



ÇELİK YAPI SİSTEMLERİNDE İKİNCİ MERTEBE ANALİZ YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

(*INVESTIGATION OF SECOND ORDER ANALYSIS METHODS IN STEEL STRUCTURE SYSTEMS*)

M. Emin KURAL*, Özer ZEYBEK**, Mutlu SEÇER*

ÖZET/ABSTRACT

Düşey yüklerin yanında deprem ve rüzgar gibi yatay yükler, yapı davranışını etkileyen büyük yer değiştirmelere ve dolayısıyla ikinci mertebe etkilerin oluşmasına yol açar. Bu tür durumlarda ikinci mertebe etkileri göz önüne alan hesap yöntemlerinin kullanılması önem arz eder. Bu çalışmada; dört katlı beş açıklığa sahip çelik yapı sisteminin artımsal ve pratik yöntemler kullanılarak ikinci mertebe analizi yapılmıştır. Bu yöntemlerden elde edilen kat yatay yer değiştirmeleri ve eleman uç momentleri, gözönüne alınan referans çalışma sonuçları ile birlikte incelenmiş olup hesap yöntemlerinin birbirlerine göre performansları değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan artımsal ve pratik ikinci mertebe analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçların referans çalışma sonuçları ile uyumlu ve yeterli hassasiyette olduğu tespit edilmiştir. Çaprazlı sistemlerin performanslarını araştırmak amacıyla çeşitli geometrik formlarda merkezi çelik çaprazlı sistemler düzenlenmiş ve bu yapı sistemlerindeki narinlik oranı, yapı salınım faktörü, kat yatay yer değiştirme değerlerindeki değişim incelenmiştir. Geometrik formlarda merkezi çelik çaprazlı sistemler kullanılarak malzeme tasarrufu sağlanmış, yapıdaki tepe noktası yatay yer değiştirme ile yapı salınım faktörü değerleri etkin bir şekilde sınırlandırılmıştır.

In addition to vertical loads, horizontal loads such as earthquake and wind loads lead to form second order effects with large displacements changing the structural behavior. Hence, it is important to use calculation methods that consider the second order effects in the analyses. In this study, second order analyses were carried out with incremental and practical methods on steel structure systems having four story and five bays. Story drift and member end moments obtained from incremental and practical second order analyses were investigated with the reference study which is considered and the results of both calculation methods were comparatively evaluated. Results of this study using incremental and practical second order analyses methods were found to be compatible with the results of the reference work and were proven to have adequate sensitivity. In order to investigate the steel braced systems used in the study, concentric steel braced systems with various geometric forms were generated, the variation of slenderness ratio, overall drift index and story drift values were determined. Using concentrically braced steel systems with geometric forms provided savings of material, besides; the overall story drift and overall story drift index were efficiently limited.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

İkinci mertebe, Artımsal yöntem, Yapı salınım faktörü, Moment aktaran çerçeve, Merkezi çelik çaprazlı çerçeve, Narinlik

Second-order analysis, Incremental method, Overall story drift index, Moment resistant steel frame, Concentric steel braced frame, Slenderness

* DEÜ, Müh. Fak., İnşaat Müh. Böl., Tınaztepe Yerleşkesi, Buca, İZMİR

** Muğla Ün., Müh. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Kötekli Kampüsü, Kötekli, MUĞLA

1. GİRİŞ

Taşıyıcı sistemleri estetik, ekonomik ve fonksiyonel olarak boyutlandırmak için yapı sistemlerinin narin ve yüksek yapılabilmesi isteği her geçen gün artmaktadır. Ancak narin ve yüksek yapılarda yer değiştirmeler önem kazanmakta, bununla birlikte ikinci merteye etkileri göz önüne alan hesap yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu tür yapılarda oluşan yatay yer değiştirmeler özellikle rüzgar ve deprem gibi şiddetli yatay yükler altında konforu olumsuz yönde etkilemekte, hatta yapı elemanlarının hasara uğramasına yol açmaktadır (Ersoy ve Çıtıptıoğlu, 1988). Yatay yer değiştirmenin bir başka göstergesi de yapı salınım faktörüdür. Deprem ve rüzgar etkileri altında yapının en üst katının elastik yer değiştirmesinin yapının toplam yüksekliğine oranı olarak tarif edilir (Aytış, 2005). Bu faktör; yatay yükler etkisi altında binada bulunanlarda tedirginlik yaratıcı olumsuz durumları önlemek üzere sınırlandırılmış olup bu faktörün 1/400'den küçük olması tavsiye edilir. Yapı elemanlarının rijitliği artırılarak ya da farklı geometrik formda çapraz elemanlar kullanılarak yatay yer değiştirmeler ve yapı salınım faktörü değerleri istenilen sınır değerinin altında tutulabilir (Kural ve Tok, 1992). Bina yüksekliğinin genişliğine oranı dört veya beşi aştığı durumlarda yatay yer değiştirmeyi makul sınırlar içinde tutmak için ilave rijitliğe ihtiyaç duyulur (Gönen vd., 2007).

Çelik yapıların ikinci merteye analizi ile ilgili artımsal ve pratik yöntemleri dikkate alan birçok çalışma yapılmış olup bu çalışmaların daha çok moment aktaran çerçeveler üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Bu çalışmalardan; Lui çalışmasında fiktif yatay kuvvetleri kullanarak, ikinci merteye etkileri dikkate alan pratik bir yöntem geliştirmiştir (Lui, 1988). Bu yöntemi; tek katlı ve tek açıklıklı, üç katlı ve tek açıklıklı çerçeveler üzerinde kullanarak, elde ettiği sonuçları referans çalışma sonuçları ile karşılaştırmıştır. Mashary ve Chen çalışmasında, stabilite fonksiyonlarını kullanarak tek iterasyon adımlı bir artımsal yöntem geliştirmiştir (Mashary ve Chen, 1990). Bu yöntemi çeşitli düzlem çelik çerçeveler üzerinde kullanarak elde ettiği sonuçları analitik çözümlerle kıyaslamıştır. Gönen vd., çalışmasında üç açıklıklı on katlı bir düzlem çerçeveyi ele almış, bu çerçeveye çeşitli geometrik formlarda merkezi çelik çaprazlar teşkil ederek kat salınım ve yatay yer değiştirme değerlerini karşılaştırmıştır (Gönen vd., 2007). Lu vd., çelik yapıların tasarımında $P-\Delta$ (yapı sisteminin yer değiştirmesinden kaynaklanan) ve $P-\delta$ (yapı elemanının yer değiştirmesinden kaynaklanan) ikinci merteye etkilerin öneminden bahsetmiş, artımsal ve iteratif bir yöntem olan Newton-Raphson algoritmasına dayalı bir çözüm yöntemi geliştirmiştir (Lu vd., 2008). Torkamani ve Sönmez, artımsal çözüm yöntemine dayalı bir algoritma geliştirmiş olup, ikinci merteye etkileri çalışmasındaki sayısal örneklerde dikkate almıştır (Torkamani ve Sönmez, 2008).

