

Deprem etkisi altındaki kirişsiz döşemeli betonarme yapılarda farklı analiz yöntemlerinin karşılaştırılması

Comparison of different analysis methods in flat slab reinforced concrete structures under earthquake effect

Ahmet ÖZBAYRAK^{1*} 

¹İnşaat Bölümü, Tomarza Mustafa Akıncioğlu Meslek Yüksekokulu, Kayseri Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.
ozbayrak@erciyes.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.01.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 03.05.2018

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.69009

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Betonarme kirişsiz plak döşeme sistemlerinde döşemeler, kirişler olmadan doğrudan kolonlara mesnetlenmektedir. Analitik çalışmalar doğrultusunda deprem etkisi altında betonarme kirişsiz plak döşemeli 4 katlı bir yapı araştırma konusu olarak seçilmiştir. Seçilen yapı 3 farklı analiz yöntemi kullanılarak taşıyıcı sistem kolon ve döşemelerine gelen eğilme momentleri açısından karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, kirişsiz plak döşeme sistemleri hakkında açıklayıcı bilgiler sunulmuş ve ülkemiz şartnamelerinde kabul edilen farklı çözüm yöntemleri, yatay yükler etkisi altındaki yapısal bir örnek üzerinden karşılaştırılmıştır. Deprem kuvvetleri etkisinde; seçilen taşıyıcı sistem, eşdeğer çerçeve yöntemi, Ünlüoğlu'nun moment geçiş katsayılarını kullandığı yöntem ve sonlu elemanlar yöntemini temel alan SAP2000 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Farklı çözüm yöntemlerinden elde edilen sonuçların birbirleri ile karşılaştırılması sonucu tüm katlardaki kolon alt ve üst momentleri, iç ve kenar açıklık kolon şeridindeki döşeme momentleri, tablo ve grafikler yardımıyla ortaya konmuştur. Buna göre Ünlüoğlu'nun moment geçiş katsayılarını kullandığı yöntem ve sonlu elemanlar yöntemini esas alan SAP2000 yazılımından elde edilen sonuçlar birbirine son derece yakın çıkmıştır. Eşdeğer çerçeve yönteminde elde edilen sonuçlar ise diğer analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlardan daha farklıdır. Çünkü eşdeğer çerçeve yöntemi yaklaşık bir yöntem olması sebebiyle sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlar kadar kesin sonuçlar vermemektedir. Ancak Ünlüoğlu'nun geliştirdiği yöntem sonlu elemanlar yöntemine alternatif olabilir.

Anahtar kelimeler: Deprem etkisi, Betonarme kirişsiz plak döşemeler, Eşdeğer çerçeve yöntemi, Moment geçiş katsayıları, Sonlu elemanlar yöntemi

Abstract

Reinforced concrete flat slab systems are supported to columns directly without beams. In this analytical study, a structure which has reinforced concrete flat slab with four storey is investigated under earthquake effect. The structure was analyzed by three different methods to compare bending moments in columns and flat slabs. In this study, explanatory information about flat slab systems is presented and different types of solution methods which are adopted our countries specification was compared through a structural example under the horizontal loads. Under the influence of horizontal earthquake forces; selected bearing system have been analyzed by the equivalent frame method, called the moment transfer coefficients method developed by Ünlüoğlu and finite elements method based SAP2000 software. The result of comparing the findings obtained from different solution methods to each other is presented with the help of column top and bottom moments in all floors, flat slab bending moments in inner and edge column strands, tables and graphs. According to this, the method developed by Ünlüoğlu using moment transfer coefficients and the results obtained from finite elements based SAP2000 software are very close to each other. The results obtained from the equivalent frame method are different from those result of the other methods of analysis. Because the equivalent frame method is an approximate method, it does not give as accurate results as the results obtained by the finite element method. However, the method developed by Ünlüoğlu may be an alternative to the finite element method.

Keywords: Earthquake effect, Reinforced concrete flat slab, Equivalent frame method, Moment transition coefficients, Finite element method

1 Giriş

Kirişsiz döşemeli betonarme taşıyıcı sistemler kat döşemelerinin doğrudan kolon ya da perdelerle mesnetlenmesi ile oluşturulur. Mimari gereksinimler doğrultusunda kat planında değişiklikler yapılmasına olanak tanır. Düz bir tavan elde edilmesinden dolayı da tesisatlar tavan yüksekliğini çok fazla düşürmeden döşenebilir. Kirişsiz döşemelerin tercih edilebilmesi için kolonların birbirine dik her iki eksen doğrultusunda düzgün sıralanmış olması gerekmektedir. Kirişsiz döşemelerde en büyük problem kolon ve perde uçlarında meydana gelebilecek zımbalama olayıdır. Bunun için de kolon ve perde uçlarına başlık, tabla veya her ikisi de yapılarak önlem alınabilir. Kolonlar arasında eğilme momenti kirişsiz döşemeler vasıtasıyla aktarılır. Yatay yükler etkisi altında bu eğilme momentlerinin hesaplanması için geliştirilen farklı analiz yöntemleri bulunmaktadır. Kim ve Lee (2005) yaptıkları çalışmada doğru sonuçlar elde etmek için hayali

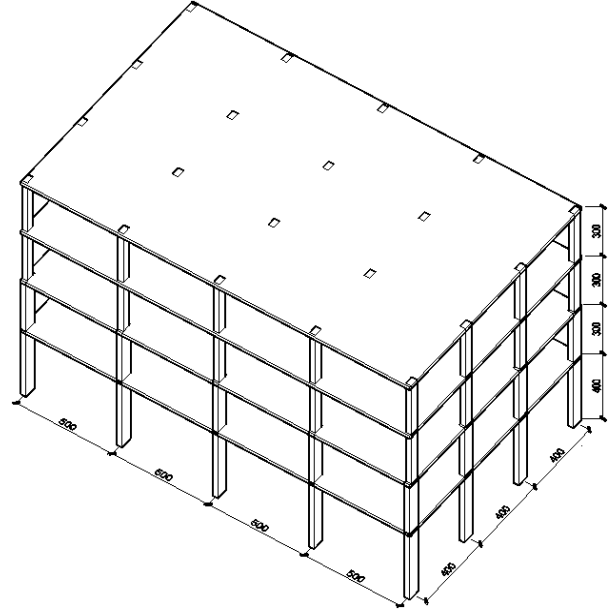
kirişler ve matris tekniğinin kullanıldığı etkili bir analiz yöntemi önermişlerdir. Sonuçta önerilen metod sonlu elemanlar yöntemi ve eşdeğer çerçeve yöntemi ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır [1]. Sağlayan ve diğ. (2011) farklı parametreler kullanarak ürettikleri çok sayıda çözümde elde edilen açıklık momentleri ve düşey yer değiştirme değerlerini kullanarak istatistiksel hesaplar yapan statistica programı yardımı ile moment ve yer değiştirme değerlerine uygun fonksiyonlar elde etmişlerdir. Bu fonksiyonlar eşdeğer çerçeve ve sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırıldığında eşdeğer çerçeve yöntemi ile elde edilen açıklık momentlerinin sonlu elemanlar yöntemine göre daha küçük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir [2]. Benavent-Climent ve diğ. (2012) sismik yüklemeye tabi tuttıkları betonarme kirişsiz döşemeli yapıların etkili genişliğini dinamik sarsma tablası testlerine dayanarak incelemişlerdir. Testlerde elde edilen efektif genişlik ile literatürde önerilen formüllerden elde edilen değerler arasında önemli farklılıklar bulunmuştur

