GENEL İTME ANALİZİNİN PRATİK UYGULAMASI

F.S. Alıcı[1], K. Kaatsız[1] ve H. Sucuoğlu[2]

[1] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
Email: fsonalici@gmail.com

ÖZET:

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analize alternatif olarak doğrusal olmayan itme analizi ve çok modlu itme analizi yaygın olarak kullanılmaktadır. Yakın zamanda geliştirilmiş çok modlu itme analizlerinden biri olan genel itme analizi (Sucuoğlu ve Günay, 2011) doğrusal olmayan sismik davranışa katkısı olan tüm modları hesaba katarak yapı davranışını tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Bu yöntem, önceden belirlenen sismik taleplere erişilene kadar, genel kuvvet vektörlerinin yapıya ayrı ayrı ve artımsal bir şekilde uygulanmasını kapsamaktadır. Modal kuvvetlerin kombinasyonu olarak belirlenen genel kuvvet vektörü; önceden belirlenmiş bir tepki parametresini, sismik harekete dinamik tepki sırasında en yüksek değere ulaştıran anlık kuvvet dağılımını temsil etmektedir. Çok modlu genel itme analizinde katlar arası ötelenme, önceden belirlenmiş tepki parametresi olarak kullanmaktadır. Kat sayısı kadar artımsal itme analizi yapılarak eleman deformasyonlarının en yüksek değerleri elde edilmektedir. Bu çalışmada yapının sismik tepkisine katkı yapan etkin modların sayısı ve bunların farklı kombinasyonları dikkate alınarak artımsal itme analizlerinin sayısının azaltıldığı, genel itme analizinin pratik uygulaması geliştirilmiştir. Söz konusu yöntem, 12 katlı bir çerçeve sistemtemine uygulanmış ve sonuçlar zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Genel itme analizinin pratik uygulaması, bir yer hareketi altında maksimum eleman deformasyonları ve eleman kuvvetlerinin tahmininde, kapsamlı olarak uygulanan genel itme analizi ile aynı başarıyı göstermekte ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz ile yeterince tutarlı sonuçlar vermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Genel itme analizi, çok modlu itme analizi, yüksek mod, genel kuvvet vektörü, doğrusal olmayan tepki.

1. GİRİŞ

Doğrusal olmayan statik analiz (artımsal itme analizi) esas olarak, bir yer hareketi altında birinci modun hakim olduğu basit yapı sistemlerinin en yüksek tepki parametrelerini tahmin etmek için geliştirilmiştir. Tek modlu itme analizinin kolaylığı ve konsept olarak basitliği nedenliye yüksek modların etkin olduğu yapı sistemlerinde de kullanılmıştır. Çok modlu itme analizi performans değerlendirmesi ve dizayn için en yüksek tepki değerlerini tahmin eden zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin yerini aldığından dolayı son dönemde deprem mühendisliği alanında geniş kabul görmektedir.

Çok modlu itme analizi doğrusal tepki spektrum analizinin doğrusal olmayan bir çeşidi olarak düşünülebilir. Çok modlu itme analizi adaptif ve adaptif olmayan olarak iki şeklide sınıflandırılabilir. Adaptif yöntemlerde, modal kuvvet vektörü daha kesin sonuçlar alabilmek için her yükleme adımında yenilenerek uygulanır. Bu bağlamda öz değer analiz, sistemde oluşan doğrusal olmayan deformasyonların hesaba katılması için her yük artırımında yapılmalıdır (Gupta ve Kunnath 2000, Aydınoğlu 2003, Antoniou ve Pinho 2004). Fakat bu yaklaşım da artımsal itme analizinin basitliğini ortadan kaldırmakta ve özel programlama veya hali hazırda kullanılan analiz programlarında modifikasyon gerektirmektedir. Adaptif yöntemlerin biraz daha basitleştiren yarı adaptif yöntemler de geliştirilmiştir (Poursha vd. 2009, Jerez ve Mebarki 2011). Diğer taraftan, kavramsal basitliğinden ve pratikliğinden dolayı adaptif olmayan yöntemler daha fazla ilgi çekmiştir (Chopra ve Goel 2002, Sucuoğlu ve Günay 2011, Kreslin ve Fajfar 2012). Önerilen bu yöntem deplasman kontrollü itme analizi yapabilen herhangi bir yazılım kullanarak (SAP, OpenSees, Drain, vb.) uygulanabilir.