Bu çalışmada; Tek Adımlı artımsal, Newton-Raphson, Geliştirilmiş Newton-Raphson artımsal yöntemleri ve İteratif Yatay Yük, İteratif Düşey Yük, Fiktif Diyagonal Eleman Eklenmesi pratik yöntemleri kullanılarak dört katlı beş açıklıklı çelik yapı sisteminin ikinci merteye analizi yapılmıştır. Bu yöntemler kullanılarak elde edilen kat yatay yer değiştirmelerin ve eleman uç momentlerin referans çalışma sonuçlarına göre bağıl fark oranları belirlenip, ikinci merteye analiz yöntemlerinin birbirlerine göre etkinliği karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde, çalışmada kullanılan çaprazlı sistemlerin performanslarını araştırmak amacıyla çeşitli geometrik formlarda merkezi çelik çaprazlı sistemler düzenlenmiş olup, yapı salınım faktörü ve kat yatay yer değiştirme değerlerindeki değişim incelenmiştir. Ayrıca, çapraz elemanlardaki narinlik değişiminin, çelik yapı sistemlerinin tepe noktası yatay yer değiştirmesine ve yapı salınım faktörüne olan etkisi araştırılmıştır

2. ÇELİK YAPI SİSTEMLERİNDE KULLANILAN İKİNCİ MERTEBE ANALİZ YÖNTEMLERİ

Özellikle çok katlı yapılarda, düşey yükler ile birlikte rüzgar ve deprem gibi yatay yükler nedeniyle oluşan ikinci mertebe tesirleri hesaplarda dikkate almak için artımsal ve pratik yöntemler kullanılır (Chen ve Lui, 1991; Zeybek vd., 2011). Artımsal ikinci mertebe analiz yöntemlerinde, başlangıçta yapının denge ve kinematik ilişkisi bilinmediği için iteratif bir şekilde çözüme gidilir. Bu iteratif işlem döngüsünde, geçerli olan işlem adımının denge ve kinematik ilişkisi için, bir önceki işlem döngüsünden elde edilen şekil değiştirmiş yapının geometrisi kullanılır. Pratik ikinci mertebe analiz yöntemleri ise fiktif elemanlar ve fiktif kuvvetlere dayalı hesap yöntemleri olup, bu yöntemler ile doğrudan ve hızlı bir şekilde sonuca gidilir. Bu çalışmada; Tek Adımlı artımsal, Newton-Raphson, Geliştirilmiş Newton-Raphson artımsal yöntemleri ve İteratif Yatay Yük, İteratif Düşey Yük, Fiktif Diyagonal Eleman Eklenmesi pratik yöntemleri kullanılarak ikinci mertebe analiz yapılmıştır.

2.1. Artımsal Yöntemler

Doğrusal analizde sistem rijitlik matrisi sabit olup dış yükten bağımsızdır. Doğrusal olmayan analizde ise eleman rijitlik matrisi ve dolayısıyla sistem rijitlik matrisi sabit olmayıp yük seviyesine bağlı olarak değişir (Chan ve Chui, 2000). Artımsal yöntemlerde; dış yük (F), yük adımlarına (ΔF) bölünerek sisteme artımsal olarak Eşitlik 1 ile uygulanır.

$$[K_i]\{\Delta D_i\} = \{\Delta F_i\} \quad (1)$$

Burada; $[K_i]$ sistem rijitlik matrisi, $\{\Delta D_i\}$ artımsal düğüm noktası yer değiştirme vektörü, $\{\Delta F_i\}$ ise artımsal yük vektörüdür. Yapıların doğrusal olmayan davranışını incelemek amacıyla kullanılan artımsal yöntemler; tek adımlı ve iteratif artımsal yöntemler olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

2.1.1. Tek Adımlı Artımsal Yöntem

Tek adımlı artımsal yöntemde, Eşitlik 1 ile verilen denge denklemi birinci mertebe Runge-Kutta sayısal çözüm yöntemi kullanılarak çözülür ve elde edilen artımsal yer değiştirme, Eşitlik 2 ile hesaplanır (Mc Guire vd., 2000).

$$\{D_i\} = \{D_{i-1}\} + \{\Delta D_i\} \quad (2)$$

Burada; $\{D_i\}$ i. adımdaki yer değiştirme vektörü, $\{D_{i-1}\}$ (i-1). adımdaki yer değiştirme vektörü, $\{\Delta D_i\}$ ise artımsal yer değiştirme vektörüdür. Artımsal yük vektörü ise Eşitlik 3 ile ifade edilir.

$$\{F_i\} = \{F_{i-1}\} + \lambda_i \{\Delta F_i\} \quad (3)$$

Burada; $\{F_i\}$ i. adımdaki yük vektörü, $\{F_{i-1}\}$ (i-1). adımdaki yük vektörü, $\{\Delta F_i\}$ artımsal yük vektörü, λ_i ise artımsal yük parametresidir.

