

MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLA TEŞKİL EDİLMİŞ ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN İKİNCİ MERTEBE ANALİZİ

M. Emin KURAL *, **Özer ZEYBEK ****

Geliş: 25.01.2011 Kabul: 20.02.2012

ÖZET

Günümüzde kullanılan mevcut yapı standartları, gerçek yapısal davranışı elde etmek için doğrusal elastik analize izin vermesine karşın, pek çok yapı, yatay yükler altında doğrusal olmayan davranış gösterir. Bu durumda, doğrusal elastik yöntemlerin yerine doğrusal olmayan teoriyi esas alan hesap yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmada, doğrusal analize göre boyutlandırılan farklı formlarda merkezi çelik çaprazla teşkil edilmiş çok katlı çelik yapılar ele alınmış ve bu yapıların geometri bakımından doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada esas alınan üç boyutlu çelik çerçeveler, fiktif çubuklar kullanılarak düzlem çerçevelere indirgenmiş ve ikinci mertebe analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen kat yatay yer değiştirmeleri, göreceli kat ötelenmeleri, yapı salınım faktörü değerleri (YSF), seçilen kolon-kiriş elemanlarının iç kuvvet değerleri grafikler ve tablolar halinde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Çalışmada göz önüne alınan merkezi çelik çaprazla teşkil edilmiş çelik binalardaki ikinci mertebe etkilerin, moment aktaran çerçeve sistemine göre daha küçük mertebede olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Doğrusal olmayan davranış, merkezi çelik çapraz, ikinci mertebe analiz*

SECOND ORDER ANALYSIS OF MULTI STOREY STEEL STRUCTURES THAT ARE FORMED BY CONCENTRIC STEEL BRACES

ABSTRACT

Most of the existing building codes allow linear elastic analysis in order to calculate the actual structural behavior; however, many structures display nonlinear behavior under the effects of lateral load application. Therefore, computing methods that are based on nonlinear theory instead of linear elastic theory must be applied. In this study, multi-storey steel structures that are modeled with different forms of concentric steel braces are designed by using linear elastic methods first. Then these structures are investigated by taking into account of geometrically nonlinear behavior of the structures. Three dimensional steel frames forming the basis of this study are reduced to two dimensional frames using fictive rod elements and then the second-order elastic analyses are performed on the reduced models. Story drifts, inter-story drifts, overall drift index and internal forces of selected column and beam elements are given in graphs and tables at the result of the study comparatively. As a result, second order effects on the steel structures that are modeled with different forms of concentric steel braces are found to be smaller than the ones modeled with moment resisting frame systems.

Key Words: *Nonlinear behavior, concentric steel braces, second order analysis*

* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tinaztepe, İzmir
emin.kural@deu.edu.tr

** Muğla Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kötekli, Muğla
ozerzeybek@mu.edu.tr

1.GİRİŞ

Yapıların dış tesirler altındaki gerçek davranışlarının incelenmesi, doğrusal olmayan teoriyi esas alan hesap ve boyutlandırma yöntemlerinin uygulanması ile mümkün olmaktadır. Yapıların doğrusal olmayan davranışı; malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan davranış olmak üzere iki ana başlık altında incelenir. Gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının doğrusal olmaması durumunda malzeme, denge denklemlerinin doğrusal olmaması durumunda ise geometri bakımından doğrusal olmayan davranış dikkate alınmış olur (Özer, 2009). Çelik yapıların davranışının gerçekçi olarak incelenebilmesi için kolon-kiriş birleşim davranışının yanında malzeme ve geometri gibi temel özelliklerinin de göz önüne alınması gerekir (Bozdağ ve Seçer, 2004). Çelik, yüksek ve narin yapı sistemlerinde kullanıldığı için geometri bakımından doğrusal olmayan davranış gösterir. Çelik çerçevelerin bu davranışı ikinci mertebeye etkileri ifade etmekte ve ikinci mertebeye etkiler yapının rijitliğini ve stabilitesini önemli ölçüde etkilemektedir (Nethercot, 2000). Geometri değişimlerinin denge denklemlerine olan etkisinin ihmal edilmediği durumda ikinci mertebeye analiz yapılması gerekir (Chen ve Lui, 1991). Bu durumda doğrusal ve doğrusal olmayan artımsal yöntemler kullanılarak yapıların ikinci mertebeye analizi gerçekleştirilir (Lu vd., 2008).

Bu çalışmada, emniyet gerilmeleri yöntemine göre boyutlandırılmış üç boyutlu çelik çerçeveler, fiktif çubuklar kullanılarak düzlemsel hale indirgenmiş ve bu çerçevelerin ikinci mertebeye analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat ötelenmeleri, yapı salınım faktörü (YSF) değerleri (Uniform Building Code [UBC], 1997) ve çerçevede seçilen çubuk elemanlarının iç kuvvet değerleri grafikler ve tablolar halinde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2. GEOMETRİ BAKIMINDAN DOĞRUSAL OLMAYAN YAPI SİSTEMLERİNİN SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Birinci mertebeye doğrusal elastik analizde denge denklemleri sistemin şekil değiştirmemiş geometrisi üzerinden elde edilirken, ikinci mertebeye analizde ise denge denklemleri sistemin şekil değiştirmiş geometrisi üzerinden yazılır (Seçer, 2007). Doğrusal elastik analizde eleman rijitlik matrislerinden sistemin rijitlik matrisi oluşturulur ve buradan hareketle, yük ve yer değiştirme arasındaki ilişki denklem (1) ile verilen denge denkleminde elde edilir.

$$[K]\{D\} = \{F\} \quad (1)$$

Burada, $[K]$ sistem rijitlik matrisi, $\{D\}$ düğüm noktası yer değiştirme vektörü, $\{F\}$ ise yük vektörünü temsil etmektedir. Eğer $[K]$ matrisi sistem elemanlarının iç kuvvetleri ve yer değiştirmelerinin değişimine bağlı ise denklem (1)'deki yük-yer değiştirme ilişkisi doğrusal olmayıp, düğüm noktası yer değiştirmeleri tek bir hesap

adımında elde edilemez. Bu durumda doğrusal olmayan yapı sistemlerinin etkin bir şekilde hesabı için her adımda problemin doğrusallaştırılması esasına dayanan sayısal çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler; doğrusal artımsal, doğrusal olmayan artımsal ve direkt iterasyon olmak üzere üçe ayrılır. Bu çalışmada, doğrusal artımsal ve doğrusal olmayan artımsal yöntem kullanılarak geometri bakımından doğrusal olmayan davranış incelenmiştir.