Buna karşılık, sistemde doğrusal olmayan deformasyon dereceleriyle ilgisi bulunmayan yatay yük vektörlerinin kullanılması adaptif olmayan yöntemlerin en temel sorunudur.

Diğer yandan geliştirilen çok modlu itme analizi yöntemlerinin tümünde her moda ait değerler bağımsız olarak hesaplanmakta, sonra nihai sonuçlar istatistiksel birleştirme yöntemleri kullanarak (SRSS veya CQC) elde edilmektedir. Doğrusal elastik yapıların modal spektrum analizi için geliştirilmiş olan istatistiksel birleştirme yöntemlerinin doğrusal olmayan modal analiz sonuçlarına uygulanması da önemli hatalara neden olmaktadır. Özellikle bu yolla elde edilen iç kuvvetler kapasiteleri aşmakta, her itme adımında iç kuvvetlerin kontrol edilerek düzeltilmesi gerekmektedir. Genel yük vektörleri (Sucuoğlu ve Günay 2011) modal ölçekleme kuralı ile birleştirildikleri için modal birleştirmeden kaynaklanan eksiklikleri en aza indirmektedir. Bu bildiride, yeni geliştirilen yöntem genel yük vektörleriyle yapılan çok modlu itme analizine (genel itme analizi) dayandığı için bu yönteme kısaca değinilecektir. Ayrıca yeni geliştirilen yöntemle (genel itme analizinin pratik uygulaması) on iki katlı bir çerçevenin itme analizleri altı farklı yer hareketi altında yapılacak, sonuçlar zaman boyutunda doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları karşılaştırılarak irdelenecektir.

2. GENEL İTME ANALİZİ

Genel yük vektörleri le yapılan çok modlu itme analizi (genel itme analizi) dinamik tepki sırasında e *j*'inci katın kat arası ötelenmesi Δ_j maksimum değere ulaştığı anda sisteme etki eden etkin yük vektörünü $\mathbf{f}_j$ esas almaktadır. Her kata ait bu genel yük vektörü her modun farklı katkısından oluşmakta, ilgili katın kat arası ötelenmesi maksimum değere ulaştığında yapıya etki eden yatay yük dağılımını temsil etmektedir. Eğer bu yük vektörü hesaplanabilirse, doğrusal elastik özellikli yapıya uygulanarak ve statik analiz yapılarak ilgili tepki parametresinin maksimum değeri elde edilir. Genel itme analizinde (GİA) genel yük vektörleri tepki spektrumu yöntemi kullanılarak çok dereceli serbestliğe sahip doğrusal elastik sistemlerin deprem etkisi altındaki tepkilerinden elde edilir.

$$\mathbf{f}_j = \sum_n \left(\Gamma_n \mathbf{m} \boldsymbol{\varphi}_n A_n \frac{\Delta_{j,n}}{\Delta_{j,max}} \right) \tag{1}$$

Burada $\Gamma_n = L_n / M_n$; $L_n = \boldsymbol{\varphi}_n^{\mathrm{T}} \mathbf{ml}$; $M_n = \boldsymbol{\varphi}_n^{\mathrm{T}} \mathbf{m} \boldsymbol{\varphi}_n$; $\boldsymbol{\varphi}_n$ *n*'inci mod vektörü, **m** kütle matrisi, **l** yer hareketi etki vektörü, A_n (t_{max}) ise *n*'inci moda ait spektral ivmedir. Denklem (1)'deki $\Delta_{j,n}$ *n*'inci modun tepki spektrumu yönteminden elde edilen *j*'inci katın maksimum kat arası ötelenme talebine olan katkısını ifade etmektedir. $\Delta_{j,max}$ ise spektral modal kat arası ötelenme terimlerinin $\Delta_{j,n}$ ikinci dereceden kombinasyonudur.

$$(\Delta_{j,max})^2 \approx \sum_n \left[\Gamma_n D_n (\varphi_{n,j} - \varphi_{n,j-1}) \right]^2 \tag{2}$$

j'inci kattaki hedef kat arası ötelenme talebi Δ_{jt} genel yük vektörü ile tutarlı bir şekilde aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\Delta_{jt} = \sum_n \Gamma_n D_n \frac{\Delta_{j,n}}{\Delta_{j,max}} (\varphi_{n,j} - \varphi_{n,j-1}) \tag{3}$$