2.1.2. İteratif Artımsal Yöntemler

İteratif artımsal yöntemlerde, yük artımları bir takım adımlara bölünür ve bu adımların her birinde iç yük ile dış yük arasındaki dengelenmemiş yük dağıtılıncaya kadar iterasyon işlemi devam ettirilir. Dengenin sağlanmasının ardından bir sonraki yük artımı adımına geçilir. Artım işlemi, sisteme etkileyen toplam yükün elde edilmesine kadar sürdürülür. İteratif artımsal yöntemler için denge denklemi, artımsal ve iteratif biçimde Eşitlik 4 ile verilmiştir.

$$[K_i^{j-1}]\{\Delta D_i^j\} = \{R_i^{j-1}\} \quad (4)$$

Burada; i yük artım, j ise iterasyon adımdır. $[K_i^{j-1}]$ bir önceki iterasyon adımındaki şekil değiştirmiş yapı ve eleman iç kuvvetlerine bağlı olarak elde edilen artımsal rijitlik matrisidir. $\{R_i^{j-1}\}$ ise dış yük ile iç yük arasındaki dengelenmemiş yük vektörü olup, Eşitlik 5 ile verilmiştir. Dış yük vektörü ise artımsal biçimde Eşitlik 6 ile yazılmıştır.

$$\{R_i^{j-1}\} = \{F_i^{j-1} - Q_i^{j-1}\} \quad (5)$$

$$\{F_i^j\} = \{F_i^{j-1}\} + \lambda_{i-1}^j \{\Delta F\} \quad (6)$$

Burada; $\{F_i^{j-1}\}$ ($j-1$). iterasyonun i . yük artımının sonunda uygulanan toplam dış yük vektörü, $\{\Delta F\}$ toplam dış yükün bir fonksiyonu olan referans yük, λ_i^j ise artımsal yük parametresidir. Eşitlik 4 ile verilen denge denkleminin çözümü için birçok iteratif artımsal algoritma geliştirilmiştir (Crisfield, 1991).

Bu çalışmada, sık kullanılan ve hızlı yakınsama sağlayan Newton-Raphson ve Geliştirilmiş Newton-Raphson artımsal yöntemleri kullanılmıştır. Newton-Raphson yöntemi, artımsal yük parametresi (λ_i^j), birinci iterasyon ($j=1$) adımımda bir olup, diğer iterasyon adımları için ise ($j > 2$) sıfır olur. Bu iterasyon adımları, istenilen yakınsama kriteri sağlanana kadar devam ettirilir. İterasyon boyunca, her bir yük adımı için artımsal yük parametresi sabit tutulduğundan Newton-Raphson yöntemi, bir yük kontrol çözüm tekniği olarak kabul edilmektedir (Chen ve Chui, 1999). Geliştirilmiş Newton-Raphson yönteminde ise, Newton-Raphson yönteminde olduğu gibi her bir iterasyon sonunda yeni bir rijitlik matrisinin oluşturulmasına gerek yoktur. Her bir artımsal adımın bütün iterasyonları sırasında sabit ve yaklaşık bir rijitlik matrisi kullanılır. Geliştirilmiş Newton-Raphson yöntemi, Newton-Raphson yöntemine göre daha kısa süre almasına rağmen yakınsama hızı daha yavaştır (Chun, 2005).

2.2. Pratik İkinci Mertebe Hesap Yöntemleri

Yapının geometrisine ve uygulanan yüklerin fonksiyonuna bağlı olarak fiktif elemanlar ve fiktif kuvvetler kullanılarak ikinci mertebe etkiler doğrudan ve hızlı bir şekilde hesaplara dahil edilir. Bu tür yöntemlerin hesap adımları literatürde mevcuttur (Naeim, 2001; Zeybek 2011). Bu çalışmada; İteratif Yatay Yük, İteratif Düşey Yük ve Fiktif Diyagonal Eleman Eklenmesi pratik yöntemleri kullanılarak ikinci mertebe analiz gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. İteratif Yatay Yük Yöntemi

2.2.1. İteratif Yatay Yük Yöntemi

İteratif Yatay Yük yöntemi, Eşit Yükler yöntemi veya P-Delta İteratif Fiktif yöntem olarak da adlandırılmaktadır (Seçer vd., 2004). Bu yöntemde, ikinci mertebeye etkileri temsil etmek amacıyla fiktif yatay yük yapıya tatbik edilir. Eleman uçlarındaki momentlerin toplamı P-Delta etkilerini içerecek şekilde Eşitlik 7 ile elde edilir.

$$M = V \times h + P \times \Delta = (V + \bar{V}) \times h \quad (7)$$

Burada; V eleman uçlarındaki kesme kuvvetini, h eleman uzunluğunu, P elemandaki mevcut aksel kuvveti, Δ eleman rölatif yer değiştirmesini, \bar{V} ise fiktif veya eşdeğer kesme kuvvetini ifade eder. Fiktif kesme ve gerçek kesme kuvvetlerinin birlikte uygulanması ile yeni uç momentleri elde edilir.

2.2.2. İteratif Düşey Yük Yöntemi

Bu yöntemde ilk olarak sadece yatay yükler yapıya uygulanır. Daha sonra düşey yükler yatay yüklerden kaynaklanan deforme olmuş yapıya uygulanır. Bir sonraki düşey yük analizi, bir önceki düşey yük analizinden elde edilen deforme olmuş yapıya uygulanır. Düşey yük analizi yer değiştirme artışlarının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu duruma kadar sürdürülür (Lopes vd., 2005). Eğer n . düşey yük analizinde istenilen yakınsama sağlanmış ise, son yer değiştirme Eşitlik 8 ile elde edilir.

$$\Delta = \Delta_{th} + \sum_{i=1}^n (\Delta_{lg})_i \quad (8)$$

Burada; Δ_{th} , birinci mertebeye yatay yük etkisi altındaki yer değiştirmeyi, Δ_{lg} , birinci mertebeye düşey yük etkisi altındaki iterasyon adımları için yer değiştirme artışını göstermektedir. Benzer şekilde, P-Delta etkisini içeren moment ifadesi Eşitlik 9 ile ifade edilir.

$$M = M_{th} + \sum_{i=1}^n (M_{lg})_i \quad (9)$$

Burada; M_{th} yatay yük etkisi altındaki birinci mertebeye analizden elde edilen moment değerini, M_{lg} düşey yük etkisi altındaki iterasyon adımları için birinci mertebeye analizden elde edilen moment artışını göstermektedir. İteratif Düşey Yük yöntemi uygulanırken, düğüm noktalarının koordinatları her analiz adımında güncellenir. Yeni koordinatlar, yer değiştirme artışlarının orijinal koordinatlara eklenmesi ile hesaplanır.