[3]. Priya ve diğ. (2012) çok yaygın bir şekilde kullanılan SAP2000 programında kirişsiz döşemeli yapılar üzerinde statik itme analizi uygulayarak statik itme eğrisi ile talep eğrisi elde etmişlerdir. Bunun sonucu olarak da mevcut yapının güçlendirilmesine ilişkin daha net karar verilebileceği belirtilmiştir [4]. Bhina ve diğ. (2013) tarafından aynı boyuttaki kirişsiz plak döşemeli ve betonarme çerçeveye sahip simetrik yapılar farklı sismik etkiler altında incelenmiştir. Sonuç olarak mimari gereksinimler sebebi ile kirişsiz plak döşemeli binalar daha popüler olmasına rağmen betonarme çerçeveli binaların sismik performansının kirişsiz döşemeli yapılara göre daha iyi olduğu belirtilmiştir [5]. Qian ve Li (2014) yaptıkları çalışmada kirişsiz plak döşemeli yapılarda ani çöküş etkilerini azaltmak için membran hareketi, zımbalama davranışı ve eğilme dayanımı açısından yapılar değerlendirilmiştir [6]. Bir diğer çalışmada ise kirişsiz plak döşemelerde kullanılan bölme duvar panellerinin eğilme direncini arttırması yanında kolonların zımbalama dayanımını önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir [7]. Choi ve Kim (2015) tarafından yatay yük etkisindeki kirişsiz plak döşemelerde doğrusal olmayan statik analiz uygulamaları için analitik bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen yöntemle deney numunelerinin dayanım ve deformasyon kapasiteleri dahil, tüm yük deformasyon ilişkileri için benzer sonuçlar elde edilebilmiştir [8]. Youssef ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada kirişsiz plak döşemeli binaların doğrusal olmayan yatay davranışını belirlemek için grillage analizi kullanmıştır. Grillage analizi, kirişsiz plak sistemlerin anma ve tasarım yükü eğilme kapasitesini tahmin etmek ve döşeme etkili genişliğini değerlendirebilmek için kullanılmaktadır. Kapsamlı bir parametrik çalışma ile kirişsiz döşeme iç açıklık birleşimlerinin yatay dayanıma olan katkısında etkili döşeme genişliğini değerlendirmişlerdir [9]. Fick ve diğ. (2014) yaptığı deneyde sadece yerçekimi kuvvetine direnç gösterecek şekilde üç katlı, iki açıklıklı, tam ölçekli betonarme kirişsiz plak döşemeli bir yapının tek bir yöndeki yanal rijitlik, dayanım ve ötelenme kapasitesine ait değerler araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, benzer yapıların 600 mm/s'ye ulaşan tepe yer hızları ile güçlü zemin hareketlerine karşı ayakta kalabildiğini gösterilmiştir [10]. Bu çalışmada ise kirişsiz betonarme döşemeli dört katlı bir yapı modeli oluşturularak üç farklı yöntemle kolon ve döşemelere gelen eğilme momentleri hesaplanmıştır. İlk olarak deprem kuvvetlerinden oluşan eğilme momentleri eşdeğer çerçeve yöntemindeki kabuller ile düşey taşıyıcı kolonlara hesabı kolay, çabuk ve aynı zamanda betonarme için yeter bir hassasiyete sahip olan mutuo yöntemi ile dağıtılmıştır [11],[12]. İkinci olarak eğilme momentlerinin hesabında, Ünlüoğlu'nun deprem etkisindeki kirişsiz plak döşemeli yapıların rijitliklerini araştırdığı ve moment geçiş katsayıları yardımıyla analizini gerçekleştirdiği bir yöntem kullanılmıştır [11],[13]. Son olarak ise günümüzde mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan ve sonlu elemanlar yöntemine göre hesap yapan SAP2000 programından faydalanılarak sonuç eğilme momentleri hesaplanmıştır [11],[14]. Kirişsiz döşemeli betonarme taşıyıcı sistemlerin hesabı yapılırken deprem, zati ve hareketli yüklerin kolonlara aktarılması hususunda yapılan farklı kabul ve yöntemler elemanların boyutlandırılmasını etkileyen faktörlerdir. Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin bilinen geçerli ve güvenilirliği kanıtlanmış metotlar kullanılarak birbirleri ile karşılaştırılması sonucu, doğruluğunun saptanması hedeflenmiştir.

2 Yöntem

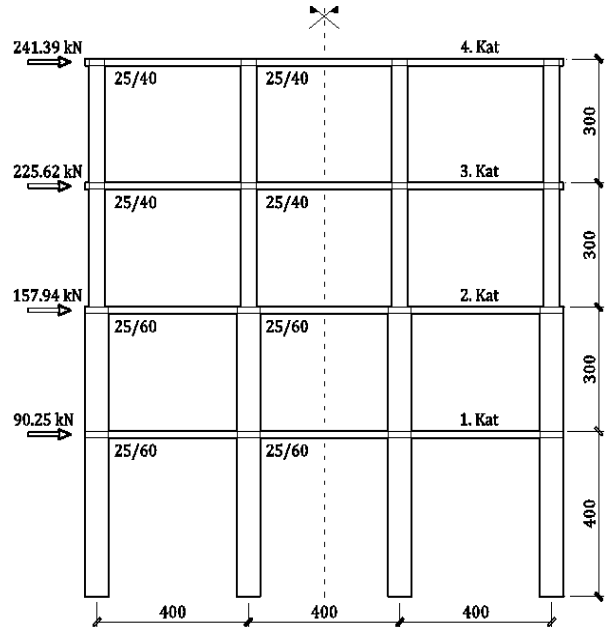
Çalışmada seçilen yapı 4 katlıdır. İlk kat yüksekliği 4 m, diğer katların yüksekliği ise 3 m olarak belirlenmiştir. (x) yönünde

her biri 4 m olan eşit 3 aks aralığı bulunmaktadır. (y) yönünde ise birbirine eşit 5 m uzunluğunda 4 aks aralığı vardır. Çalışmada ele alınan kirişsiz plak döşemeli taşıyıcı sistem modeli aşağıdaki şekilde olduğu gibidir (Şekil 1).



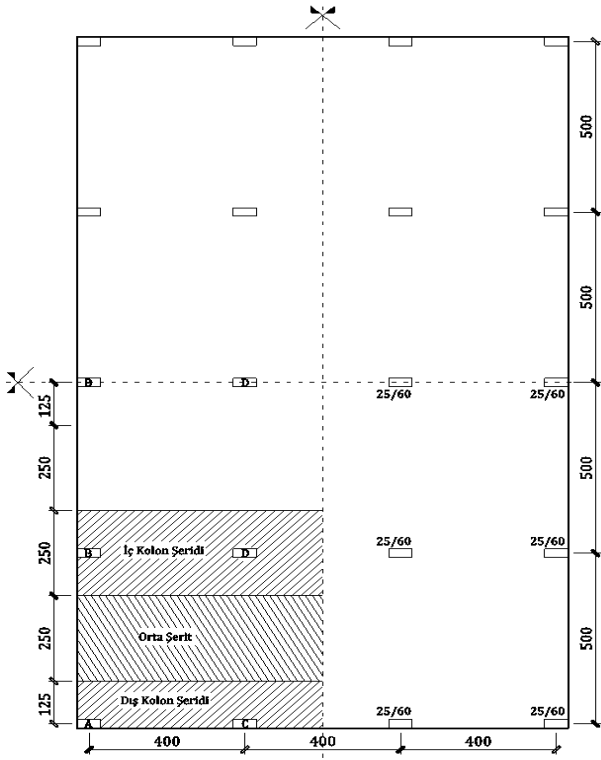
Şekil 1: Taşıyıcı sistem modeli (cm).

Döşeme kalınlığı 15 cm olarak belirlenmiştir. Kolon boyutları ilk iki katta 25/60 cm, son iki katta ise 25/40 cm boyutlarındadır. 3. derece deprem bölgesine göre hesaplanan deprem kuvvetleri katlara döşeme düzleminde etki ettirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Taşıyıcı sistem (x) yönündeki kesiti (cm).

Taşıyıcı sistem simetrisi göz önünde bulundurularak 4 adet kolon üzerinden çalışma sonuçları değerlendirilmiştir. Buna göre dış kolon şeridindeki kolonlar A ve C, iç kolon şeridindeki kolonlar ise B ve D olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3).

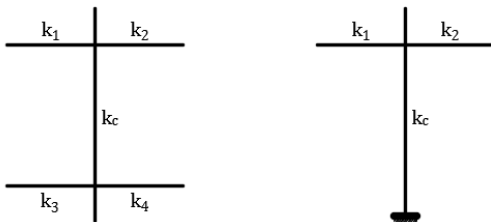


Şekil 3: Taşıyıcı sistem kalıp planı (cm).

Yukarıdaki şekillerde ifade edilen taşıyıcı sistem kolonlarının temeli ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır. Hesapta kullanılan betonun elastisite modülü 20×10^3 MPa'dır. 3 farklı analiz metodu kullanarak sistem simetrisi yardımıyla iki kolon şeridi üzerinde hesaplamalar yapılarak sonuç momentler karşılaştırılmıştır.

2.1 Muto yöntemi

Muto yöntemine göre yatay kuvvetlerden oluşan eğilme momentlerinin hesabında kolon ve kiriş atalet momentlerinden faydalanılır. Bu çalışmadaki farklılık ise eşdeğer çerçeve yöntemi temel alınarak kiriş yerine döşemelerin atalet momentlerinin hesaplanmasıdır. Literatürde muto yöntemi (D) değerleri yöntemi olarak da bilinir. Bu yöntem ile yapıya kat döşemeleri düzleminde etki ettiren yatay yükler düşey ekseninde toplanarak her bir kattaki (V) kesme kuvvetleri bulunur. Çerçevelerin düşey yüklerle göre hesabında (k_1) kiriş eğilme rijitliği ve (k_c) kolon eğilme rijitliğinden yararlanılır (Şekil4).



Şekil 4: Eğilme rijitliği katsayılarının hesabı.

Çerçeve içerisindeki diğer elemanların söz konusu kolon rijitliğine olan etkisini hesaba alan düzeltme katsayısı (a) değerlerinin (k_c) kolon eğilme rijitlikleri ile çarpılması

sonucunda (D) kolon yatay ötelenme rijitlik değerleri denklem 1'de verilen ifadeden elde edilir.

$$D_{ij} = a \times k_c \quad (1)$$

Her bir kattaki (V) kesme kuvveti ve (D) katsayıları, birbiri ile çarpılarak o katın kolonlarına etki eden (T) kesme kuvveti değerleri hesaplanmış olur.