2.1. Doğrusal Artımsal Yöntemler

Herhangi bir iterasyon işlemi gerektirmeyen, pratik artımsal yöntemlerdir. Bu yöntemlerde, doğrusal olmayan davranış doğrusal parçalar kullanılarak belirlenir. Toplam yük $\{F\}$, $\{\Delta F\}$ gibi küçük yük serilerine ayrılır ve daha sonra artımsal yükten kaynaklanan yer değiştirmeler doğrusal yaklaşımla elde edilir. Doğrusal artımsal yöntemler; tek adımlı pratik artımsal yöntem ve öngörme-düzeltilme yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır. Bu yöntemlerin elde edilmesinde Runge-Kutta yaklaşımı kullanılır (McGuire vd., 2000).

2.2. Doğrusal Olmayan Artımsal Yöntemler

Doğrusal olmayan artımsal yöntemlerde, hem yük adımı boyunca oluşan yer değiştirmeler ve iç kuvvetlerin fonksiyonu hem de yük adımları başındaki mevcut yer değiştirmelerin fonksiyonu olan, artımsal rijitlik matrisi kullanılır. Her bir yük artımı sırasında rijitlik matrisi yeniden oluşturulur. İterasyon işlemleri artımsal yük ihmal edilecek düzeye gelinceye kadar devam ettirilir ve sonraki yük artımı için tekrar başa dönülür. Newton-Raphson (yük kontrol) ve iş kontrol yöntemleri doğrusal olmayan problemlerin çözümünde sık kullanılan ve hızlı yakınsama sağlayan çözüm yöntemleridir (Crisfield, 1991).

Doğrusal olmayan denklemlerin çözümü için uyarlanan birçok iteratif algoritma Newton-Raphson metodundan türetilmiştir. Bu yöntemde, ilk iterasyon aşaması doğrusal artımsal yöntemle aynıdır. Sonraki adımlarda ise eleman kuvvetleri hesaplanıp global koordinatlara taşındıktan sonra uygulanan dış yük ile iç kuvvet arasındaki dengelenmemiş yük vektörü belirlenir. Bu iterasyon işlemleri, istenilen yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar devam ettirilir.

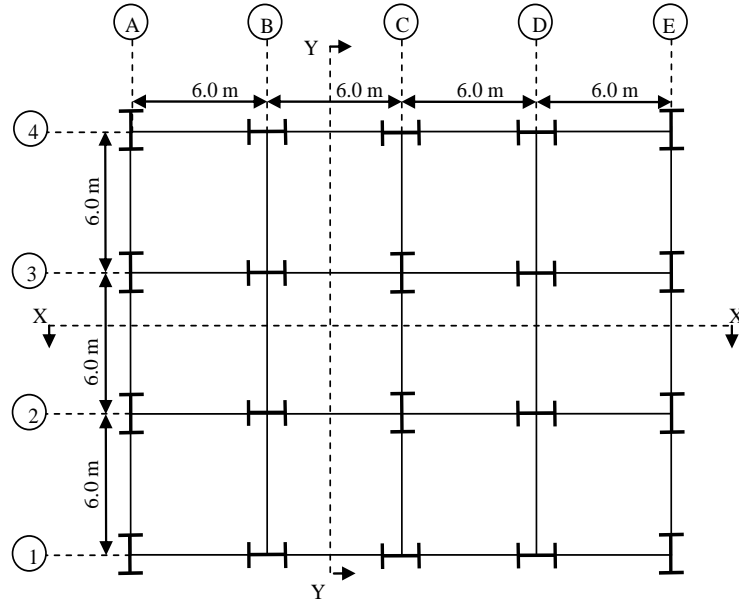
İş kontrol yöntemi ise, ilk Bathe ve Dvorkin (1983) tarafından kullanılmıştır. Yang ve McGuire (1984) yaptıkları çalışmada yük-yer değiştirme eğrisindeki denge yolunda sadece yük veya yer değiştirme kontrolünü kullanarak bu yöntemi geliştirmişlerdir. İş kontrol yönteminde, her bir yük artımı içerisinde yapılan işin sabit değerini kullanılır ve iterasyon sırasında, yük artımı içerisinde yapılan işi elde etmek için artan yer değiştirme ile birlikte yük seviyesi azaltılır. Her bir yük artımındaki yapılan iş, birinci yük artımındaki yer değiştirme ve ilave yük artımı olarak hesaplanabilir. Sonraki yük artımları için elde edilmek istenen yer değiştirme, bu sabit işe eşitlenir. İlerleyen her bir yük artımında ikinci iterasyon için, artık yer

değiştirme ve yük tarafından yapılan iş sıfır olur. Bu yöntemde her artımsal adımda sabit iş artımı kullanılır.