2.2.3. Fiktif Diyagonal Eleman Eklenmesi Yöntemi

Bu yöntemde; fiktif diyagonallerin yapıya eklenmesi ile ikinci mertebeye analiz yapılır. Burada kullanılan fiktif diyagonaller P-Delta etkisini temsil etmektedir. Fiktif Diyagonal Eleman Eklenmesi yönteminde iterasyon uygulanmadan tek bir adımda ikinci mertebeye etkileri

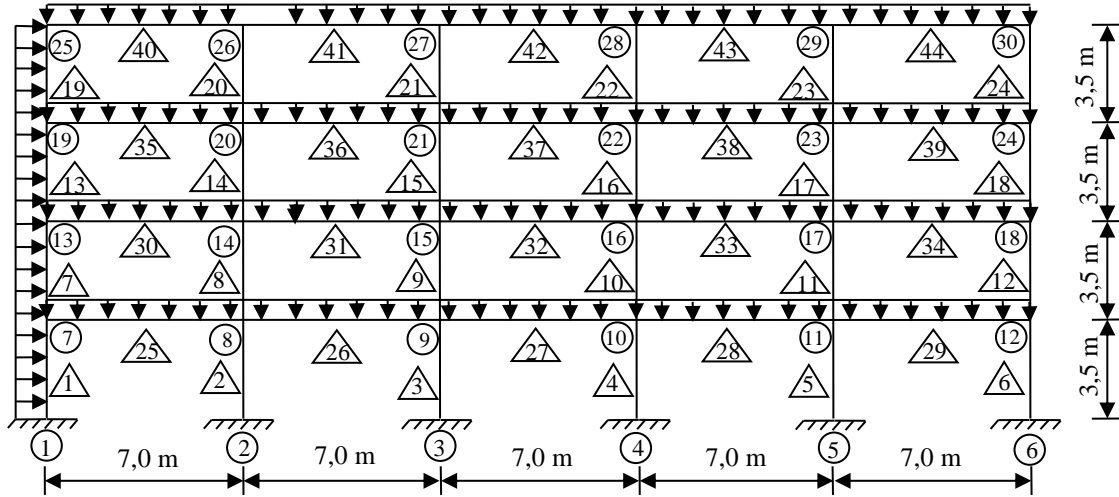
çeren yer değıştirme ve iç kuvvetler elde edilir (Naeim, 2001). Burada kullanılan fiktif diyagonal elemanların en kesit alanları Eşitlik 10 ile verilmiştir.

$$\bar{A}_i = - \frac{\sum P_i}{h_i} \frac{L_0}{E \cos^2 \alpha} \quad (10)$$

Burada; $\sum P_i$ i. kattaki kolon elemanlarında oluşan aksel kuvvetlerin toplamını, h_i i. katın kat yüksekliğini, L_0 diyagonal elemanın boyunu, E elastisite modülünü, α ise fiktif diyagonal elemanın yatayla yaptığı açığı temsil etmektedir.

3. SAYISAL UYGULAMA

Yapılan çalışmada, Chan ve Chui tarafından tasarlanmış, dört kat ve beş açıklığa sahip çelik yapı sistemi ele alınmıştır (Chan ve Chui, 2000). Şekil 1’de geometrisi ve yükleme durumu verilen çelik yapı sisteminin ikinci mertbe analizi artımsal ve pratik yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada incelenen çelik çerçevede kolonlar arası mesafe 7,0 m, kat yüksekliği 3,5 m’dir. Çerçeveyi oluşturan kolon elemanların kesit alanları 168 cm², atalet momentleri 22530 cm²’dir. Kiriş elemanların kesit alanları 129 cm², atalet momentleri ise 61520 cm⁴’tür. Yapıya her katta 40 kN/m’lik düşey yük ve 50 kN/m’lik yatay rüzgar yükü uygulanmıştır. Yapıya etkiyen servis yükleri ve yük katsayısı (1,2) ile artırılmış yükler altında çerçeve sistemi çözülmüş olup elde edilen sonuçlar referans çalışmada verilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Yapının geometrisi ve yapıya etkiyen yükler

3.1. Çelik Binanın Artımsal ve Pratik Yöntemlerle İkinci Mertbe Analizi

Bu çalışmada; Tek Adımlı artımsal, Newton-Raphson, Geliştirilmiş Newton-Raphson artımsal yöntemleri ve İteratif Yatay Yük, İteratif Düşey Yük, Fiktif Diyagonal Eleman Eklenmesi pratik yöntemleri kullanılarak ikinci mertbe analiz yapılmıştır. Elde edilen kat yatay yer değıştirme ve kolon uç moment değeri, referans çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Seçilen düğüm noktalarına ait kat yatay yer değıştirmeleri servis yükleri altında Çizelge 1’de, seçilen kolon elemanlarının uç moment değeri yük katsayısı ile artırılmış yükler altında, Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Çelik yapının seçilen düğüm noktalarına ait kat yatay yer değiştirme değerleri (mm)

Düğ. nok. no.	Birinci mertebe analiz	İkinci mertebe analiz yöntemleri						Referans çalışma (Chan ve Chui, 2000)
		Artımsal yöntemler			Pratik yöntemler			
		Tek adımlı artımsal	Newton-Raphson	Geliştirilmiş Newton-Raphson	İteratif yatay yük	İteratif düşey yük	Fiktif çapraz eleman eklenmesi	
7	26,55	29,50	29,84	29,84	29,56	29,77	29,50	-
13	34,64	38,05	38,45	38,44	38,21	38,36	38,18	-
19	38,71	42,23	42,64	42,64	42,42	42,51	42,39	-
25	40,33	43,87	44,28	44,28	44,07	44,23	44,03	44,70

Çizelge 2. Çelik yapının seçilen elemanlarına ait uç moment değerleri (kN-m)