(k') değerleri yardımı ile hesaplanan (y_0) değerleri, kolonların orta bölgelerinde momentin sıfır olduğu noktaların kolon alt ucuna olan uzaklığının kolon boyuna oranıdır. Kolon alt ve üst momentleri, her bir kolona etkiyen (T) kesme kuvveti, (y_0) değerleri ve (h) kolon yükseklikleri kullanılarak denklem 2 ve denklem 3'de verilen;

$$M_{alt} = T \times (y_0 \times h) \quad (2)$$

$$M_{üst} = T \times (1 - y_0) \times h \quad (3)$$

ifadelerle hesaplanır. Döşemelerde momentin sıfır olduğu noktalar açıklıkta kabul edilerek her bir kolon-döşeme birleşim bölgesindeki kolon momentleri toplamı aynı düğümdeki döşeme eğilme rijitlikleri ile orantılı olacak şekilde döşemelere dağıtılır [11], [12].

2.1.1 Kolonların atalet momentleri ve rijitlikleri

1. kat kolonlarına ait atalet momentleri denklem 4'de kolon rijitlikleri ise denklem 5'de verilmiştir.

$$I_c = 2.5 \times 6^3 / 12 = 45 \text{ dm}^4 \quad (4)$$

$$k_c = 45 / 4 = 11.25 \text{ dm}^4 / \text{m} \quad (5)$$

2. kat kolonlarına ait atalet momentleri denklem 6'da kolon rijitlikleri ise denklem 7'de verilmiştir.

$$I_c = 2.5 \times 6^3 / 12 = 45 \text{ dm}^4 \quad (6)$$

$$k_c = 45 / 3 = 15 \text{ dm}^4 / \text{m} \quad (7)$$

3 ve 4. kat kolonlarına ait atalet momentleri denklem 8'de kolon rijitlikleri ise denklem 9'da verilmiştir.

$$I_c = 2.5 \times 4^3 / 12 = 13.33 \text{ dm}^4 \quad (8)$$

$$k_c = 13.33 / 3 = 4.44 \text{ dm}^4 / \text{m} \quad (9)$$

2.1.2 Döşemelerin atalet momentleri ve rijitlikleri

İç ve dış kolon şeridi boyutları esas alınarak döşeme kiriş gibi hesaplanmıştır. İç kolon şeridindeki döşemelerin atalet momentleri denklem 10'da rijitlikleri ise denklem 11'de verilmiştir.

$$I_b = 25 \times 1.5^3 / 12 = 7.03 \text{ dm}^4 \quad (10)$$

$$k = 7.03 / 4 = 1.757 \text{ dm}^4 / \text{m} \quad (11)$$

Dış kolon şeridindeki döşemelerin atalet momentleri denklem 12'de rijitlikleri ise denklem 13'de verilmiştir.

$$I_b = 12.5 \times 1.5^3 / 12 = 3.51 \text{ dm}^4 \quad (12)$$

$$k = 3.515 / 4 = 0.878 \text{ dm}^4 / \text{m} \quad (13)$$

Sistem simetrisinden faydalanılarak kolon ve döşeme rijitliklerine göre hesaplanan (a) dağıtma katsayılarına ilişkin bilgiler Tablo 1'de verildiği gibidir.

Tablo 1: Kolon ve döşeme eğilme rijitlik katsayıları.

No	k_c $\frac{dm^4}{m}$	k_1 $\frac{dm^4}{m}$	k_2 $\frac{dm^4}{m}$	k_3 $\frac{dm^4}{m}$	k_4 $\frac{dm^4}{m}$	k'	a
4A	4.44	-	0.878	-	0.878	0.19	0.09
4C	4.44	0.878	0.878	0.878	0.878	0.39	0.16
4B	4.44	-	1.757	-	1.757	0.39	0.16
4D	4.44	1.757	1.757	1.757	1.757	0.79	0.28
3A	4.44	-	0.878	-	0.878	0.19	0.09
3C	4.44	0.878	0.878	0.878	0.878	0.39	0.16
3B	4.44	-	1.757	-	1.757	0.39	0.16
3D	4.44	1.757	1.757	1.757	1.757	0.79	0.28
2A	15.0	-	0.878	-	0.878	0.05	0.02
2C	15.0	0.878	0.878	0.878	0.878	0.11	0.05
2B	15.0	-	1.757	-	1.757	0.11	0.05
2D	15.0	1.757	1.757	1.757	1.757	0.23	0.10
1A	11.2	-	0.878	-	-	0.07	0.27
1C	11.2	0.878	0.878	-	-	0.15	0.30
1B	11.2	-	1.757	-	-	0.15	0.30
1D	11.2	1.757	1.757	-	-	0.31	0.35

Sistem simetrisinden faydalanarak dış ve iç kolon şeridinde hesaplanan kolon alt ve üst momentlerine ait değerler Tablo 2'de verildiği gibidir.

Tablo 2: Kolon alt ve üst eğilme momentleri.

No	D	V_{ij} & ΣD_{ij}	$D/\Sigma D$	V_{ij} kN	y_0 & y	$M_{üst}$ kNm	M_{alt} kNm
4A	0.39	24.14	0.02	5.85	0.15	14.9	2.63
4C	0.73	&	0.04	10.7	0.25	24.1	8.05
4B	0.73	16.48	0.04	10.7	0.25	24.1	8.06
4D	1.25	&	0.08	18.4	0.35	35.9	19.3
3A	0.39	46.70	0.02	11.3	0.35	22.0	11.8
3C	0.73	&	0.04	20.7	0.40	37.3	24.9
3B	0.73	16.48	0.04	20.7	0.40	37.4	24.9
3D	1.25	&	0.08	35.6	0.45	58.8	48.1
2A	0.42	62.49	0.02	13.7	0.70	12.3	28.7
2C	0.82	&	0.04	26.6	0.68	25.6	54.3
2B	0.83	19.44	0.04	26.6	0.68	25.6	54.4
2D	1.57	&	0.08	50.5	0.59	62.1	89.4
1A	3.12	71.51	0.04	31.7	1.20	25.4	152
1C	3.42	&	0.05	34.7	1.07	9.73	148
1B	3.42	70.47	0.05	34.7	1.07	9.73	148
1D	3.95	&	0.06	40.1	0.85	2.40	136

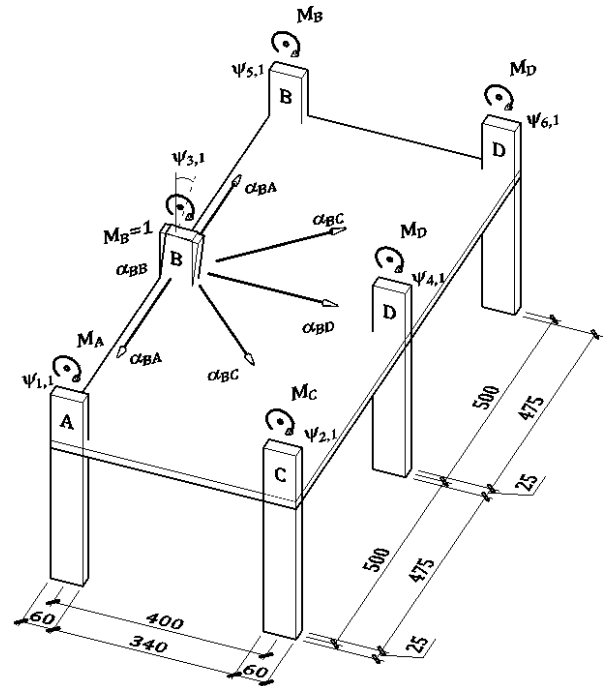
2.2 Ünlüoğlu'nun araştırmış olduğu yöntem

Ünlüoğlu 1985 yılında yaptığı çalışmada yatay yük etkisindeki kirişsiz plak döşemeli sistemlerde kolon ve döşeme rijitliklerine bağlı olarak kolonlar arasındaki moment geçiş durumlarını araştırmıştır [13]. Çalışması kapsamında öncelikle kirişsiz plak döşemeli bir sistemde bulunan her bir kolona, dönmesi serbest bırakılarak birim moment uygulanmıştır. Buna bağlı olarak döşeme vasıtasıyla diğer kolonlara geçen momentler hesaplanmıştır. Bu yöntemde kolonlara etki eden momentler çerçevesi sistemlerde olduğu gibi sadece aks doğrultusunda değil komşu kolonları da kapsayacak şekilde ele alınmaktadır. Kolon ve döşeme boyutlarından yararlanarak hesaplanan eğilme momentleri vasıtasıyla (α) moment geçiş katsayıları belirlenmiştir. (α) moment geçiş katsayıları, birim moment uygulanan ve açılal yer değiştirmesine izin verilen kolondan diğer kolonlara geçen momentler yardımıyla

bulunabilmektedir. Buna göre kolon eksenine birim moment uygulanması durumunda oluşan dönme açısı ve komşu kolonlara geçen momentlerden yararlanarak enine, boyuna ve çapraz doğrultularda diğer kolonlara giden (α) moment geçiş katsayıları, l_x döşeme boyutuna bağlı olarak denklem 14'te verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\alpha = \frac{M \times l_x}{E \times J \times \psi} \quad (14)$$

Denklem 14'de verilen J ifadesi l_y genişliğindeki döşemenin atalet momentidir. Birim moment uygulanan kolon eksenlerindeki dönme açıları $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$ ve diğer komşu kolonlara dağıtılan momentler ise M_A, M_B, M_C, M_D , olarak alınmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: (α) moment geçiş katsayıları.