Bu çalışmada ikinci mertbe analiz yapan çözüm yöntemlerinden tek adımlı pratik artımsal, öngörme-düzeltilme, Newton-Raphson ve iş kontrol yöntemleri kullanılmıştır

3. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN İKİNCİ MERTEBE ANALİZİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

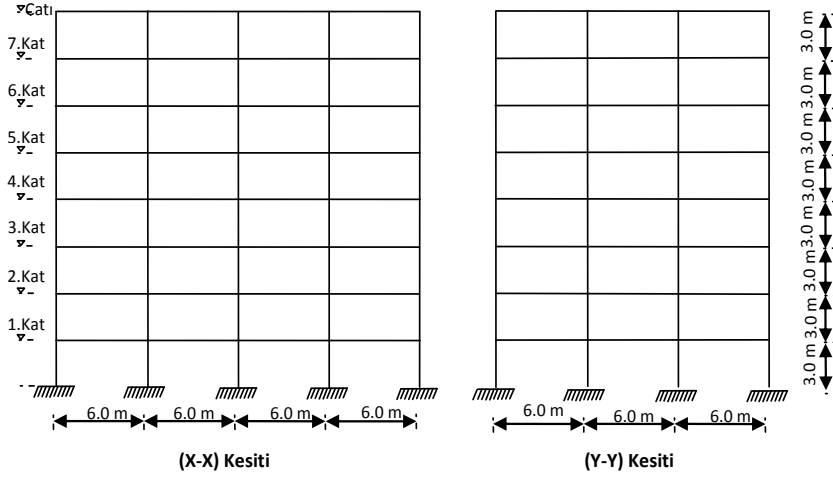
Bu çalışmada, Şekil 1’de kat planı, Şekil 2’de en kesit görünüşleri verilen moment aktaran çerçeve ve merkezi çelik çaprazla teşkil edilmiş çelik binaların ikinci mertbe analizleri yapılmıştır. Çalışmada, her iki doğrultu için aks aralığı 6,0 m olup, (X) yönünde dört, (Y) yönünde ise üç açıklığa sahiptir. Modellerin kat yükseklikleri 3,0’er m’dir. Taşıyıcı sistemin kirişleri IPE, kolonları HEB, çapraz elemanları ise kutu kesitli profillerden seçilmiştir. Yapı elemanı olarak tüm çelik taşıyıcı sistemde St-37 kalitesinde çelik malzeme kullanılmıştır (Zeybek, 2011).



Şekil 1. Bina Kat Planı

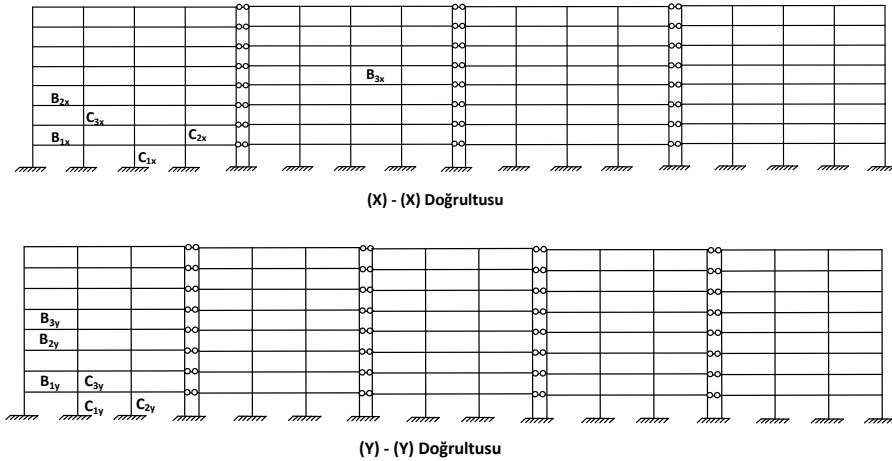
Tüm katlarda zati yük $4,0 \text{ kN/m}^2$, hareketli yük ise normal katlarda $2,0 \text{ kN/m}^2$, çatı katında $1,5 \text{ kN/m}^2$, ayrıca normal katların dış kenar kirişleri üzerinde $3,0 \text{ kN/m}$ 'lik dış duvar yükü esas alınmıştır. Sekiz katlı çelik bina modelleri ikinci derece deprem bölgesinde ve Z2 yerel zemin sınıfına göre süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmıştır. Yapıların modal analizinden 1. titreşim periyodu hesaplandıktan sonra yapı ağırlığı, spektral ivme katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısına bağlı

olarak her iki doğrultu için eşdeğer deprem yükleri hesaplanıp, her katın kat kütle merkezine tatbik edilmiştir.