GİA'da modal ölçeklemenin uygulanmasıyla:

$$D_n(t_{max}) = D_n \frac{\Delta_{j,n}}{\Delta_{j,max}} \tag{4}$$

burada, $D_n(t_{max})$ deprem etkisi altında sistemin *n*' tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemini sağlayan modal yer değiştirme değeridir. $D_n$ise *n*'inci moda ait spektral yer değiştirme değeridir. $D_n(t_{max})$ Denklem (5)'i sağlamaktadır:

$$\ddot{D}_n(t_{\max}) + 2\zeta_n\omega_n^2\dot{D}_n(t_{\max}) + \omega_n^2 D_n(t_{\max}) = -\ddot{u}_g(t_{\max}) \quad (5)$$

burada t_{max} Δ_j 'nin yer hareketi altında maksimum olduğu zamandır. Denklem (3)' ün tahmin ettiği sonuçları iyileştirmek için birinci mod için kullanılan doğrusal elastik spektral yer değiştirme talebi D_1 yerine elastik olmayan spektral yer değiştirme talebi D_1^* kullanılabilir. Fakat bu seçim ilk mod için bir ön itme analizinin yapılmasını gerektirir. Bu itme analiz yapıldıktan sonra da D_1^* birinci mod davranışını temsil eden tek dereceli sistemin zaman boyutunda doğrusal olmayan dinamik analizi ile belirlenebilir.

GİA'de daha düşük dereceli kat (çatı) deplasmanı yerine, yüksek dereceli kat arası ötelemenler tepki parametresi olarak seçilmiştir. Buna göre, ilgili genel yük vektör $\mathbf{f}_j$ sistemi hedef kat arası ötelenme talebine iterken Δ_{jt}, elastik olmayan deformasyon aralığında sistem kendini uyarlar ve yüksek mod etkileri birinci ve ikinci derece deplasman parametreleri (dönmeler ve eğilmeler) ile ikinci ve üçüncü derece kuvvet parametreleri (momentler ve kesmeler) değerlerine daha etkin katkı sağlamaktadır. Diğer taraftan, eğer kat (çatı) deplasmanı tepki parametresi olarak kullanılsaydı yüksek modların katkısını önemsiz hale getirirdi. Kat arası ötelenme değerleri, bölgesel tepki parametreleri ile iyi derecede senkronize olduğu için maksimum bölgesel tepkilerin belirlenmesinde en etkili hedef parametresidir.

GİA'de her bir kat için toplam *N* tane itme analizi sırayla yapılır. *j*'inci kat GİA'nde, sistem artımsal bir şekilde $\mathbf{f}_j$ kuvvet vektörü ile itilir. Bu deplasman kontrollü itme analizi de *j*'inci katın kat arası ötelenme değerinin Δ_j, katın hesaplanan hedef ötelenme değerine ulaşana kadar Δ_{jt} devam edilir. GİA'nin 1'den N'ye kadar tamamlanmasından sonra, eleman deformasyonları ve eleman iç kuvvetleri ilgili GİA sonuçlarının zarf değerlerinden alınır. Alınan bu zarf değerleri de maksimum sismik tepki değeri olarak kaydedilir.