Buna göre B kolonuna birim moment uygulanması sonucunda komşu kolonlarda oluşan M_A, M_C ve M_D momentlerine bağlı olarak elde edilen $\alpha_{BB}, \alpha_{BA}, \alpha_{BC}, \alpha_{BD}$, geçiş katsayıları sırasıyla denklem 15, 16, 17, 18'de verilmiştir.

$$\alpha_{BB} = \frac{M_B \times l_x}{E \times \frac{l_y \times h^3}{12} \times \psi_B} = \frac{12 \times M_B}{E \times h^3 \times \psi_B \times \frac{l_y}{l_x}}, M_B = 1 \quad (15)$$

$$\alpha_{BA} = \frac{12 \times M_A}{E \times h^3 \times \psi_B \times l_y / l_x} \quad (16)$$

$$\alpha_{BC} = \frac{12 \times M_C}{E \times h^3 \times \psi_B \times l_y / l_x} \quad (17)$$

$$\alpha_{BD} = \frac{12 \times M_D}{E \times h^3 \times \psi_B \times l_y / l_x} \quad (18)$$

Kenar ve iç açıklık kolonları için elde edilen (α) moment geçiş katsayılarına ait tablolar Ek A'da verilmiştir.

2.2.1 Moment denge denklemlerinin kurulması

Toplam momentin sıfıra eşitlendiği denge denklemlerinin kurulmasında pozitif yön olarak saat yönü seçilmiştir. Taşıyıcı sistem simetrisinden dolayı yapının dörtte birinde bulunan kolonlar için kat başına altı adet moment denge denklemi kurulabilir. Buna durumda herhangi bir kattaki A kolonunun döşeme ile birleştiği düğüm noktalarında oluşturulacak moment denge denklemlerinde kullanılacak terimler;

- h_i : (i)'inci kat döşeme kalınlığı,
- H_i : (i)'inci kat yüksekliği,
- l_x, l_y : Yatay yüke paralel ve dik döşeme boyutları,
- u_i, v_i : (i)'inci kat kolon ebatları,
- δ_i : (i)'inci kat rölatif deplasman değeri,
- α : (A) kolonu ile komşu kolonlar arasındaki moment geçiş katsayıları,
- ψ_{ni} : Moment geçiş katsayılarının (α) kullanıldığı kolonların (i)'inci katında döşeme ile birleştiği düğüm noktalarına ait dönme açılarını ifade eder,
- J_i : (i)'inci katta döşemenin atalet momenti denklem 19'da verildiği şekilde hesaplanır,
- J_{ci} : (i)'inci kat kolonlarının atalet momenti denklem 20'de verildiği şekilde hesaplanır.

$$J_i = \frac{l_y \times h_i^3}{12} \quad (19)$$

$$J_{ci} = \frac{v_i \times u_i^3}{12} \quad (20)$$

(i)'inci kattaki A kolonu ile döşemenin birleştiği düğüm noktasında kurulan moment denge denklemi denklem 21'de verildiği şekilde hesaplanır.

$$E \times \left[\frac{J_i}{I_x} \times \alpha_{AA} + 4 \times \left(\frac{J_{ci}}{H_i} + \frac{J_{ci+1}}{H_{i+1}} \right) \right] \times \psi_{1,i} + \frac{E \times J_i}{I_x} \times (\alpha_{CA} \times \psi_{2,i} + \alpha_{BA} \times \psi_{3,i} + \alpha_{DA} \times \psi_{4,i}) + 2 \times E \times \left(\frac{J_{ci}}{H_i} \times \psi_{1,i-1} + \frac{J_{ci+1}}{H_{i+1}} \times \psi_{1,i+1} \right) - 6 \times E \times \left(\frac{J_{ci}}{H_i^2} \times \delta_i + \frac{J_{ci+1}}{H_{i+1}^2} \times \delta_{i+1} \right) = 0 \quad (21)$$

Çubuk sistemlerdeki yatay denge denklemleri kirişsiz plak döşemeler içinde aynı şekilde uygulanır. $\frac{1}{4}$ sistemdeki yatay denge denklemi denklem 22'de verildiği şekilde hesaplanır.

$$-6 \times \frac{E \times J_i}{H_i^2} \times (\psi_{1,i-1} + \psi_{1,i} + \psi_{2,i-1} + \psi_{2,i} + \psi_{3,i-1} + \psi_{3,i} + \psi_{4,i-1} + \psi_{4,i}) + n \times \left(12 \times \frac{E \times J_i}{H_i^3} \times \delta_i \right) = \frac{Q_{kat}^i}{4} \quad (22)$$

n : $1/4$ simetri eksenindeki kolon adedini göstermektedir. Betonarme taşıyıcı sistem deplasmanları moment ve yatay denge denklemlerinin çözümünden elde edilerek, buna göre elemanların uç kuvvetleri hesaplanır [11],[13].

2.2.2 Moment geçiş katsayıları (α) kullanılarak kirişsiz betonarme plak sistemlerin çözümü

Kirişsiz plak döşemeli taşıyıcı sistemlerde yatay yükler etkisinde elde edilen (α) moment geçiş katsayıları ile çözüme açılı metodu denklemlerinden yararlanılarak gidilmektedir. Moment ve yatay denge denklemlerinin çözümü ile deplasmanlar ve çubuk uç kuvvetleri belirlenebilir. Yapı sistemi simetri eksenleri göz önünde bulundurulduğunda 24 adet moment denge denklemi, dört adet ise yatay denge denklemlerinden oluşur. Toplamda ise yirmi sekiz adet denklem kurulmuştur. Buna göre Şekil 5'te taşıyıcı sistem simetri eksen kolonları belirtilmiştir. İlk açıklıkta A ve C kolonları, ikinci açıklıkta B ve D kolonları, üçüncü açıklıkta ise simetri ekseninde bulunan B ve D kolonlarına ait 2. kat moment denge denklemleri örnek olarak verilmiştir.

İlk açıklık A kolonu ucunda yazılan moment denge denklemi denklem 23'de verilmiştir.

$$16789.54 \times \psi_{1,2} + 505.55 \times \psi_{2,2} \times 61.88 \times \psi_{3,2} + 47.11 \times \psi_{4,2} + 6000 \times \psi_{1,1} + 1777.78 \times \psi_{1,3} + 6000 \times u_1 - 4222.22 \times u_2 - 1777.78 \times u_3 = 0 \quad (23)$$

İkinci açıklık C kolonu ucunda yazılan moment denge denklemi denklem 24'te verilmiştir.

$$505.55 \times \psi_{1,2} + 17823.84 \times \psi_{2,2} + 46.41 \times \psi_{3,2} + 57.66 \times \psi_{4,2} + 6000 \times \psi_{2,1} + 1777.78 \times \psi_{2,3} + 6000 \times u_1 - 4222.22 \times u_2 - 1777.78 \times u_3 = 0 \quad (24)$$

İkinci açıklık B kolonu ucunda yazılan moment denge denklemi denklem 25'te verilmiştir.

$$-61.88 \times \psi_{1,2} + 46.41 \times \psi_{2,2} + 17931.41 \times \psi_{3,2} - 852.19 \times \psi_{4,2} + 6000 \times \psi_{3,1} + 1777.78 \times \psi_{3,3} + 6000 \times u_1 - 4222.22 \times u_2 - 1777.78 \times u_3 = 0 \quad (25)$$

İkinci açıklık D kolonu ucunda yazılan moment denge denklemi denklem 26'da verilmiştir.

$$47.11 \times \psi_{1,2} - 57.66 \times \psi_{2,2} + 852.19 \times \psi_{3,2} + 19992.27 \times \psi_{4,2} + 6000 \times \psi_{4,1} + 1777.78 \times \psi_{4,3} + 6000 \times u_1 - 4222.22 \times u_2 - 1777.78 \times u_3 = 0 \quad (26)$$

Üçüncü açıklık simetri eksenindeki B kolonu ucunda yazılan moment denge denklemi denklem 27'de verilmiştir.

$$-15.47 \times \psi_{3,2} + 46.41 \times \psi_{4,2} + 9391.80 \times \psi_{5,2} + 426.09 \times \psi_{6,2} + 3000 \times \psi_{5,1} + 888.89 \times \psi_{5,3} + 3000 \times u_1 - 2111.11 \times u_2 - 888.89 \times u_3 = 0 \quad (27)$$

Üçüncü açıklık simetri eksenindeki D kolonu ucunda yazılan moment denge denklemi denklem 28'de verilmiştir.

$$47.11 \times \psi_{3,2} - 10.55 \times \psi_{4,2} + 426.09 \times \psi_{5,2} + 10422.23 \times \psi_{6,2} + 3000 \times \psi_{6,1} + 888.89 \times \psi_{6,3} + 3000 \times u_1 - 2111.11 \times u_2 - 888.89 \times u_3 = 0 \quad (28)$$

2. kata ait yatay denge denklemi denklem 29'da verilmiştir.