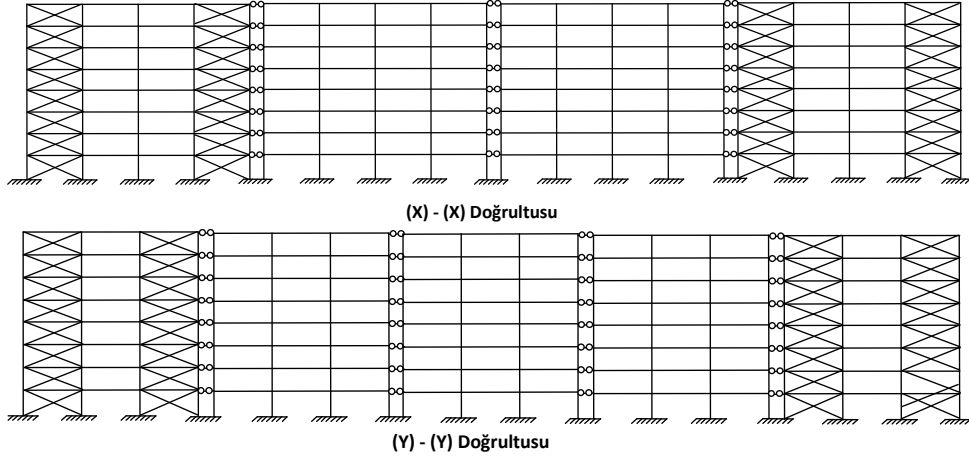


Şekil 2. Binanın Kesitleri

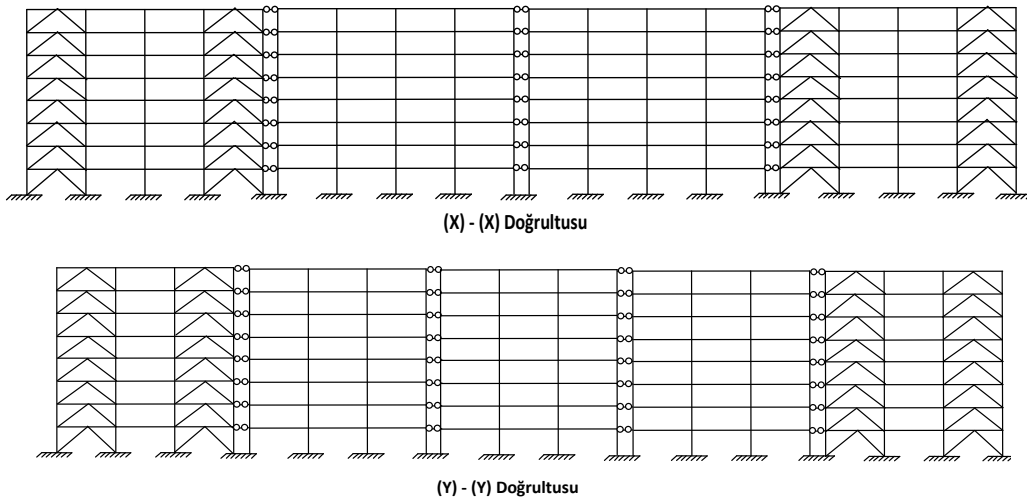
Çalışmada kullanılan yapıların döşemeleri rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiş ve kat hizalarında iki ucu mafsallı sonsuz rijit çubuklar ile bağlanarak, üç boyutlu yapı eşdeğer düzlemsel sistemlere indirgenmiştir (Dündar ve Kıral, 1986). Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5 ile sunulan düzlemsel modellerin ikinci mertebeli analizleri MASTAN2 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (Ziemian ve McGuire, 2008). Binaların (X) ve (Y) doğrultularındaki açıklık sayısı farklı olduğu için her iki doğrultu yönüne ait kat yatay yer değiştirmeleri, görel kat ötelenmeleri, YSF değerleri ve bir takım çubuk elemanlarının (C_{1x} , C_{2x} , C_{3x} , B_{1x} , B_{2x} , B_{3x}) iç kuvvet değerleri sunulmuştur.



Şekil 3. Moment Aktaran Üç Boyutlu Çelik Çerçeve'nin Düzlem Çerçeveye İndirgenmesi



Şekil 4. Merkezi X Çaprazlı Üç Boyutlu Çelik Çerçeve'nin Düzlem Çerçeveye İndirgenmesi



Şekil 5. Ters V Merkezi Çaprazlı Üç Boyutlu Çelik Çerçeve'nin Düzlem Çerçeveye İndirgenmesi

4. BULGULAR

Bu kısımda, çelik yapı modellerinin katlara göre kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat ötelenmeleri, YSF değerleri ve seçilen kolon ve kiriş elemanlarındaki (C_{1x} , C_{2x} , C_{3x} , B_{1x} , B_{2x} , B_{3x}) iç kuvvet değerleri grafikler ve tablolar halinde karşılaştırmalı

olarak verilmiştir. Kat yatay yer değiştirmeleri ve YSF değerleri; moment aktaran, merkezi X çaprazlı ve ters V merkezi çelik çaprazlı çerçeveler için sırasıyla Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’de sunulmuştur. Çerçevelerin (X) ve (Y) doğrultularından seçilen çubuk elemanlarının iç kuvvet değerleri; moment aktaran çerçeve için Tablo 4 ve Tablo 5’de, merkezi X çaprazlı çerçeve için Tablo 6 ve Tablo 7’de, ters V merkezi çaprazlı çerçeve için Tablo 8 ve Tablo 9’da verilmiştir. Benzer şekilde, çerçevelerin kat yatay yer değiştirmelerinin grafikleri Şekil 6, Şekil 8 ve Şekil 10’da görel kat ötelenmelerinin grafikleri ise Şekil 7, Şekil 9 ve Şekil 11’de sunulmuştur.

Tablo 1. Moment Aktaran Çerçevenin Kat Yatay Yer Değiştirme ve YSF Değerleri (mm)

		2. Kat	4. Kat	6. Kat	8. Kat	YSF	
(X) Doğrultusu	I.Mertebe	I.Mertebe Lineer Elastik	7,59	18,81	29,15	34,76	0,0014
		Newton-Raphson	7,70	19,08	29,54	35,17	0,0015
	II.Mertebe	İş Kontrol	7,69	19,07	29,52	35,16	0,0015
		Pratik Artımsal Yönt.	7,67	19,07	29,44	35,07	0,0015
		Öngörme-Düzeltilme	7,70	19,10	29,52	35,16	0,0015
		Sap 2000 (II. Mertebe)	7,71	19,12	29,58	35,22	0,0015
(Y) Doğrultusu	I.Mertebe	I.Mertebe Lineer Elastik	7,63	19,13	29,66	35,47	0,0015
		Newton-Raphson	7,85	19,70	30,50	36,45	0,0015
	II.Mertebe	İş Kontrol	7,83	19,56	29,32	36,21	0,0015
		Pratik Artımsal Yönt.	7,85	19,57	29,30	36,17	0,0015
		Öngörme-Düzeltilme	7,83	19,56	29,32	36,21	0,0015
		Sap 2000 (II. Mertebe)	7,80	19,49	30,21	35,96	0,0015

Tablo 2. Merkezi X Çaprazlı Çerçeve’nin Kat Yatay Yer Değiştirme ve YSF Değerleri (mm)

		2. Kat	4. Kat	6. Kat	8. Kat	YSF	
X Doğrultusu	I.Mertebe	I.Mertebe Lineer Elastik	2,14	7,20	13,79	20,71	0,0009
		Newton-Raphson	2,15	7,25	13,89	20,86	0,0009
	II.Mertebe	İş Kontrol	2,15	7,25	13,89	20,86	0,0009
		Pratik Artımsal Yönt.	2,15	7,24	13,87	20,83	0,0009
		Öngörme-Düzeltilme	2,15	7,24	13,88	20,85	0,0009
		Sap 2000 (II. Mertebe)	2,14	7,24	13,88	20,85	0,0009
Y Doğrultusu	I.Mertebe	I.Mertebe Lineer Elastik	2,15	7,24	13,90	20,91	0,0009
		Newton-Raphson	2,16	7,27	13,94	20,99	0,0009
	II.Mertebe	İş Kontrol	2,16	7,27	13,94	20,96	0,0009
		Pratik Artımsal Yönt.	2,15	7,26	13,92	20,95	0,0009
		Öngörme-Düzeltilme	2,15	7,26	13,92	20,95	0,0009
		Sap 2000 (II. Mertebe)	2,16	7,28	13,97	21,00	0,0009