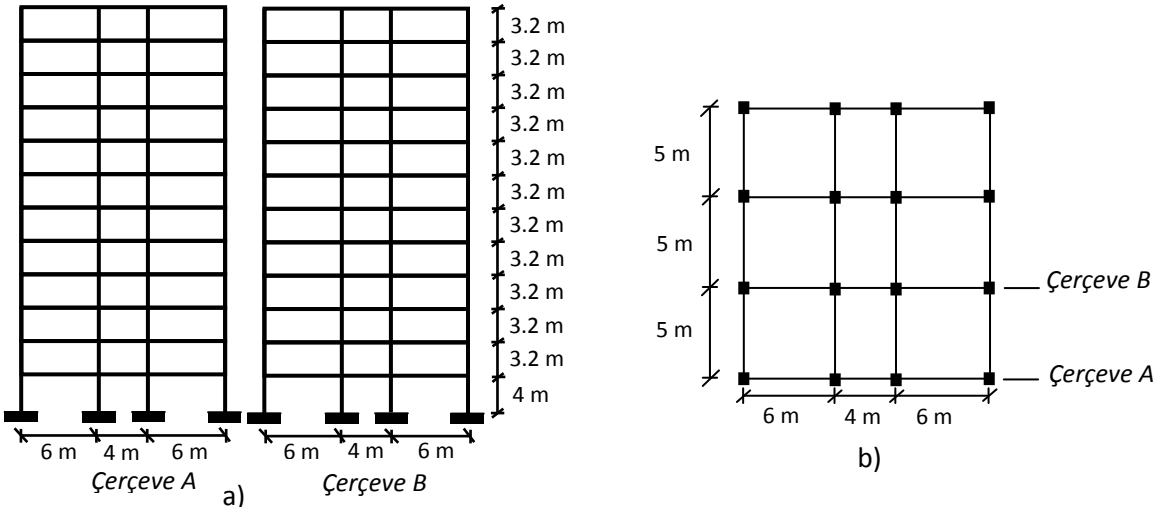
Bu bildiride genel itme analizinin pratik uygulaması anlatılacaktır. Performans değerlendirmesi açısından on iki katlı çerçeve üzerindeki genel itme analizinin pratik uygulamasının sonuçları zaman boyutunda doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır.

3. GENEL İTME ANALİZ SAYISINDA AZALTMA: MAKSİMUM TEPKİ ZAMANLARI

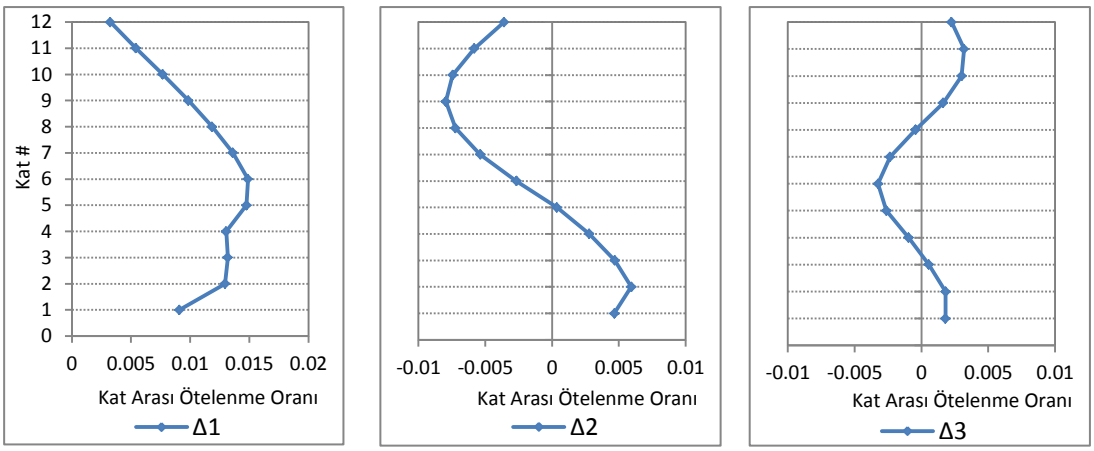
GİA genel olarak her kattaki (*j*=1-*N*) kat arası ötelenmenin Δ_j farklı anlarda $t_{j,\max}$, *j*=1-*N* oluştuğu varsayımına dayanmaktadır. Buna karşılık, toplam dinamik tepkiye önemli ölçüde katkı sağlayan *n* tane mod varsa (*n*<*N*), bu *n* tane modun belirli katların maksimum kat arası ötelenme tepkilerine katkı sağlayan olası $2^{(n-1)}$ tane kombinasyonu vardır. Bunun sonucu olarak da *N* serbestlik derecesine sahip olan bir sistemde $\mathbf{f}_j$ ve $\Delta_{j,max}$ değerlerini hesaplamak için $2^{(n-1)}$ tane birbirinden bağımsız zamanlara $t_{\max}$ ihtiyaç vardır.

GİA'daki azaltma kavramı bu bölümde özdeş çerçevelere sahip ve simetrik planlı 12-katlı betonarme binanın özellikleri üzerinden anlatılacaktır. Bu binanın ilk üç temek moduna ait periyod değerleri sırasıyla: 2.39, 0.82 ve 0.48 saniyedir. Şekil 1' binanın yükseklik ve kat planı gösterilmektedir.