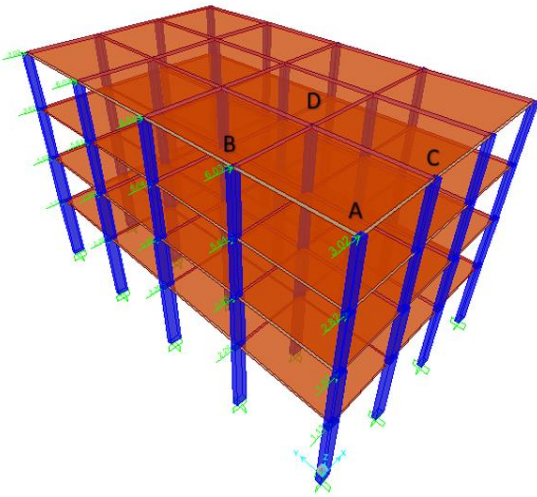
$$\begin{aligned}
 & -6000 \times \left(\psi_{1,1} + \psi_{2,1} + \psi_{3,1} + \psi_{4,1} + \frac{\psi_{5,1} + \psi_{6,1}}{2} \right) \\
 & - 4226.26 \\
 & \times \left(\psi_{1,2} + \psi_{2,2} + \psi_{3,2} + \psi_{4,2} + \frac{\psi_{5,2}}{2} \right. \\
 & \left. + \frac{\psi_{6,2}}{2} \right) + 1777.7 \\
 & \times \left(\psi_{1,3} + \psi_{2,3} + \psi_{3,3} + \psi_{4,3} + \frac{\psi_{5,3}}{2} \right. \\
 & \left. + \frac{\psi_{6,3}}{2} \right) - 20000 \times u_1 + 25925 \times u_2 \\
 & - 5926 \times u_3 = 15.7/4
 \end{aligned} \quad (29)$$

Bu denklem sistemlerinin çözümü ile kolon uç momentleri ve düğümlerdeki dengeden döşemelerin kolon bölgesindeki momentleri elde edilmiştir [11],[13].

2.3 Sonlu elemanlar yöntemi

Analitik problemlerin çözümü matematiksel modellerin sadeleştirilmesi ile elde edilebilmektedir. Ancak birçok analitik problem çözümü için bu mümkün olmayabilir. Farklı geometrik ve sınır koşulları, lineer olmayan malzeme davranışı ve üniform olmayan yüklemeler gibi nedenler problemlerin çözümünü karmaşık bir hale getirebilir. Bu gibi durumlarda sonlu elemanlar yönteminin kullanılması çözümü oldukça kolaylaştırmaktadır. Bu yönetime göre tüm yapıyı tek seferde çözmek yerine küçük parçalara bölerken elde edilen çözümlerin bir araya getirilmesi sonucu asıl yapıyı temsil eden çözüme ulaşılmış olur. Bunun içinde birçok veri işlemek ve bilgisayar programlarının kullanılması gerekir.

Mühendislik hesaplamalarında sonlu elemanlar yöntemini kullanan SAP2000 programı yardımı ile kirişsiz plak döşemeli taşıyıcı sistem modeli oluşturularak analizi gerçekleştirilmiştir [14]. Katlara gelen yatay kuvvetler kolon ve döşemelerin birleştiği düğüm noktalarına paylaştırılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6: SAP2000 taşıyıcı sistem modeli.

Sonlu elemanlar tabanlı SAP2000 programı analiz sonucunda elde edilen döşeme momentlerinin dağılımı çerçeve sistemlerde olduğu gibi sadece yatay yük doğrultusunda değildir. Çalışmadaki diğer analiz yöntemleri ile kıyaslama yapabilmek adına döşeme momentlerini hesaplayabilmek için düğüm noktalarına gelen momentler toplamlarının sıfır olması gerektiği kabulünden faydalanılmıştır. SAP2000 analizinden

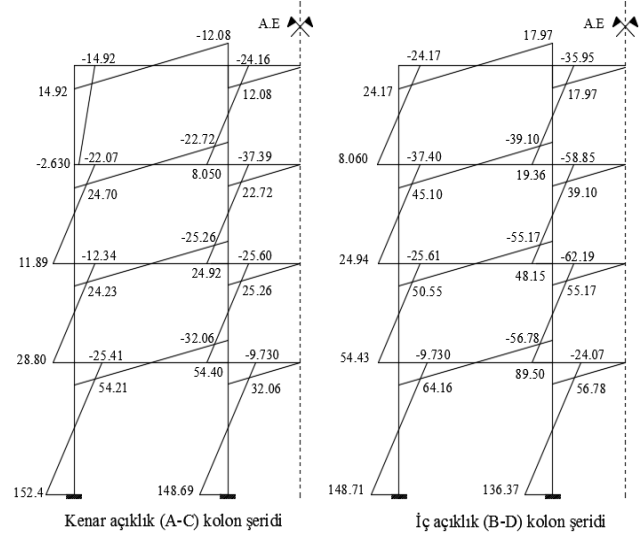
elde edilen yapı ağırlığı, periyodu ve kütle katılım oranlarına ait bilgiler Tablo 3'te verildiği gibidir.

Tablo 3: Yapı ile ilgili bilgiler.

Yapı Ağırlığı (kN)		Yapı Periyodu	Kütle Katılım Oranları		
Kolon	Plak	sn.	Ux	Uy	Uz
793	3460	0.908	100	100	3.65E-10

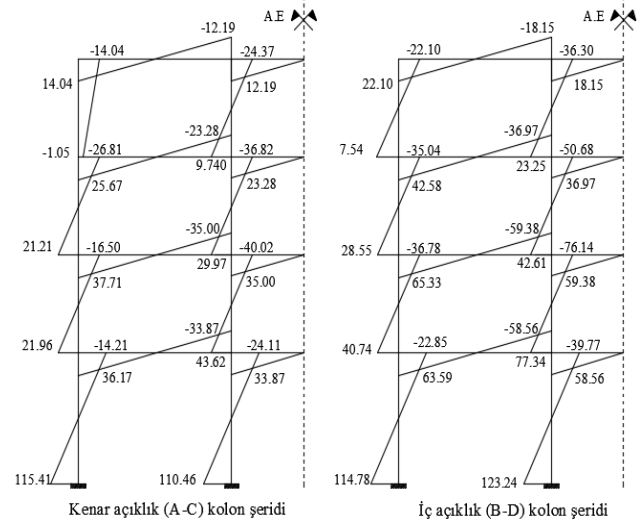
3 Bulgular

Deprem etkisindeki kirişsiz plak döşemeler için verilen bilgiler ışığında, üç farklı metotla taşıyıcı sistem simetrisinden yararlanılarak çözülen bir yapının, ilk 2 açıklık ve 4 kolon üzerinden elde edilen sonuç momentleri yapılan çalışmayla karşılaştırılmıştır. İlk olarak eşdeğer çerçeve yöntemini Muto metodunda kullanarak elde edilen momentler Şekil 7'de verildiği gibidir.



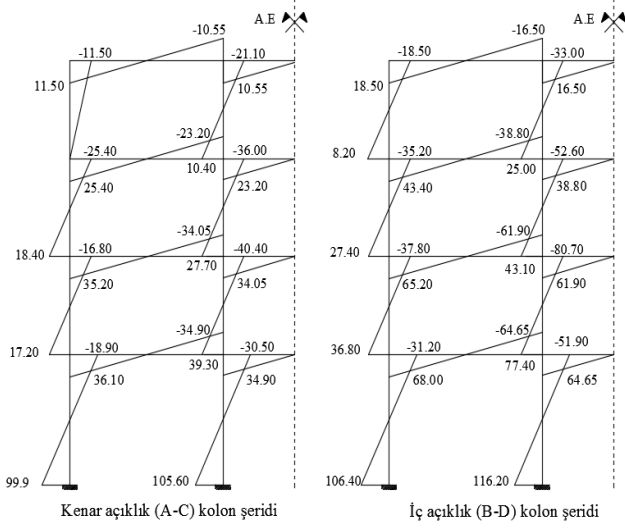
Şekil 7: Eşdeğer çerçeve yöntemi moment değerleri (kNm).

İkinci olarak Ünlüoğlu'nun geliştirdiği çözüm yönteminin uygulanmasıyla elde edilen momentler Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: Ünlüoğlu yöntemi moment değerleri (kNm).

Üçüncü olarak SAP2000 program analizi yardımıyla elde edilen sonuç momentler Şekil 9'da görüldüğü gibidir.