Tablo 3. Ters V Merkezi Çaprazlı Çerçeve'nin Kat Yatay Yer Değiştirme ve YSF Değerleri (mm)

		2. Kat	4. Kat	6. Kat	8. Kat	YSF	
X Doğrultusu	II. Mertebe	I.Mertebe Lineer Elastik	3,99	10,70	18,70	26,62	0,0011
		Newton-Raphson	4,02	10,78	18,86	26,85	0,0011
		İş Kontrol	4,02	10,78	18,86	26,85	0,0011
		Pratik Artımsal Yönt.	4,02	10,77	18,83	26,80	0,0011
		Öngörme-Düzeltilme	4,02	10,77	18,83	26,84	0,0011
		Sap 2000 (II. Mertebe)	4,01	10,79	18,87	26,87	0,0011
Y Doğrultusu	II. Mertebe	I.Mertebe Lineer Elastik	3,98	10,67	18,64	26,57	0,0011
		Newton-Raphson	4,03	10,82	18,93	27,00	0,0011
		İş Kontrol	4,03	10,82	18,93	27,00	0,0011
		Pratik Artımsal Yönt.	3,99	10,70	18,70	26,67	0,0011
		Öngörme-Düzeltilme	4,02	10,81	18,91	26,98	0,0011
		Sap 2000 (II. Mertebe)	4,03	10,83	18,95	27,00	0,0011

Tablo 4. Moment Aktaran Çerçeve'nin (X) Yönünde Seçilen Çubuk Elemanlarının İç Kuvvet Değerleri

Eleman No.			Doğrusal Artımsal Yöntemler		Doğrusal Olmayan Artımsal Yöntemler		Sap 2000 (II. Mertebe)
	İç Kuvvet	I. Mertebe Lineer	Pratik Artımsal	Öngörme-Düzeltilme	Newton-Raphson	İş Kontrol	
C _{1x}	N(kN)	714,50	714,40	714,40	714,40	714,45	714,47
	M(kNm)	241,90	244,00	244,30	244,20	244,30	244,40
	V(kN)	77,48	77,89	77,98	77,97	77,99	77,96
C _{2x}	N(kN)	652,40	652,60	652,60	652,50	652,60	652,70
	M(kNm)	130,70	133,00	133,30	133,20	133,30	133,30
	V(kN)	64,21	65,37	65,38	65,36	65,38	64,78
C _{3x}	N(kN)	527,40	527,30	527,30	527,40	527,30	527,46
	M(kNm)	91,84	93,29	93,46	93,50	93,49	93,49
	V(kN)	59,41	60,48	60,49	60,53	60,51	60,52
B _{1x}	N(kN)	26,08	26,15	26,16	26,27	26,29	26,32
	M(kNm)	15,89	16,52	16,60	16,59	16,44	16,66
	V(kN)	24,64	24,42	24,39	24,38	24,36	24,37
B _{2x}	N(kN)	71,35	71,39	71,40	71,52	70,48	70,51
	M(kNm)	28,86	29,80	29,92	29,89	29,72	29,78
	V(kN)	20,08	19,75	19,71	19,66	19,64	29,98
B _{3x}	N(kN)	58,91	59,09	59,14	60,42	60,42	60,44
	M(kNm)	20,68	20,02	19,93	19,99	20,03	19,96
	V(kN)	52,57	52,31	52,28	52,30	52,32	52,28

Tablo 5. Moment Aktaran Çerçeve'nin (Y) Yönünde Seçilen Çubuk Elemanlarının İç Kuvvet Değerleri

Eleman No.	İç Kuvvet	I. Mertebe Lineer	Doğrusal Artımsal Yöntemler		Doğrusal Olmayan Artımsal Yöntemler		Sap 2000 (II. Mertebe)
			Pratik Artımsal	Öngörme-Düzeltilme	Newton-Raphson	İş Kontrol	
C _{1y}	N(kN)	709,50	720,62	723,44	726,81	727,13	727,28
	M(kNm)	238,11	243,25	241,65	245,90	247,01	247,62
	V(kN)	74,79	75,83	76,67	78,03	78,05	77,24
C _{2y}	N(kN)	706,05	704,21	703,85	700,0	702,03	705,51
	M(kNm)	238,02	236,81	235,23	245,70	246,91	247,72
	V(kN)	74,96	75,37	75,81	77,78	77,93	77,42
C _{3y}	N(kN)	619,47	625,23	627,76	635,33	630,01	629,68
	M(kNm)	140,09	144,13	145,38	146,52	147,41	147,54
	V(kN)	69,24	70,37	70,87	73,48	73,42	72,79
B _{1y}	N(kN)	5,432	4,863	4,67	5,25	5,25	5,15
	M(kNm)	20,11	23,93	24,51	26,16	25,24	25,92
	V(kN)	23,59	23,05	23,01	21,63	21,95	22,67
B _{2y}	N(kN)	56,66	56,47	56,38	56,16	56,19	55,76
	M(kNm)	38,60	41,43	43,77	46,06	48,65	48,77
	V(kN)	17,49	15,54	15,76	14,43	14,13	14,20
B _{3y}	N(kN)	103,31	103,22	103,05	102,84	102,79	102,96
	M(kNm)	34,01	39,81	40,16	44,59	42,61	44,78
	V(kN)	19,15	18,28	18,49	15,77	16,32	17,96

Tablo 6. Merkezi X Çaprazlı Çerçeve'nin (X) Yönünde Seçilen Çubuk Elemanlarının İç Kuvvet Değerleri

