36 (4): 92-105.
- [13] Karaşin İB., Işık E., Karaşin A., Özdemir M. 2017. Consistency of Steel Material Models that Used in the Design of RC Buildings, International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17 Bitlis), Bitlis.
- [14] Wu H. 2007. Constitutive Model of Concrete Confined by Advanced Fiber Composite Materials and Applications in Seismic Retrofitting, ProQuest.
- [15] Turkish Earthquake Code, 2007. Turkish Earthquake Code-Specification for Structures to be Built in Disaster Areas, Turkey.
- [16] Özmen HB., İnel M. 2011. Betonarme Yapılarda Malzeme Dayanımı ve Detaylandırma Özelliklerinin Sismik Hasar Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Türkiye.
- [17] Rediiar MKM. 2009. Stress-strain Model of Unconfined and Confined Concrete and Stress-block Parameters Diss. Texas A&M University.
- [18] Concrete CM, 2015. Chang-Mander Concrete Model. [http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/ConcreteCM__Complete_Concrete_Model_by_Chang_and_Mander_\(1994\).](http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/ConcreteCM__Complete_Concrete_Model_by_Chang_and_Mander_(1994).) (Erişim tarihi: 29.05.2019)

- [19] Nagashima T., Sugano S., Kimura H., Ichikawa A. 1992. Monotonic Axial Compression Test on Ultra-high-strength Concrete Tied Columns. In 10th World Conference on EarthquakeEngineering, 5:2983-2988.
- [20] Sheikh SA., Uzumeri SM. 1982. Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns. Journal of Structural Divisio, 108 (12): 2703-2722.
- [21] Yassin MHM. 1994. Nonlinear Analysis of Prestressed Concrete Structures under Monotonic and Cyclic Loads. PhD Thesis, University of California, Berkeley, USA.
- [22] Filippou FC., Popov EP., Bertero VV. 1983. Effects of Bond Deterioration on Hysteretic Behaviour of Reinforced Concrete Joints. Report EERC 83-19, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- [23] Fragiadakis M., Pinho R., Antoniou S. 2008. Modelling Inelastic Buckling of Reinforcing Bars under Earthquake Loading in Progress in Computational Dynamics and Earthquake Engineering. Eds. M. Papadrakakis, D.C. Charnpis, N.D. Lagarosand Y. Tsompanakis, A.A. BalkemaPublishers – Taylor & Francis, TheNetherlands.
- [24] Prota A., Cicco F., Cosenza E. 2009. Cyclic Behaviour of Smooth Steel Reinforcing Bars: Experimental Analysis and Modelling Issues. Journal of Earthquake Engineering, 13 (4): 500-519.
- [25] Bosco M., Ferrara E., Ghersi A., Marino E., Rossi PP. 2014. Improvement of the Model Proposed by Menegotto and Pinto for Steel. 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology.
- [26] Abdelnaby AE., Elnashai AS. 2015. Numerical Modeling and Analysis of RC Frames Subjected to Multiple Earthquakes. Earthquakes and Structures, 9 (5): 957-981.
- [27] Monti G., Nuti C., Santini S. 1996. CYRUS – Cyclic Response of Upgraded Sections Report No: 96-2, University of Chieti, Italy.
- [28] Kim SH. 2015. Cyclic Uniaxial Constitutive Model for Steel Reinforcement. Doctoral Dissertation, Virginia Tech.
- [29] Kim SH., Koutromanos I. 2016. Constitutive Model for Reinforcing Steel under Cyclic Loading. Journal of Structural Engineerings, 142 (12): 04016133.
- [30] Ademovic N., Hrasnica M., Oliveira DV. 2013. Pushover Analysis and Failure Pattern of a Typical Masonry Residential Building in Bosnia and Herzegovina. Engineering Structures, 50: 13-29.
- [31] Aydınöglü MN. 2007. A Response Spectrum-based Nonlinear Assessment Tool for Practice: Incremental Response Spectrum Analysis (IRSA). ISET Journal of Earthquake Technology, 44 (1):169-192.
- [32] Kutanis M., Boru OE. 2014. The Need for Upgrading the Seismic Performance Objectives. Earthquakes and Structures, 7 (4): 401-414.
- [33] Foti D. 2015. A New Experimental Approach to the Pushover Analysis of Masonry Buildings. Computers and Structures, 147: 165-171.
- [34] Isik E., Kutanis M. 2015. Performance Based Assessment for Existing Residential Buildings in Lake Van Basin and Seismicity of the Region. Earthquakes and Structures, 9 (4): 893-910.
- [35] Krawinkler H., Seneviratna GDPK. 1998. Prosand Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation. Engineering Structures, 20 (4): 452-464.
- [36] Estêvão JM., Oliveira CS. 2015. A New Analysis Method for Structural Failure Evaluation. Engineering Failure Analysis, 56: 573-584.
- [37] Karakaš N., Kalman Šipoš T., Hadzima-Nyarko M. 2018. Application of Different Seismic Analyses to RC Structures. E-GFOS, 9 (17): 39-51.
- [38] Işık E., Özdemir M., Karaşin İB. 2018. Performance Analysis of Steel Structures with A3 Irregularities. International Journal of Steel Structures, 18 (3): 1083-1094.
- [39] Inel M., Meral E. 2016. Seismic Performance of RC Buildings Subjected to Past Earthquakes in Turkey. Earthquakes and Structures, 11 (3): 483-503.
- [40] SeismoStruct v6.5 2014 A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures. Seismosoft.