Eleman no.	Birinci mertebe analiz	İkinci mertebe analiz yöntemleri						Referans çalışma (Chan ve Chui, 2000)
		Artımsal yöntemler			Pratik yöntemler			
		Tek adımlı artımsal	Newton-Raphson	Geliştirilmiş Newton-Raphson	İteratif yatay yük	İteratif düşey yük	Fiktif çapraz eleman eklenmesi	
2	291,19	328,93	333,77	333,77	333,02	333,64	332,57	335,6
12	151,15	154,84	155,30	155,30	153,76	155,38	152,94	-
18	120,78	122,08	122,23	122,23	122,15	122,20	121,85	-
24	122,89	123,06	123,07	123,07	123,02	123,05	122,93	-

Artımsal ve pratik ikinci mertebe analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen kat yatay yer değiştirme ile kolon uç moment değerlerinin referans çalışma sonuçları dikkate alınarak bağıl fark oranları hesaplanmış olup Çizelge 3 ile sunulmuştur. Çizelge 3’de verilen değerlere göre ikinci mertebe analiz yöntemlerinin performansları incelendiğinde; Newton Raphson ve geliştirilmiş Newton Raphson yöntemlerinin referansa en yakın, tek adımlı artımsal pratik yöntemin ise en uzak sonucu verdiği belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan ikinci mertebe analiz yöntemlerinin bağıl fark oranları % 2’nin altında olup elde edilen sonuçların yeterli hassasiyette olduğu tespit edilmiştir.

Yatay yükler altında, yapının tepe noktası yatay yer değiştirmesinin toplam kat yüksekliğine oranı olarak tarif edilen yapı salınım faktörü değerleri hesaplanmış olup elde edilen bu değerler ile UBC’de tavsiye edilen sınır değer Çizelge 4 ile sunulmuştur. Hesaplanan sonuçlara göre, çelik yapıya ait yapı salınım faktörü değerinin tavsiye edilen sınır değer üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

3.2. Çeşitli Geometrik Formlarda Teşkil Edilmiş Merkezi Çelik Çaprazlı Yapı Sistemlerinin İncelenmesi

Bu bölümde, çeşitli geometrik formlarda çapraz elemanlar kullanılarak yapı salınım faktörü ve kat yatay yer değiştirme değerlerindeki değişim incelenmiştir. Bu amaçla; uygulamada sık kullanılan altı tip merkezi çelik çaprazlı çerçeve modeli teşkil edilmiştir.

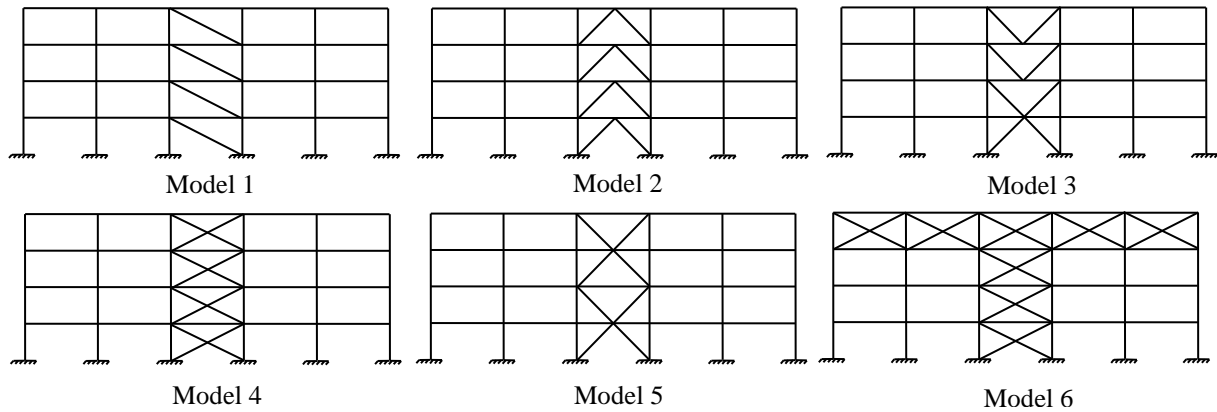
Şekil 2’de verildiği gibi sadece orta açıklığa kat yüksekliği boyunca değişik formlarda çelik çaprazlar düzenlenmiştir.

Çizelge 3. Referans çalışmada verilen tepe noktası yatay yer değiştirme ve kolon uç moment değerlerine göre hesaplanan bağıl fark oranları (Chen ve Chui, 2000)

	İkinci merteye analiz yöntemleri					
	Artımsal yöntemler			Pratik yöntemler		
	Tek adımlı artımsal	Newton-Raphson	Geliştirilmiş Newton-Raphson	İteratif yatay yük	İteratif düşey yük	Fiktif çapraz eleman eklenmesi
Tepe noktası yatay yer değiştirme bağıl fark oranları (%)	1,86	0,94	0,94	1,41	1,05	1,50
İki numaralı kolon uç moment değeri bağıl fark oranları (%)	1,99	0,55	0,55	0,77	0,58	0,90