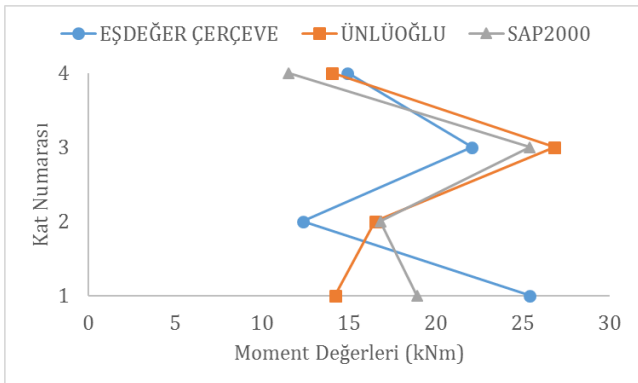
Şekil 9: SAP2000 analizi moment değerleri (kNm).

Değerlendirmeler simetri ekseninde bulunan kenar ve iç açıklık kolon şeridindeki kolonlar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Kenar açıklıktaki kolon şeridinde bulunan kolonlar A ve C olarak, iç açıklık kolon şeridinde bulunan kolonlar ise B ve D olarak isimlendirilmiştir. A, B, C, D kolonları üst ve alt momentleri ile bu kolonlar arasındaki döşeme şeridinin sağ ve sol tarafındaki moment değerleri tablolar halinde verilmiş ve ayrıca grafiksel olarak kullanılan çözüm yöntemleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kat numarasına göre kenar açıklıktaki A kolonu üst ve alt momentleri Tablo 4'te verilmiştir.

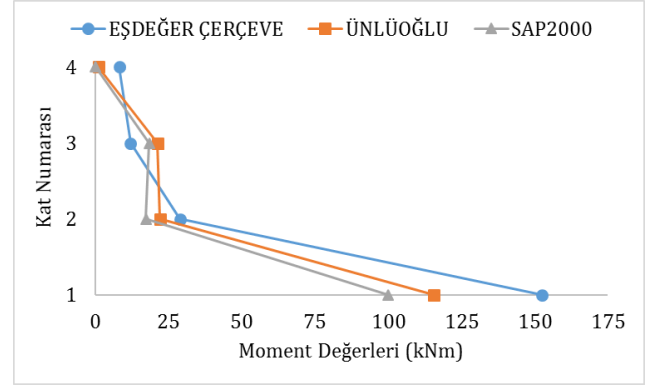
Tablo 4: A kolonu alt ve üst momentleri.

Kat No	Eşdeğer Çerçeve		Ünlüoğlu		SAP2000	
	M _{üst}	M _{alt}	M _{üst}	M _{alt}	M _{üst}	M _{alt}
4A	15	8	14	1	12	0
3A	22	12	27	21	25	18
2A	12	29	17	22	17	17
1A	25	152	14	115	19	100

Üç yöntemin karşılaştırılması sonucu katlardan elde edilen kenar açıklık A kolonuna ait üst momentler Şekil 10'da alt momentler ise Şekil 11'de verildiği gibidir.



Şekil 10: A kolonunun üst mesnedindeki moment değerleri.



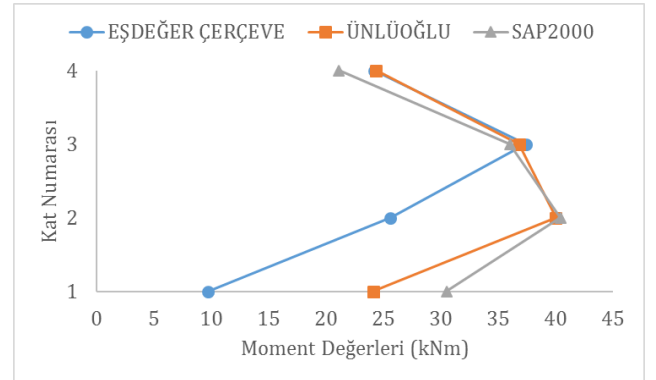
Şekil 11: A kolonunun alt mesnedindeki moment değerleri.

Kat numarasına göre kenar açıklıktaki C kolonu üst ve alt momentleri Tablo 5'te verilmiştir.

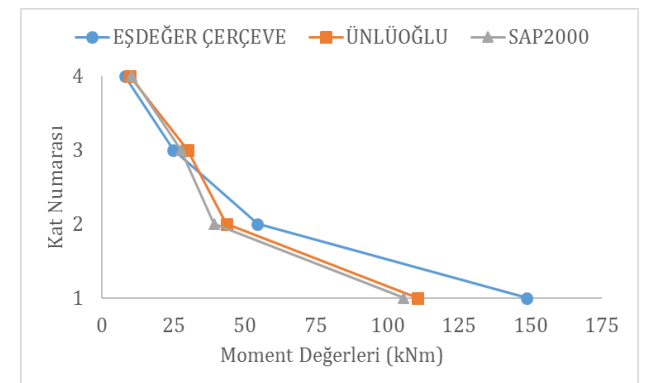
Tablo 5: C kolonu alt ve üst momentleri.

Kat No	Eşdeğer Çerçeve		Ünlüoğlu		SAP2000	
	M _{üst}	M _{alt}	M _{üst}	M _{alt}	M _{üst}	M _{alt}
4C	24	8	24	10	21	10
3C	37	25	37	30	36	28
2C	26	54	40	44	40	39
1C	10	149	24	110	31	106

Üç yöntemin karşılaştırılması sonucu katlardan elde edilen kenar açıklık C kolonuna ait üst momentler Şekil 12'de alt momentler ise Şekil 13'te verildiği gibidir.



Şekil 12: C kolonunun üst mesnedindeki moment değerleri.



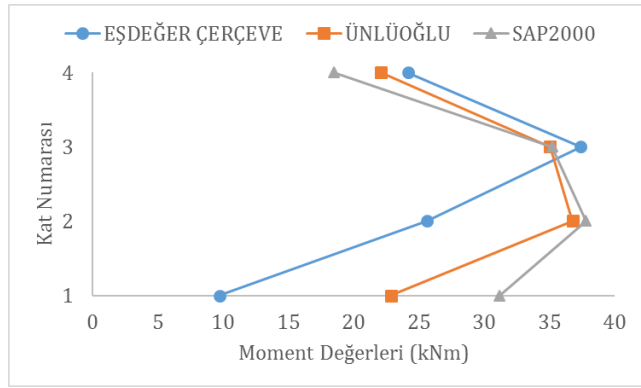
Şekil 13: C kolonunun alt mesnedindeki moment değerleri.

Kat numarasına göre iç açıklıktaki B kolonu üst ve alt momentleri Tablo 6'da verilmiştir.

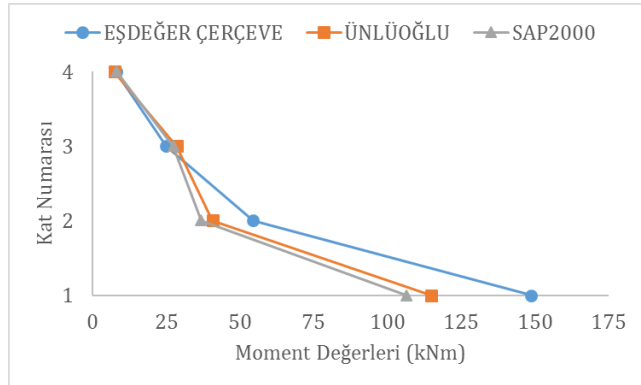
Tablo 6: B kolonu alt ve üst momentleri.

Kat No	Eşdeğer Çerçeve		Ünlüoğlu		SAP2000	
	M _{üst}	M _{alt}	M _{üst}	M _{alt}	M _{üst}	M _{alt}
4B	24	8	22	8	19	8
3B	37	25	35	29	35	27
2B	26	54	37	41	38	37
1B	10	149	23	115	31	106

Üç yöntemin karşılaştırılması sonucu katlardan elde edilen iç açıklık B kolonuna ait üst momentler Şekil 14'te alt momentler ise Şekil 15'te verildiği gibidir.



Şekil 14: B kolonunun üst mesnedindeki moment değerleri.



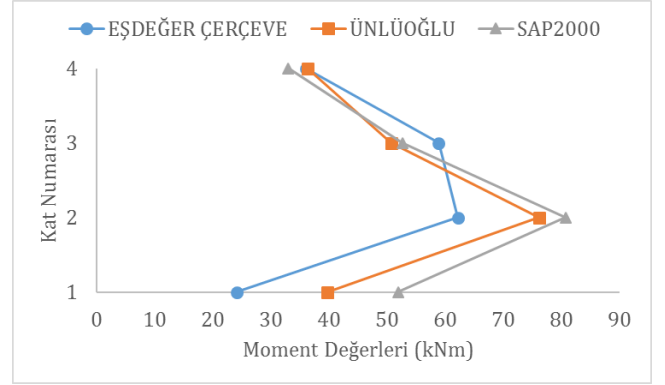
Şekil 15: B kolonunun alt mesnedindeki moment değerleri.

Kat numarasına göre iç açıklıktaki D kolonu üst ve alt momentleri Tablo 7'de verilmiştir.