12 katlı betonarme çerçevenin 1999 Chi-Chi depreminin kuvvetli yer hareketi bileşeni olan CHY006-E altındaki ilk üç modunun elastik spektral kat arası ötelenme profilleri Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. 12 katlı binanın a) Yükseklik b) Kat planı



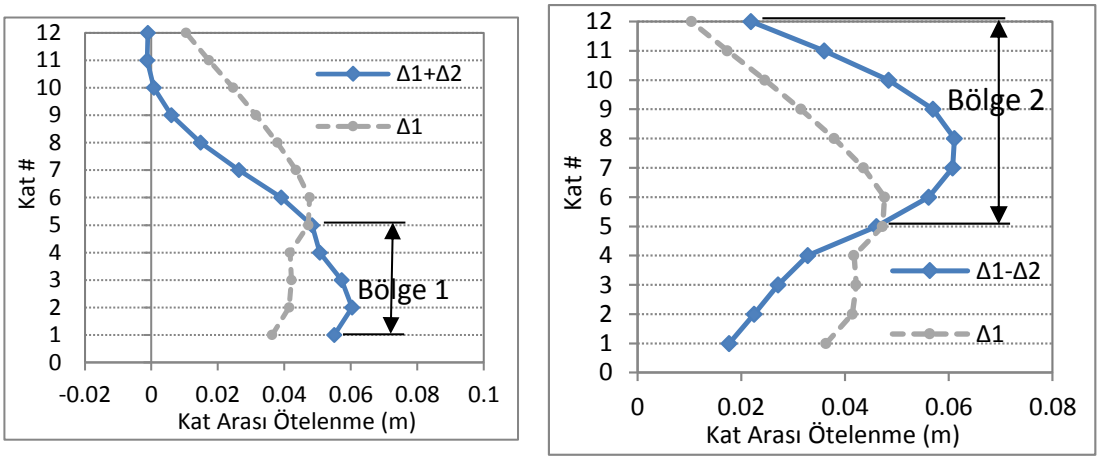
Şekil 2. CHY006-E altında ilk üç modun kat arası ötelenme profilleri

Burada,

$$\Delta_{j,n} = \left[\Gamma_n D_n(\varphi_{n,j} - \varphi_{n,j-1})\right] \tag{6}$$

$\Delta_{j,n}$ n' inci modun j'inci kattaki spektral kat arası ötelenmesini ifade etmektedir. Denklem (6)'daki D_n ise CHY006-E'nin doğrusal elastik tepki spektrumdan elde edilen yer değiştirme talebidir. Önceden de belirtildiği üzere kat arası ötelenme talebine önemli ölçüde katkıda bulunan n tane modun olası $2^{(n-1)}$ tane kombinasyonu vardır. $n=2$ ve $n=3$ için olası kombinasyonlar Şekil 3 ve Şekil 4' te gösterilmektedir. Bu kombinasyonlar modal kat arası ötelemelerinin mutlak maksimum kombinasyonlarından oluşmaktadır. Asıl sismik tepki sırasında kat arası ötelenme dağılımları aynı anda oluşmayacaktır. Fakat bu durum bu bölümde ortaya konulan yaklaşımı etkilemeyecektir.

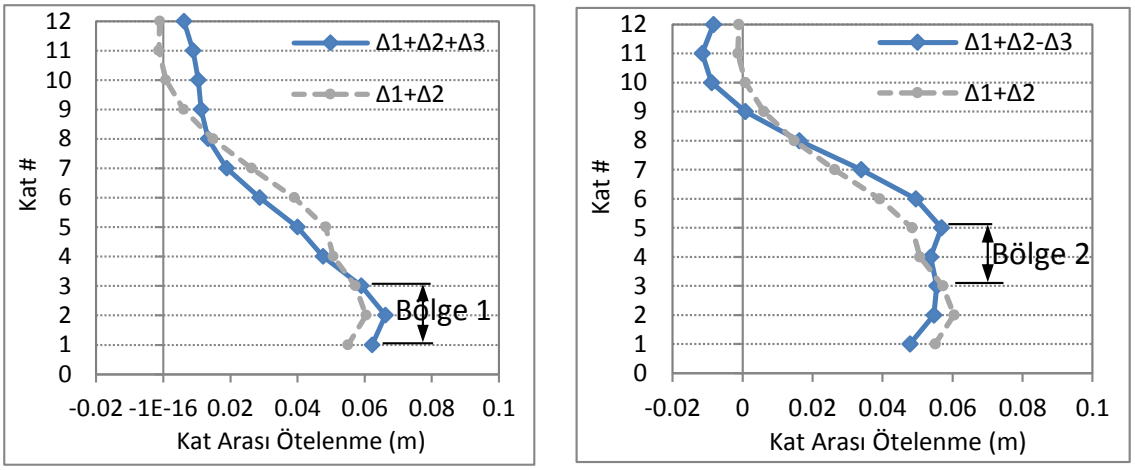
Şekil 3'e göre $\Delta_1+\Delta_2$ ve $\Delta_1-\Delta_2$ kombinasyonları sistemi iki farklı bölgeye ayırmakta olduğu görülmektedir. Bu bölgelerden ilki 1'inci ve 5'inci katlar arsında, diğeri ise 6'ncı ve 12'nci katlar arasındadır.