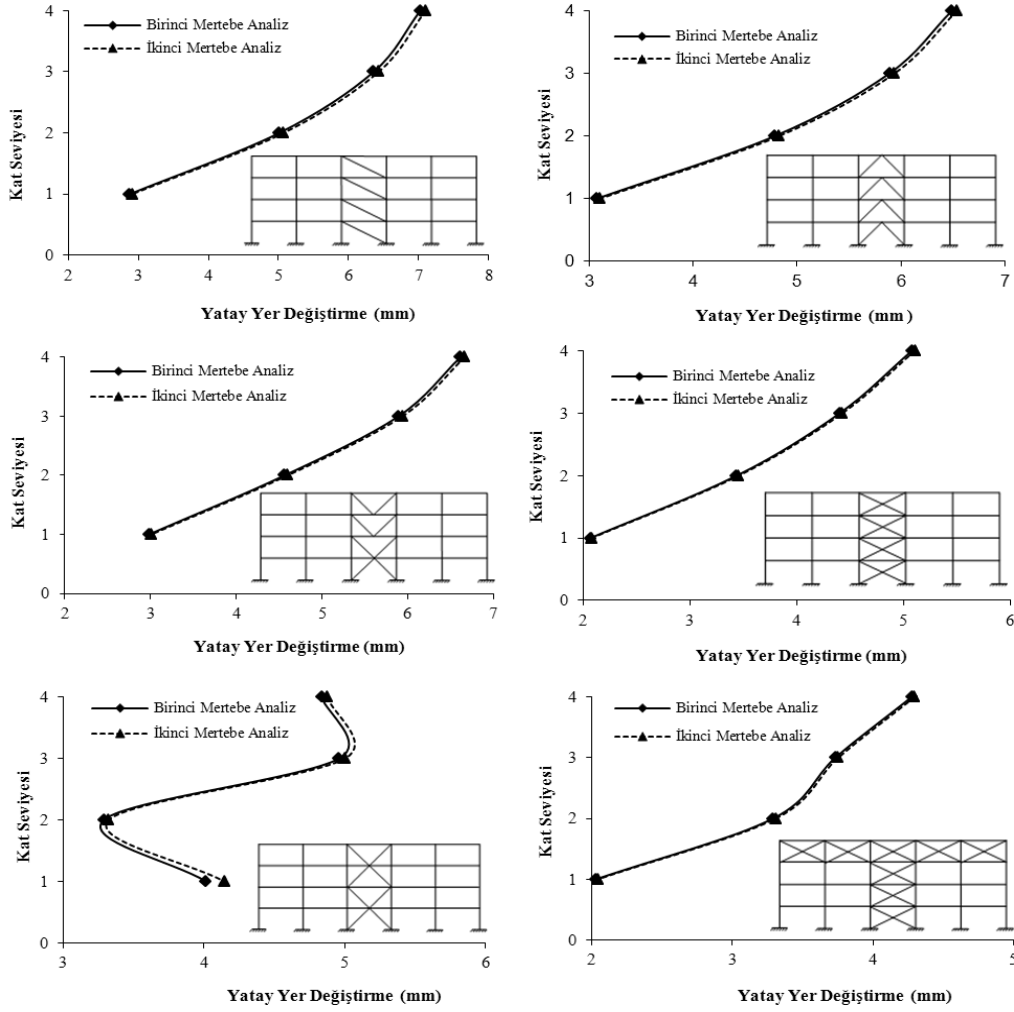
Çizelge 4. Çerçeveye ait yapı salınım faktörü değerleri

Birinci merteye analiz	İkinci merteye analiz yöntemleri						UBC (1997)’de tavsiye edilen sınır değer	
	Artımsal yöntemler			Pratik yöntemler				
	Tek adımlı artımsal	Newton-Raphson	Geliştirilmiş Newton-Raphson	İteratif yatay yük	İteratif düşey yük	Fiktif çapraz eleman eklenmesi		
Yapı salınım faktörü	0,0029	0,0031	0,0032	0,0032	0,0031	0,0032	0,0031	0,0025



Şekil 2. Çeşitli formlarda teşkil edilmiş merkezi çelik çaprazlı yapı modelleri

Merkezi çelik çaprazlı sistemlerde kullanılan çapraz elemanlar kutu kesit profillerden ve eleman narinliği 100 olacak şekilde seçilmiştir. Bu durumda, farklı geometrik formda çapraz elemanlar kullanılarak teşkil edilmiş merkezi çelik çaprazlı sistemlerin Newton-Raphson artımsal yöntemi kullanılarak elde edilen kat seviyesi ile yatay yer değiştirme ilişkisi Şekil 3 ile sunulmuştur.



Şekil 3. Merkezi çelik çaprazla teşkil edilmiş yapı modellerinin kat seviyesi ile yatay yer değiştirme ilişkisi

Çalışmada kullanılan merkezi çelik çaprazlı sistemlerin moment aktaran çerçeve sistemine göre tepe noktası yer değiştirmesini % 84 ile % 90 arasında sınırladığı Şekil 3'den görülmektedir. Yatay yer değiştirmenin sınırlandırılması açısından modeller incelendiğinde; Model 1'in diğer çaprazlı sistemlere göre kat yatay yer değiştirmesini en az, Model 6'nın ise en fazla sınırladığı görülmüştür. Model 5'de, serbest olan düğüm noktalarının çapraz elemanların bağlandığı düğüm noktalarına göre daha fazla yatay yer değiştirme yaptığı görülmüştür. Bu nedenle beşinci modele ait kat seviyesi ile yatay yer değiştirme eğrisi diğer modellerinkinden farklı olup görece kat ötelenmelerinin artmasına neden olmuştur. Model 6'da, en üst katın tüm açıklıklarına merkezi X çelik çapraz teşkil edilmesinden dolayı tepe noktası yatay yer değiştirmesi önemli oranda sınırlandırılmıştır.

Yapı sistemindeki çapraz yoğunluğunun yapı davranışına etkisini incelemek amacıyla çerçevenin farklı açıklıklarına kat yüksekliği boyunca merkezi X çelik çaprazlar teşkil edilmiştir. Çalışmada, ilk olarak üçüncü açıklığa, ikinci olarak birinci ve beşinci açıklığa, son olarak da birinci, üçüncü ve beşinci açıklıklara kat yüksekliği boyunca X formunda merkezi çelik çaprazlar düzenlenmiştir. Tepe noktası yatay yer değiştirmesi; üçüncü açıklığa X merkezi çapraz düzenlendiğinde % 88, birinci ve beşinci açıklıklara düzenlendiğinde % 93, birinci, üçüncü ve beşinci açıklıklara düzenlendiğinde ise % 95 mertebesinde sınırlandırılmaktadır.

Farklı geometrik formlarda çapraz elemanlar kullanılarak teşkil edilen merkezi çelik çaprazlı sistemlerin ikinci mertebe analizinden elde edilen yapı salınım faktörü değerleri Çizelge 5 ile verilmiştir. Çalışmada incelenen çeşitli geometrik formlarda teşkil edilmiş çelik yapı modelleri için elde edilen yapı salınım faktörü değerlerinin, moment aktaran çerçeve sisteminden elde edilen yapı salınım faktörü değerine göre önemli oranda azaldığı görülmüştür.