Eleman No.	İç Kuvvet	I. Mertebe Lineer	Doğrusal Artımsal Yöntemler		Doğrusal Olmayan Artımsal Yöntemler		Sap 2000 (II. Mertebe)
			Pratik Artımsal	Öngörme-Düzeltilme	Newton-Raphson	İş Kontrol	
C _{1x}	N(kN)	705,26	705,61	705,61	705,62	705,56	703,33
	M(kNm)	117,96	118,34	118,36	118,38	118,39	118,01
	V(kN)	42,98	43,11	43,09	43,06	43,08	43,01
C _{2x}	N(kN)	1017,60	1026,70	1026,74	1027,00	1026,7	1031,79
	M(kNm)	22,98	23,32	23,33	23,35	23,41	23,78
	V(kN)	7,98	8,01	8,06	8,10	8,13	9,83
C _{3x}	N(kN)	1513,10	1522,10	1522,34	1524,20	1524,0	1526,24
	M(kNm)	34,73	34,93	34,95	35,01	35,05	35,06
	V(kN)	15,75	16,01	15,94	15,88	15,91	15,93
B _{1x}	N(kN)	678,32	682,04	682,06	681,10	683,05	682,78
	M(kNm)	57,93	57,93	57,93	57,95	58,02	57,96
	V(kN)	40,17	40,22	40,43	40,81	40,18	40,18
B _{2x}	N(kN)	731,80	735,14	735,27	735,59	733,64	734,41
	M(kNm)	54,63	54,66	54,72	54,82	54,84	54,65
	V(kN)	48,73	48,66	48,69	48,75	48,75	48,67
B _{3x}	N(kN)	168,61	168,58	168,28	167,36	169,30	167,51
	M(kNm)	96,83	96,92	96,93	96,96	96,96	96,87
	V(kN)	79,75	79,79	79,79	79,80	79,80	79,77

Tablo 7. Merkezi X Çaprazlı Çerçeve'nin (Y) Yönünde Seçilen Çubuk Elemanlarının İç Kuvvet Değerleri

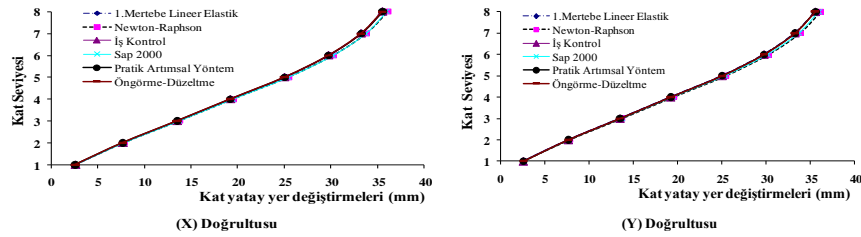
Eleman No.	İç Kuvvet	I. Mertebe Lineer	Doğrusal Artımsal Yöntemler		Doğrusal Olmayan Artımsal Yöntemler		Sap 2000 (II. Mertebe)
			Pratik Artımsal	Öngörme-Düzeltilme	Newton-Raphson	İş Kontrol	
C _{1y}	N(kN)	2399,06	2404,47	2404,62	2411,05	2411,1	2412,12
	M(kNm)	86,99	87,12	87,13	87,24	87,20	87,34
	V(kN)	27,86	27,89	27,91	28,01	28,03	28,11
C _{2y}	N(kN)	1365,01	1367,53	1366,79	1370,13	1370,5	1370,98
	M(kNm)	86,84	86,89	86,91	87,29	87,25	87,28
	V(kN)	27,71	27,74	27,76	27,87	27,82	28,02
C _{3y}	N(kN)	1940,13	1945,65	1946,37	1951,42	1951,8	1951,87
	M(kNm)	33,51	33,67	33,70	34,07	33,95	34,02
	V(kN)	11,6	11,77	11,62	11,91	11,83	10,15
B _{1y}	N(kN)	-	-	-	-	-	-
	M(kNm)	38,35	37,64	37,58	37,47	37,56	37,51
	V(kN)	42,91	42,88	42,83	42,79	42,85	42,79
B _{2y}	N(kN)	-	-	-	-	-	-
	M(kNm)	40,45	40,43	40,42	39,77	40,15	40,35
	V(kN)	43,66	43,65	43,66	43,61	43,63	43,65
B _{3y}	N(kN)	-	-	-	-	-	-
	M(kNm)	41,42	41,39	41,40	41,01	41,29	41,32
	V(kN)	44,10	44,10	44,10	44,09	44,09	44,10

Tablo 8. Ters V Merkezi Çaprazlı Çerçeve'nin (X) Yönünde Seçilen Çubuk Elemanlarının İç Kuvvet Değerleri

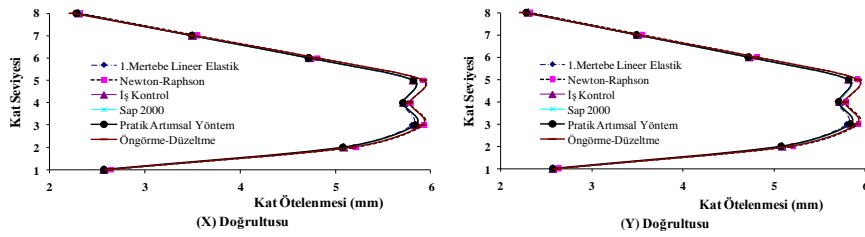
Eleman No.	İç Kuvvet	I. Mertebe Lineer	Doğrusal Artımsal Yöntemler		Doğrusal Olmayan Artımsal Yöntemler		Sap 2000 (II. Mertebe)
			Pratik Artımsal	Öngörme-Düzeltilme	Newton-Raphson	İş Kontrol	
C _{1x}	N(kN)	712,00	712,41	712,48	712,49	712,47	712,37
	M(kNm)	37,49	37,54	37,54	37,51	37,52	37,51
	V(kN)	7,57	7,55	7,53	7,51	7,52	7,48
C _{2x}	N(kN)	770,10	776,50	777,20	775,80	775,70	777,26
	M(kNm)	54,04	54,30	54,33	54,35	54,37	54,24
	V(kN)	23,68	23,70	23,75	23,76	23,77	24,12
C _{3x}	N(kN)	1285,02	1291,23	1292,31	1292,33	1292,3	1288,66
	M(kNm)	10,63	10,75	10,76	10,80	10,82	10,78
	V(kN)	1,21	1,14	1,15	1,14	1,12	2,12
B _{1x}	N(kN)	-	-	-	-	-	-
	M(kNm)	4,71	4,73	4,73	4,74	4,73	4,75
	V(kN)	18,94	18,93	18,94	18,93	18,92	18,86
B _{2x}	N(kN)	-	-	-	-	-	-
	M(kNm)	5,15	5,16	5,16	5,15	5,15	5,17
	V(kN)	-	-	-	-	-	-
B _{3x}	N(kN)	54,73	54,66	54,66	54,64	54,64	54,69
	M(kNm)	65,83	65,81	65,81	65,80	65,80	65,81
	V(kN)	19,34	19,32	19,34	19,32	19,31	19,11