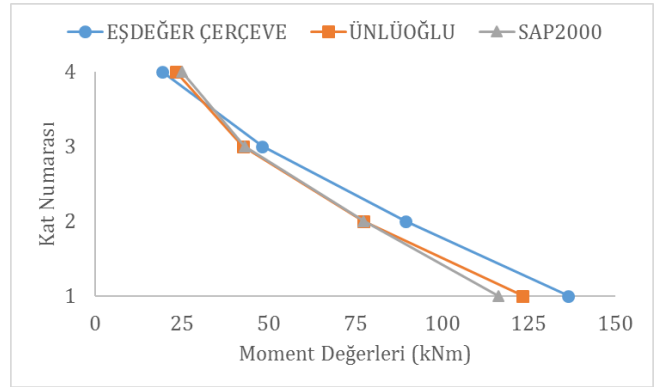
Tablo 7: D kolonu alt ve üst momentleri.

Kat No	Eşdeğer Çerçeve		Ünlüoğlu		SAP2000	
	M _{üst}	M _{alt}	M _{üst}	M _{alt}	M _{üst}	M _{alt}
4D	36	19	36	23	33	25
3D	59	48	51	43	53	43
2D	62	90	76	77	81	77
1D	24	136	40	123	52	116

Üç yöntemin karşılaştırılması sonucu katlardan elde edilen iç açıklık D kolonuna ait üst momentler Şekil 16'da alt momentler ise Şekil 17'de verildiği gibidir.



Şekil 16: D kolonunun üst mesnedindeki moment değerleri.



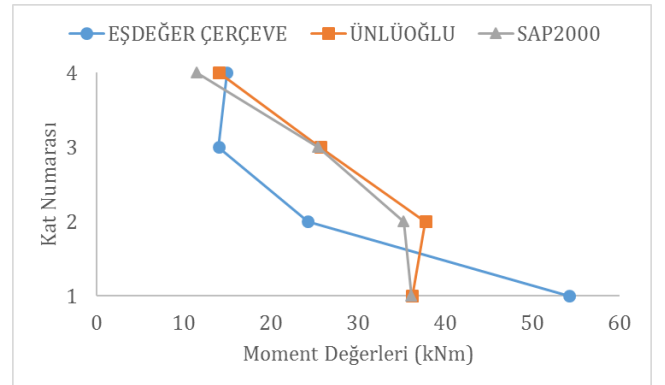
Şekil 17: D kolonunun alt mesnedindeki moment değerleri.

Kat numarasına göre kenar açıklık A-C kolonları arasındaki döşeme momentleri Tablo 8'de verilmiştir.

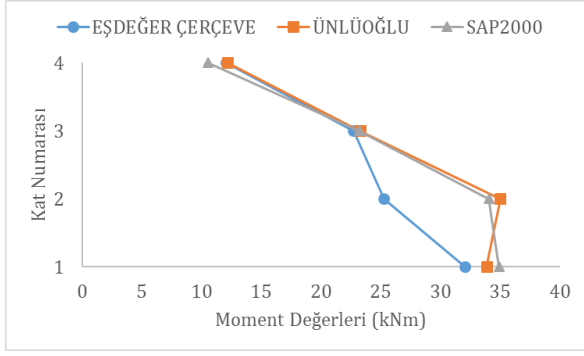
Tablo 8: A-C kolonları arasındaki döşeme momentleri.

Kat No	Eşdeğer Çerçeve		Ünlüoğlu		SAP2000	
	M _{sol}	M _{sağ}	M _{sol}	M _{sağ}	M _{sol}	M _{sağ}
4	15	12	14	12	12	11
3	14	23	26	23	25	23
2	24	25	38	35	35	34
1	54	32	36	34	36	35

Üç yöntemin karşılaştırılması sonucu katlardan elde edilen kenar açıklık A-C kolonları arasındaki döşeme sol taraf momentleri Şekil 18'de sağ taraf momentleri ise Şekil 19'da verildiği gibidir.



Şekil 18: A-C kolonları arası döşeme sol taraf momentleri.



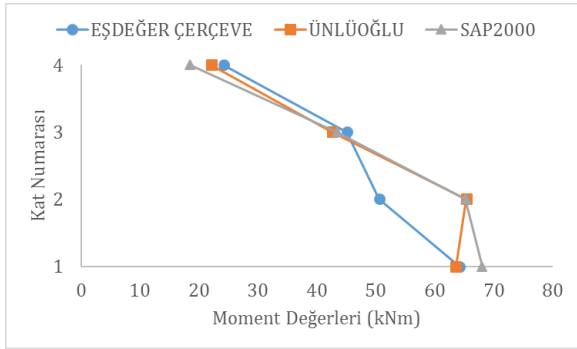
Şekil 19: A-C kolonları arası döşeme sağ taraf momentleri.

Kat numarasına göre kenar açıklık B-D kolonları arasındaki döşeme momentleri Tablo 9'da verilmiştir.

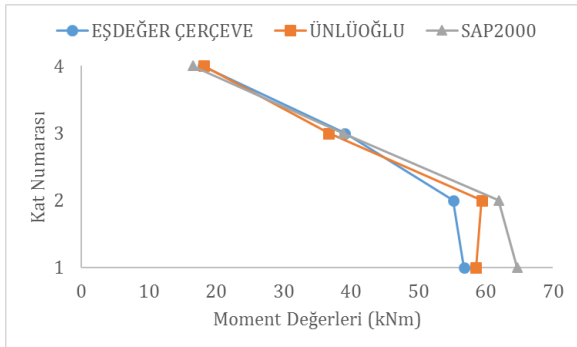
Tablo 9: B-D kolonları arasındaki döşeme momentleri.

Kat No	Eşdeğer Çerçeve		Ünlüoğlu		SAP2000	
	M _{sol}	M _{sağ}	M _{sol}	M _{sağ}	M _{sol}	M _{sağ}
4	24	18	22	18	19	17
3	45	39	43	37	43	39
2	51	55	65	59	65	62
1	64	57	64	59	68	65

Üç yöntemin karşılaştırılması ile katlardan elde edilen kenar açıklık B-D kolonları arasındaki döşeme sol taraf momentleri Şekil 20'de sağ taraf momentleri ise Şekil 21'de verildiği gibidir.



Şekil 20: B-D kolonları arası döşeme sol taraf momentleri.



Şekil 21: B-D kolonları arası döşeme sağ taraf momentleri.

4 Sonuçlar

Kirişsiz döşemeli betonarme yapıların yatay yükler etkisi altındaki davranışı yapılan bu çalışmalarla daha doğru olarak incelenmiş ve bunlara ait çözümler elde edilmiştir. Bu çalışmada eşdeğer çerçeve yöntemindeki kabuller ile muto yöntemine göre döşemenin bir kiriş gibi düşünüldüğü

çözümlerin uygun olmadığı görülmüştür. Çünkü bir kolona etki eden eğilme momenti sadece yatay yükleme doğrultusundaki kolonlara değil aynı zamanda döşeme düzlemi içindeki komşu kolonlara da dağıldığından bu momentin yarısından çok daha azı karşı kolona geçmektedir.

Ünlüoğlu'nun moment geçiş katsayılarını kullandığı çözüm yönteminde 1/4 taşıyıcı sistem simetrisinden faydalanılmıştır. Bu yöntemle yapılan çözümlerde kullanılmak üzere moment geçiş katsayılarına ait hazır tablolar verilmesine rağmen sonlu elemanlar yöntemine göre hesap yapan bilgisayar destekli yazılımlara gereksinim duyulmaktadır. Elde edilen sonuç momentler SAP2000 programı ile elde edilen tasarım momentlerine çok yakın çıkmıştır. Bu açıdan Ünlüoğlu'nun açılı metodu denklemlerini kullanarak (α) moment geçiş katsayıları ile çözüme gittiği analiz yönteminin kirişsiz plak döşemelerin tasarımı için yeterince hassasiyete sahip olduğu görülmektedir.

5 Teşekkür

Bu çalışmanın oluşturulmasında yararlandığım yüksek lisans tezimin tez danışmanlığı görevini yürüten ve 2013 yılında vefat eden çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Yaşar Uğur'a sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunar kendisine Allah'tan rahmet dilerim.