Çizelge 5. Merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin yapı salınım faktörü değerleri

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Yapı Salınım Faktörü	0,00051	0,00047	0,00048	0,00037	0,00035	0,00031

Çalışmanın bu aşamasında merkezi çelik çaprazlı sistemlerde kullanılan çapraz elemanların narinliğinin yapı davranışı üzerine olan etkisi incelenmiştir. Afet Bölgelerinde 1997’de yayınlanan Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’de narinlik sınırı 100, Deprem Bölgelerinde 2007’de yayınlanan Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’de St-37 çeliği için 118 olarak verilmiştir. Bu çalışmada narinlik değerleri değişimini incelemek için bu değerleri kapsayan ve narinliği 70 ile 140 arasında değişen farklı geometrik formda çapraz elemanlar kullanılmıştır. Bu yapı sistemlerinin Newton-Raphson artımsal ikinci mertebe analiz yöntemi kullanılarak elde edilen çapraz eleman narinlik değişimi ile tepe noktası yatay yer değiştirme ilişkisi Şekil 4’de verilmiştir.

Ayrıca, çapraz elemanın narinliği % 25 ve % 50 mertebesinde azaltılarak narinlik değişiminin yapı salınım faktörü üzerine etkisi incelenmiştir. Farklı geometrik formda teşkil edilmiş çelik çaprazlı yapı modellerindeki çapraz elemanın narinlik değişimine bağlı yapı salınım faktörü değişimi değerleri Çizelge 6’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan çapraz elemanların narinliği % 25 ve % 50 azaltıldığında yapı salınım faktörü değerlerinde sırasıyla % 11-% 14 ile % 19-% 25 arasında azaldığı tespit edilmiştir.

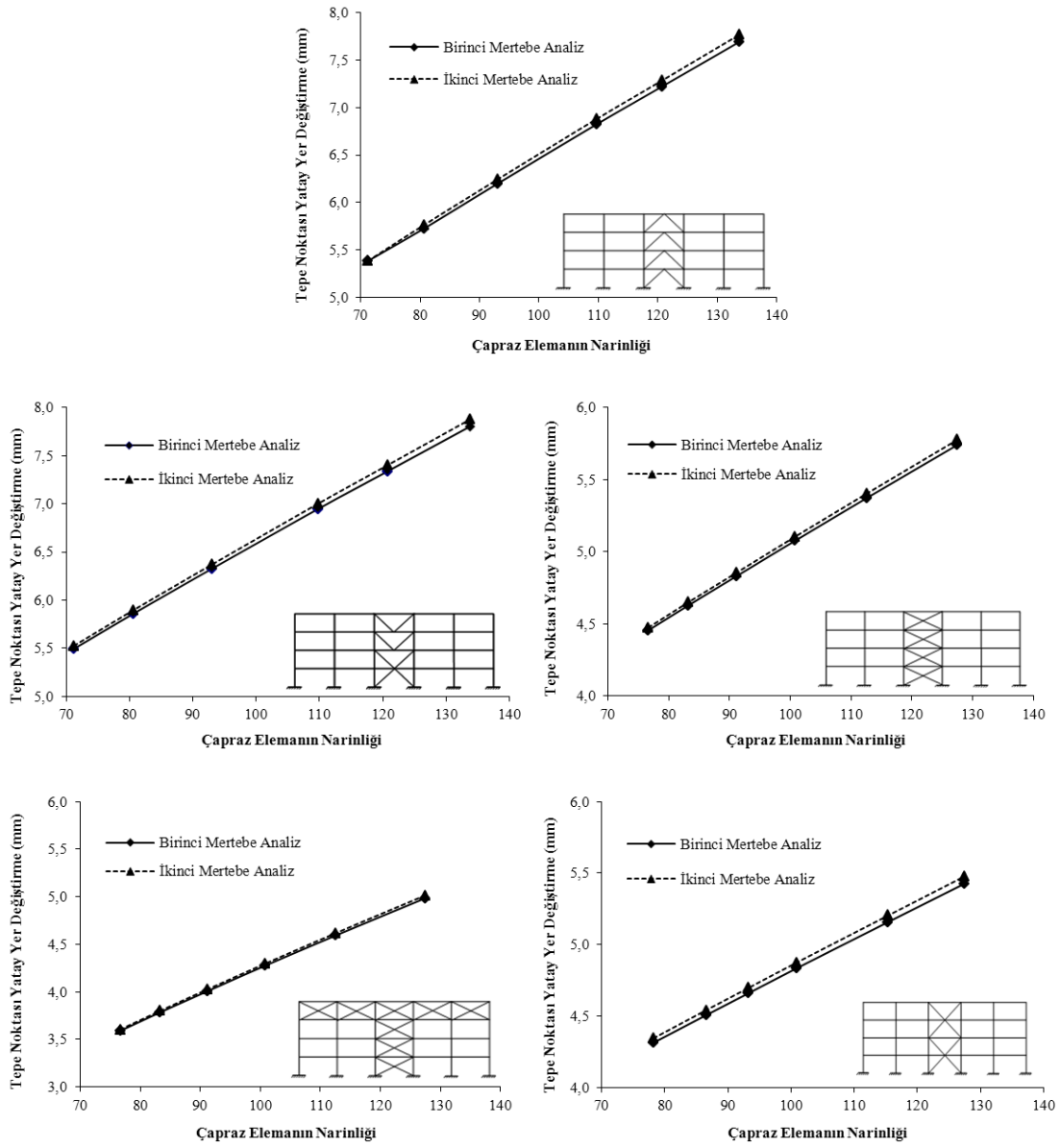
Çizelge 6. Çapraz elemanların narinlik değerleri ile yapı salınım faktörü değeri arasındaki ilişki

Çapraz elemanların narinlik azalması (%)	Merkezi çelik çaprazla teşkil edilen çelik yapı modellerinin yapı salınım faktöründeki değişim (%)					
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
25	13	12	12	11	11	14
50	24	23	22	20	19	25

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada; dört kat ve beş açıklığa sahip çelik yapı sisteminin Tek Adımlı artımsal, Newton-Raphson, Geliştirilmiş Newton-Raphson yöntemi ile artımsal; İteratif Yatay Yük, İteratif Düşey Yük ve Fiktif Diyagonal Eleman Eklenmesi yöntemi ile pratik ikinci mertebe analizi yapılmıştır. Bu yöntemler kullanılarak hesaplanan kat yatay yer değiştirme ve eleman uç moment değerleri referans çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çapraz elemanların performanslarını incelemek amacıyla çeşitli geometrik formlarda çapraz elemanlar kullanılarak merkezi çelik çaprazlı sistemler teşkil edilmiş olup, bu çapraz elemanların yapı salınım faktörü ile kat yatay yer değiştirme değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca,

yapı sisteminde teşkil edilen çapraz elemanların narinlik değişiminin yapı davranışı üzerine etkisi de araştırılmıştır.