Tablo 9. Ters V Merkezli Çaprazlı Çerçeve'nin (Y) Yönünde Seçilen Çubuk Elemanlarının İç Kuvvet Değerleri

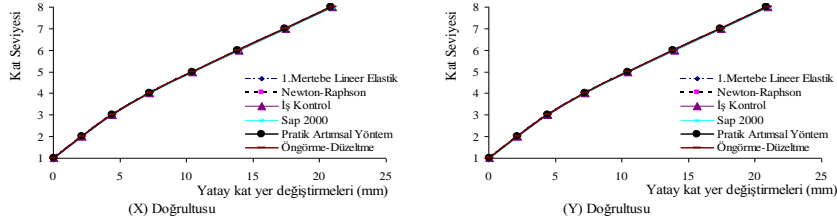
Eleman No.	İç Kuvvet	Doğrusal Artımsal Yöntemler			Doğrusal Olmayan Artımsal Yöntemler		
		I. Mertebe Lineer	Pratik Artımsal	Öngörme-Düzeltilme	Newton-Raphson	İş Kontrol	Sap 2000 (II. Mertebe)
C _{1y}	N(kN)	2145,12	2122,57	2122,35	2126,81	2126,76	2126,49
	M(kNm)	29,35	28,73	28,72	28,83	28,84	28,59
	V(kN)	1,10	1,16	1,21	1,18	1,16	1,14
C _{2y}	N(kN)	1069,02	1044,54	1043,82	1045,26	1044,98	1043,89
	M(kNm)	44,28	43,77	43,76	43,87	43,87	43,86
	V(kN)	13,83	13,71	13,73	13,77	13,78	13,79
C _{3y}	N(kN)	1704,05	1686,39	1686,23	1689,63	1689,58	1683,95
	M(kNm)	14,34	13,77	13,75	13,93	13,96	13,64
	V(kN)	2,31	2,40	2,49	2,42	2,39	2,52
B _{1y}	N(kN)	-	-	-	-	-	-
	M(kNm)	6,10	6,08	6,09	5,98	5,93	6,01
	V(kN)	19,56	19,55	19,54	19,49	19,49	19,55
B _{2y}	N(kN)	-	-	-	-	-	-
	M(kNm)	6,26	6,24	6,25	6,16	6,24	6,25
	V(kN)	19,82	19,81	19,80	19,75	19,77	19,82
B _{3y}	N(kN)	-	-	-	-	-	-
	M(kNm)	6,95	6,99	6,99	6,97	6,98	6,96
	V(kN)	20,24	20,24	20,21	20,14	20,14	20,20



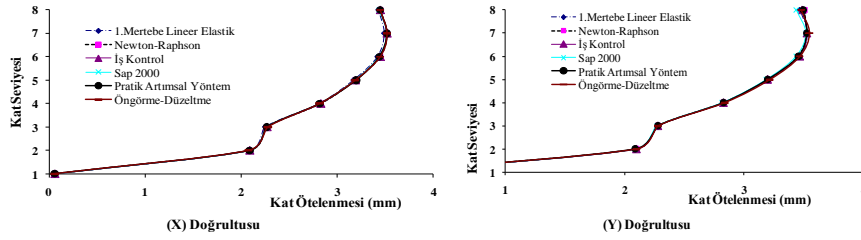
Şekil 6. Moment Aktaran Çerçeve'nin Yatay Kat Yer Değiştirmeleri (mm)



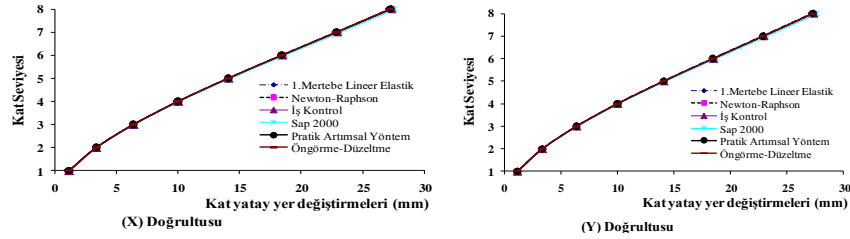
Şekil 7. Moment Aktaran Çerçeve'nin Görelî Kat Ötelenmeleri (mm)



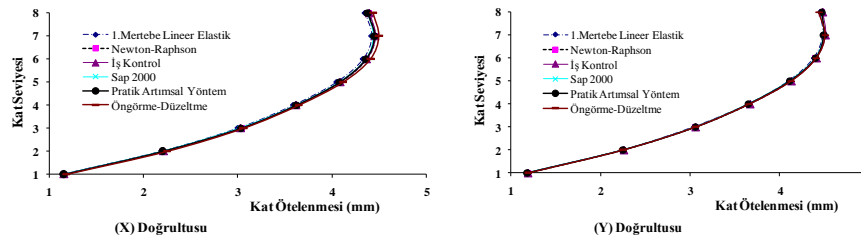
Şekil 8. Merkezi X Çaprazlı Çerçeve'nin Yatay Kat Yer Değişimleri (mm)



Şekil 9. Merkezi X Çaprazlı Çerçeve'nin Görel Kat Ötelenmeleri (mm)