6 Kaynaklar

- [1] Kim HS, Lee DG. "Efficient analysis of flat slab structures subjected to lateral loads". *Engineering Structures*, 27(2), 251-263, 2005.
- [2] Sağlıyan S, Erdoğan AS, Karaton M. "The effect of dimensional parameters on the behavior of reinforced concrete slabs with continuous drop panel". *Engineering Sciences*, 6(2), 497-506, 2011.
- [3] Benavent-Climent A, Zamora-Sánchez D, Gil-Villaverde JF. "Experimental study on the effective width of flat slab structures under dynamic seismic loading". *Engineering Structures*, 40, 361-370, 2012.
- [4] Priya KS, Durgabhavani T, Mounika K, Nageswari M, Poluraju P. "Non-linear pushover analysis of flat slab building by using SAP2000". *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 1(1), 29-33, 2012.
- [5] Bhina MR, Banerjee A, Paul DK. "Assessment of different aspects of RC flat-slab building over normal RC frame building". *International Conference on Structural Engineering and Construction Management*, Kandy, Sri Lanka, 13-15 December 2013.
- [6] Qian K, Li B. "Dynamic disproportionate collapse in flat-slab structures". *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(5), B4014005, 2014.
- [7] Qian K, Li B. "Load-resisting mechanism to mitigate progressive collapse of flat slab structures". *Magazine of Concrete Research*, 37(7), 349-363, 2015.
- [8] Choi KK, Kim JC. "Nonlinear model simulating load-deformation relationship of flat plate structures". *Engineering Structures*, 85, 26-35, 2015.
- [9] Youssef MA, Chowdhury AO, Meshaly ME. "Seismic capacity of reinforced concrete interior flat plate connections". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(3), 827-840, 2015.
- [10] Fick DR, Sozen MA, Kreger ME. "Cyclic lateral load test and the estimation of elastic drift response of a full-scale three-story flat-plate structure". *Special Publication*, 296, 1-14, 2014.

- [11] Özbayrak A. Kirişsiz Döşemeli Betonarme Yapıların Yatay Kuvvetler Altında Rijitlik Değerlerinin Yapay Sinir Ağları ile Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2008.
- [12] Doğançün A. *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*. Sekizinci baskı. İstanbul, Türkiye, Birsen Yayınevi, 2002.
- [13] Ünlüoğlu E. *Kirişsiz Döşemeli Sistemlerde Yatay Kuvvetler Etkisi Altında Rijitlik Değerlerinin Araştırılması*. Eskişehir, Türkiye, Anadolu Üniversitesi Basımevi, 1989.
- [14] SAP2000 v8 Educational Version, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA, 2004.

Ek A

(α) Moment Geçiş Katsayıları Tabloları.

Kolonlu çerçeve sistemlerde (α) moment geçiş katsayıları.

l_y/l_x	0.500								
u/l_x	0.050			0.100			0.150		
v/l_y	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15
α_{AA}	2.35	2.69	3.03	3.17	3.60	4.03	4.05	4.61	5.15
α_{BB}	5.03	5.45	5.86	6.86	7.42	7.95	8.78	9.52	10.2
α_{CC}	4.29	4.98	5.63	5.55	6.40	7.21	6.91	7.97	8.97
α_{DD}	9.44	10.2	10.9	12.3	13.3	14.2	15.3	16.6	17.8
$\alpha_{BA}=\alpha_{AB}$	-0.67	-0.80	-0.93	-1.14	-1.33	-1.53	-1.69	-1.97	-2.25
$\alpha_{CA}=\alpha_{AC}$	0.59	0.70	0.80	0.84	0.98	1.10	1.13	1.30	1.45
$\alpha_{DA}=\alpha_{AD}$	0.24	0.26	0.29	0.30	0.32	0.35	0.33	0.36	0.38
$\alpha_{BC}=\alpha_{CB}$	0.23	0.26	0.28	0.29	0.32	0.34	0.33	0.35	0.38
$\alpha_{BD}=\alpha_{DB}$	0.88	0.96	1.02	1.30	1.39	1.46	1.78	1.87	1.95
$\alpha_{CD}=\alpha_{DC}$	-1.03	-1.26	-1.50	-1.59	-1.92	-2.26	-2.25	-2.71	-3.17

Kolonlu çerçeve sistemlerde (α) moment geçiş katsayıları.

l_y/l_x	0.750								
u/l_x	0.050			0.100			0.150		
v/l_y	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15
α_{AA}	1.66	1.95	2.23	2.14	2.49	2.82	2.65	3.073	3.4
α_{BB}	3.38	3.70	4.00	4.41	4.79	5.15	5.48	5.92	6.35
α_{CC}	3.10	3.69	4.26	3.88	4.58	5.24	4.73	5.56	6.34
α_{DD}	6.52	7.12	7.69	8.19	8.92	9.57	9.96	10.7	11.5
$\alpha_{BA}=\alpha_{AB}$	-0.23	-0.28	-0.33	-0.36	-0.44	-0.52	-0.52	-0.63	-0.74
$\alpha_{CA}=\alpha_{AC}$	0.48	0.60	0.72	0.69	0.84	0.98	0.93	1.12	1.29
$\alpha_{DA}=\alpha_{AD}$	0.13	0.15	0.17	0.17	0.20	0.22	0.21	0.24	0.26
$\alpha_{BC}=\alpha_{CB}$	0.12	0.15	0.17	0.17	0.19	0.21	0.21	0.23	0.25
$\alpha_{BD}=\alpha_{DB}$	0.77	0.86	0.96	1.14	1.26	1.37	1.57	1.72	1.85
$\alpha_{CD}=\alpha_{DC}$	-0.33	-0.42	-0.52	-0.47	-0.59	-0.73	-0.63	-0.79	-0.97

Kolonlu çerçeve sistemlerde (α) moment geçiş katsayıları.

l_y/l_x	1.000								
u/l_x	0.050			0.100			0.150		
v/l_y	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15
α_{AA}	1.34	1.61	1.87	1.69	2.01	2.32	2.07	2.45	2.80
α_{BB}	2.63	2.91	3.17	3.36	3.68	3.99	4.11	4.49	4.84
α_{CC}	2.54	3.09	3.62	3.12	3.77	4.38	3.77	4.53	5.24
α_{DD}	5.16	5.68	6.17	6.35	6.96	7.53	7.62	8.33	9.00
$\alpha_{BA}=\alpha_{AB}$	-0.09	-0.12	-0.14	-0.14	-0.18	-0.21	-0.20	-0.25	-0.30
$\alpha_{CA}=\alpha_{AC}$	0.42	0.55	0.67	0.60	0.75	0.90	0.80	0.99	1.18
$\alpha_{DA}=\alpha_{AD}$	0.06	0.08	0.09	0.09	0.11	0.13	0.12	0.14	0.16
$\alpha_{BC}=\alpha_{CB}$	0.06	0.08	0.09	0.09	0.11	0.12	0.12	0.14	0.16
$\alpha_{BD}=\alpha_{DB}$	0.68	0.79	0.90	1.00	1.14	1.27	1.36	1.54	1.704
$\alpha_{CD}=\alpha_{DC}$	-0.12	-0.16	-0.21	-0.16	-0.22	-0.28	-0.21	-0.28	-0.35

Kolonlu çerçeve sistemlerde (α) moment geçiş katsayıları.

l_y/l_x	1.250								
	u/l_x	0.050				0.100			0.150
v/l_y	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15
α_{AA}	1.58	1.41	1.66	1.44	1.74	2.04	1.75	2.10	2.44
α_{BB}	2.21	2.46	2.70	2.78	3.07	3.35	3.37	3.72	4.04
α_{CC}	2.21	2.74	3.25	2.69	3.30	3.89	3.22	3.94	4.63
α_{DD}	4.37	4.84	5.29	5.30	5.86	6.39	6.31	6.97	7.59
$\alpha_{BA}=\alpha_{AB}$	-0.04	-0.05	-0.07	-0.06	-0.08	-0.10	-0.08	-0.11	-0.13
$\alpha_{CA}=\alpha_{AC}$	0.39	0.51	0.63	0.54	0.69	0.84	0.71	0.91	1.09
$\alpha_{DA}=\alpha_{AD}$	0.03	0.04	0.05	0.51	0.06	0.07	0.06	0.08	0.09
$\alpha_{BC}=\alpha_{CB}$	0.03	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07	0.06	0.08	0.09
$\alpha_{BD}=\alpha_{DB}$	0.63	0.74	0.84	0.89	1.03	1.17	1.21	1.39	1.56
$\alpha_{CD}=\alpha_{DC}$	-0.05	-0.07	-0.09	-0.06	-0.09	-0.12	-0.08	-0.11	-0.14

Kolonlu çerçeve sistemlerde (α) moment geçiş katsayıları.

l_y/l_x	1.500								
	u/l_x	0.050				0.100			0.150
v/l_y	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15
α_{AA}	1.03	1.20	1.53	1.28	1.57	1.85	1.54	1.89	2.22
α_{BB}	1.93	2.17	2.40	2.41	2.69	2.95	2.90	3.23	3.54
α_{CC}	2.00	2.52	3.01	2.41	3.00	3.58	2.87	3.56	4.23
α_{DD}	3.84	4.29	4.72	4.61	5.15	5.66	5.46	6.09	6.69
$\alpha_{BA}=\alpha_{AB}$	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.05	-0.04	-0.05	-0.06
$\alpha_{CA}=\alpha_{AC}$	0.39	0.49	0.61	0.50	0.65	0.80	0.65	0.85	1.03
$\alpha_{DA}=\alpha_{AD}$	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05
$\alpha_{BC}=\alpha_{CB}$	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05
$\alpha_{BD}=\alpha_{DB}$	0.58	0.69	0.80	0.82	0.96	1.10	1.09	1.27	1.45
$\alpha_{CD}=\alpha_{DC}$	-0.02	-0.03	-0.04	-0.02	-0.04	-0.0	-0.034	-0.04	-0.06