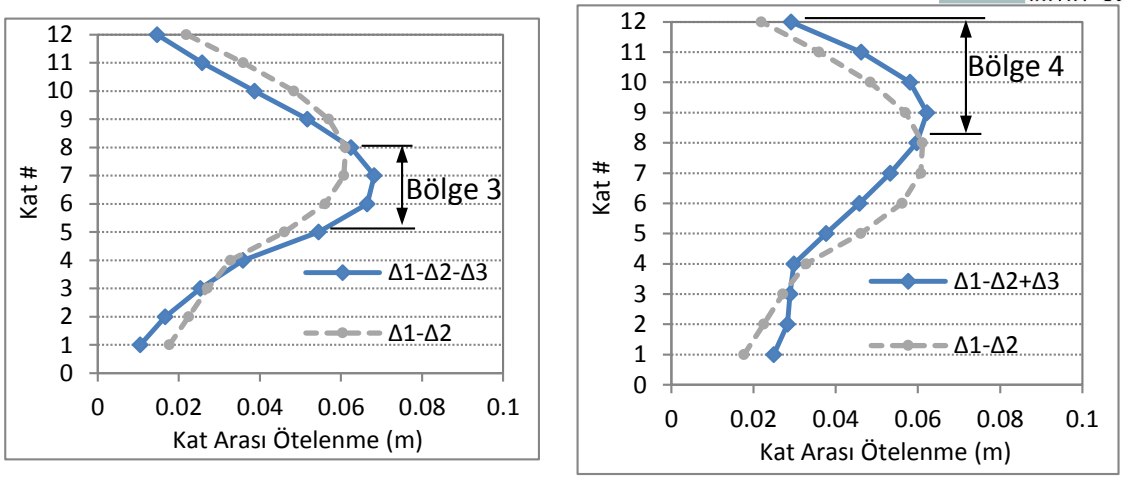


Şekil 3. Kat arası ötelenmeye katkıda bulunan ilk iki modun kombinasyonu

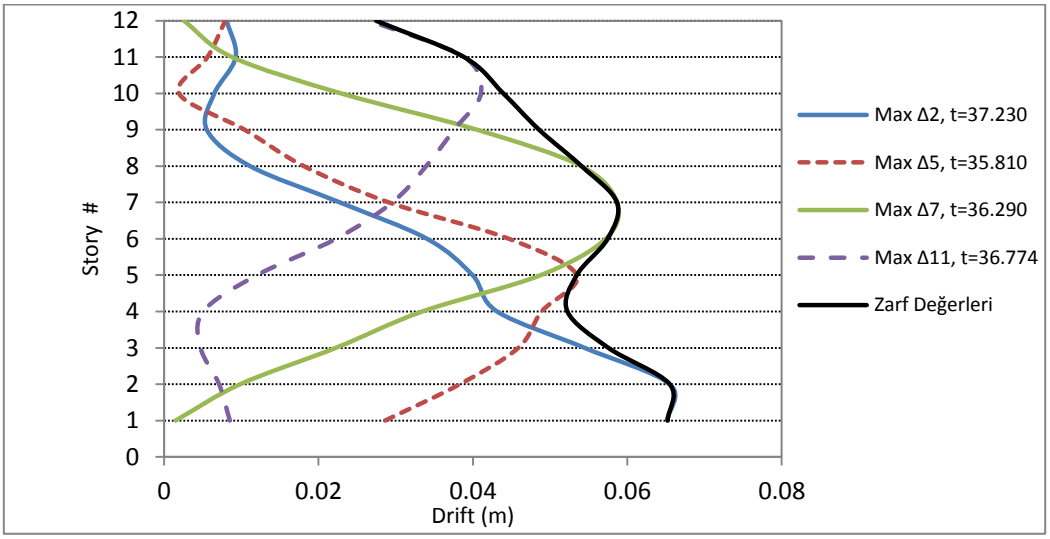
Şekil 4'te ilk üç modun farklı kombinasyonlarının sistemi dört farklı bölgede kontrol ettiği görülmektedir. Bu dört bölgenin sıralaması şu şekilde yapılabilir: Δ_1-Δ_2+Δ_3 kombinasyonu 9.-12., Δ_1+Δ_2+Δ_3 kombinasyonu 1.-3., Δ_1+Δ_2-Δ_3 4.-5. ve Δ_1-Δ_2-Δ_3 6.-8. katlar arasındaki maksimum kat arası ötelenmeleri kontrol etmektedir.