Şekil 10. Ters V Merkezi Çaprazlı Çerçeve'nin Yatay Kat Yer Değişimleri (mm)



Şekil 11. Ters V Merkezi Çaprazlı Çerçeve'nin Görel Kat Ötelenmeleri (mm)

Merkezi çelik çapraz kullanılarak tasarlanan çelik yapılar, moment aktaran çelik çerçevelere göre daha rijit olduğu için II. mertebe analizden elde edilen sonuçlar ile I. mertebe analizden elde edilen sonuçlar arasındaki fark oldukça küçük mertebelere düşmektedir. Bu çalışmada kullanılan II. mertebe analiz yöntemlerinden elde

edilen sonuçlar, uygulamada sık kullanılan ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı yapı analizi yapan SAP 2000 programından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış olup elde edilen sonuçların SAP 2000 sonuçları ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

2000 yılından önceki birçok yapının hesabında, ikinci merteye etkiler dikkate alınmadan düzlem çerçevelere indirgenerek, iki boyutlu hesapları yapılmıştır. Bu çalışmadaki analiz yöntemleri kullanılarak bu tip mevcut yapılardaki ikinci merteye etkiler göz önüne alınarak yapıların doğrusal olmayan analizi yapılabilir.

5. SONUÇLAR

Çalışmada, sekiz katlı çelik yapı modelleri ele alınmış olup, bu çelik yapıların taşıyıcı sistemleri, moment aktaran çerçeve, X ve Ters V merkezi çelik çapraz olmak üzere üç farklı tipte teşkil edilmiştir. Bu modellerin ikinci merteye analizi ile elde edilen kat yatay yer değiştirmeleri, görel kat ötelenmeleri, YSF değerleri ve seçilen kolon-kiriş elemanlarının iç kuvvet değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Bu çalışmada kullanılan çelik binaların en büyük kat yatay yer değiştirmesi moment aktaran çerçeveli sistemlerde elde edilmiştir. Merkezi çaprazlı sistemler incelendiğinde ise merkezi X çelik çaprazlar, ters V formundaki merkezi çelik çaprazlara göre kat yatay yer değiştirmesini daha çok sınırlandırmaktadır. İkinci merteye analiz sonucunda elde edilen kat yatay yer değiştirme değerleri, birinci merteye analizden elde edilen kat yatay yer değiştirme değerleri ile karşılaştırıldığında merkezi çelik çaprazlı sistemlerde çok küçük mertebelerde kalmaktadır.

Görel kat ötelenmeleri açısından incelendiğinde, çalışmadaki merkezi çelik çaprazlı sistemlerin görel kat ötelenmeleri moment aktaran çerçeve sistemine göre daha küçük mertebelerdedir. Merkezi çelik çaprazlı sistemleri kendi arasında değerlendirdiğimizde ise merkezi X çelik çaprazla teşkil edilmiş çelik yapı sistemindeki görel kat ötelenmesi, ters V formundaki çelik çaprazlı yapı sistemindeki görel kat ötelenmesine göre daha küçüktür.

Çalışmadaki kolon ve kiriş elemanlarının iç kuvvet değerleri incelendiğinde, ikinci merteye etkiler merkezi çelik çaprazlı sistemlerde, moment aktaran çerçeve sistemine göre eleman iç kuvvetlerini daha küçük mertebede değiştirdiği görülmektedir. (UBC,1997)'de YSF için verilen maksimum değer 0,002 olup çalışmada incelenen örneklerden elde edilen yapı salının faktörü değerleri bu limit değerden küçüktür. En büyük YSF değeri moment aktaran çerçeveli yapı sisteminde, en küçük YSF değeri ise X formunda teşkil edilmiş merkezi çelik çaprazlı yapı sisteminde elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

Bathe K. J., Dvorkin, E.N., (1983), "On the Automatic Solution of Non-linear Finite Element Equations", Comput. Struct., 17(5-6), 871-879.

Bozdağ, Ö., Seçer M., (2004), "Yarı Rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Analizi", Türkiye İnşaat Mühendisliği On yedinci Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul.

Chen, W.F., and Lui, E.M., (1991), *Stability Design of Steel Frames*, Florida:CRC Press.

Computers and Structures, Inc., (2009), *SAP2000 version14, Structural Analysis Program*, Berkeley, California.

Crisfield, M. A., (1991), *Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures*, Vol. 1, USA, John Wiley&Sons, Inc.

Dündar, C., Kırıl, E., (1986), *Perdeli Yapı Sistemlerinin Bilgisayar ile Hesabı*, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.

International Conference of Building Officials. (1997), “Uniform Building Code (UBC), Structural Engineering Design Provisions”, California.

Lu, C. K., Chen, W. F., Chan, S. L., Ma, T. W. (2008). “Direct Second-Order Elastic Analysis for Steel Frame Design”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 12(6), pp 379-389.

Mcguire, W., Gallagher, R. H., Ziemian, R. D., (2000), *Matrix Structural Analysis*, USA, John Wiley&Sons, Inc.

Nethercot, D.A., (2000), “Frame Structures: global performance, static and stability behaviour”, *Journal of Constructional Steel Research*, 55, 109-124.

Özer E., (2009), *Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları*, İstanbul.

Seçer M., (2007), “Investigation of Practical Geometric Nonlinear Analysis Methods for Semi Rigid Steel Plane Frames”, *D.P.Ü. Fen Bilimleri Enst. Dergisi*, 13/97-111.

Yang, Y.B., and Mcguire, W., (1984), “A Work Control Method for Geometrically Nonlinear Analysis”, *Proceedings of the Int. Conf. in Advances in Numerical Methods in Engineering*, Swansea, UK, 913-921.

Zeybek, Ö., (2011), “Çok Katlı Çelik Yapıların Geometri Bakımından Doğrusal Olmayan Davranışının Artımsal ve Pratik İkinci Mertebe Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Ziemian, R. D., Mcguire, W., (2008), “*Mastan2 Integrated Structural Analysis Reference Manual*”, John Wiley and Sons, Inc.