Şekil 4. Merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin çapraz elemanlarının narinlik- tepe noktası yatay yer değiştirme ilişkisi

Dört kat ve beş açıklığa sahip düzlem çelik yapı modelinin artımsal ve pratik ikinci mertebe analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen kat yatay yer değiştirme ve eleman uç momentleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların referans çalışma sonuçlarına göre bağıl fark oranları göz önüne alındığında, yapının ikinci mertebe analizinde kullanılan yöntemlerin bağıl fark oranlarının %2'nin altında olduğu tespit edilmiştir. Referans çalışma sonucuna göre bağıl fark oranının en az Newton-Raphson ile Geliştirilmiş Newton-Raphson yöntemlerinde, en fazla ise Tek Adımlı artımsal yöntemde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada incelenen çelik yapı sistemi için pratik ikinci mertebe analiz yöntemlerinin kabul edilebilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Farklı geometrik formlarda düzenlenen merkezi çelik çaprazlı yapı sistemlerinin Newton-Raphson artımsal yöntemi kullanılarak ikinci mertebe analizi gerçekleştirilmiştir. Çeşitli geometrik formlarda teşkil edilen merkezi çelik çaprazlı sistemlerin, moment aktaran çerçeve sistemine göre tepe noktası yatay yer değiştirmesini, % 84 ile % 90 arasında sınırlandırıldığı tespit edilmiştir. Yatay kat yer değiştirmesinin sınırlandırılması gereken özel durumlarda, orta açıklığın dışındaki diğer açıklıklara da çelik çaprazlar teşkil edilmiş ve moment aktaran çerçeve sistemine göre kat yatay yer değiştirme değerleri % 95 mertebesine kadar sınırlandırılmıştır. Ayrıca, çalışmada kullanılan çapraz elemanların narinlik değerini yarıya düşürecek şekilde çapraz eleman seçildiğinde çelik yapı sistemlerinin yapı salınım faktörü değerlerinde önemli mertebede azalma olduğu görülmüştür. Bu durum merkezi çelik çaprazlı sistemlerde kullanılan çapraz elemanların narinliğinin yapı davranışını önemli oranda etkilediğini göstermiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; pratik ikinci mertebe analiz yöntemlerinin düzenli çelik yapı sistemlerinde güvenilir sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Merkezi çelik çapraz kullanılarak teşkil edilen çelik yapı sistemlerinde malzeme tasarrufu sağlanmış ve yapıdaki tepe noktası yatay yer değiştirmesi ile yapı salınım faktörü değerleri etkin bir şekilde sınırlandırılmıştır.

KAYNAKLAR

- S. Aytaş (2005): “Yüksek Binaların Depreme Dayanımında Uygulanacak Tasarım Kriterleri”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- S. L. Chan, P. P. T. Chui (2000): “Nonlinear Static and Cyclic Analysis of Steel Frames with Semi-Rigid Connections”, Elsevier Public, Singapore.
- W. F. Chen, L. Duan (1999): “Bridge Engineering Handbook”, CRC Press.
- W. F. Chen, E. M. Lui (1991): “Stability Design of Steel Frames”, Florida: CRC Press.
- C: Chun (2005): “Iterative Methods Improving Newton’s Method by the Decomposition Method”, Comput. Math. Appl., Cilt 50, sf. 1559-1568.
- M: A: Crisfield (1991) “Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures”, Cilt 1, USA, John Wiley and Sons.
- U: Ersoy, E: Çıtıptıoğlu (1988): “Yüksek Yapıların Tasarımı ve Yapımında İzlenecek Temel İlkeler”, T.M.M.O.B., İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını.
- H: Gönen, N. Kıraç, M: Doğan, A. Günaydın (2007): “Çok Katlı Çelik Yapılarda Yatay Deplasmanın Diyagonallerle Kontrolü”, 2. Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu, sf 88-96, Eskişehir.
- M. E. Kural, H. Tok (1992): “Benzer Betonarme Taşıyıcı Sisteme Alternatif Bir Çelik Taşıyıcı Sistem Üzerinde Araştırma”, Yüksek Binalar II. Ulusal Sempozyumu, İstanbul.
- A. P: Lopes, G: O: Santos, A: L: Souza (2005): “Study on Different Methods of P-delta Analysis”, Theory and Practise in Civil Engineering, No:7, sf. 9-19.
- C. K: Lu, W. F. Chen, S. L. Chan, T. W. Ma (2008) “Direct Second-Order Elastic Analysis for Steel Frame Design”, KSCE Journal of Civil Engineering, Cilt 12, No. 6, sf. 379-389.
- E. M. Lui (1988): “A Practical P-Delta Analysis Method for Type FR and PR Frames”, Engineering Journal, AISC, Cilt. 25, No. 3, sf. 85-98.
- A. M: Mashary, W. F. Chen (1990): “Elastic Second-Order Analysis for Frame Design”, J. Construct. Steel Research, Cilt 15, sf. 303-322.
- W. McGuire, R. H: Gallagher, R. D. Ziemian (2000): “Matrix Structural Analysis”, USA, John Wiley and Sons.
- F. Naeim (2001): “The Seismic Design Handbooks”, USA, Kluwer Academic Publishers.

- M. Seçer, Ö. Bozdağ, M. E. Kural (2004): “Simplified Second-Order Plane Frame Analysis Techniques”, ACE 2004–6. International Congress on Advances in Civil Engineering.
- M. A. Torkamani, M: Sönmez (2008): “Solution Techniques for Nonlinear Equilibrium Equations”, 18th Analysis and Computation Specialty Conference, ASCE.
- Ö. Zeybek (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.
- Ö. Zeybek, M: Seçer, M. E: Kural (2011): “Düzlem Çelik Çerçevelerin İkinci Mertebe Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi”, 4. Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu, sf. 213-223, İstanbul.