Bu durum zaman boyutunda elastik dinamik analizinden (EDA) elde edilen sonuçlarda da görülmektedir. Şekil 5'te çizilen kat arası ötelenmelere ait grafik ilk üç modun ilgili dört kombinasyonları için CHY006-E altında sistemin doğrusal elastik tepkisi sırasında her bir kat aralığının en yüksek ötelenme değerine ulaştığı zaman ki görünümlerini göstermektedir. Buna bağlı olarak da kontrol katları 2., 5., 7. ve 11. katlar sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü kat bölgeleri için seçilmiştir. EDA'dan elde edilen en yüksek kat arası ötelenmelerinin zarf değerleri Şekil 5'te aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5'te dört farklı zamanda oluşan maksimum kat arası ötelenme profillerinin Şekil 4'teki profillerle benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bu karşılaştırmayı yapmaktaki amaç sayısı azaltılmış yük vektörler ile yapılan itme analizlerinin sistemin bir yer hareketi altında maksimum dinamik tepkilerini tahmin etmekte yeterli olabildiğini göstermektir. Buna göre, ilk kat bölgesinde 2. kat en yüksek ötelenme değerine ulaştığı anda 1. ve 3. katlarda senkronize bir şekilde maksimum değerlerine ulaşacaklardır. Bu durum diğer üç kat bölgesi için de geçerlidir. 9. kattaki hata bu katın iki kat bölgesinin içine de dahil olmasından kaynaklanmaktadır.





Şekil 4. Kat arası ötelenmeye katkıda bulunan ilk üç modun kombinasyonu



Şekil 5. Dört kat bölgesindeki maksimum ötelenmeler ile EDA 'dan elde edilen ötelenmelerin zarf değerlerinin karşılaştırılması

Buna göre, her bir kat bölgesinden bir kat seviyesi seçilebilir ve bu katın kuvvet vektörü kullanılarak GİA gerçekleştirilebilir. Bu sayede *N* tane kuvvet vektörü kullanılarak yapılan itme analizleri önemli ölçüde azaltılmış olacaktır. 12 katlı çerçevede ilk üç modun kombinasyonları düşünüldüğünde kat bölgeleri için 2., 5., 7. ve 11. katlar seçilip GİA dört genel yük vektörü $\mathbf{f}_2$, $\mathbf{f}_5$, $\mathbf{f}_7$ ve $\mathbf{f}_{11}$ kullanılarak yapılır. Bu dört itme analizinin sonuçlarının zarf değerleri kullanılarak en yüksek tepki parametreleri hesaplanır. 12 itme analizi yerine 4 itme analizi yapılması GİA' nin pratikliğini önemli ölçüde arttırmaktadır.

4. UYGULAMA: 12 KATLI BETORNAME ÇERÇEVE

Azaltılmış genel itme analizi kapasite tasarım prensibine göre tasarlanmış ve yüksek süneklik düzeyine detaylandırılmış 12 katlı çerçeve üzerinde denenmiştir. Geliştirilen yöntem altı kuvvetli yer hareketi kullanılarak yapıya uygulanmış ve elde edilen sonuçlar zaman boyutunda doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Altı yer hareketi altında elde edilen kat arası ötelenmelerin, kiriş uçlarındaki ortalama plastik dönmelerin, kolon ortalama uç dönmelerin ve kiriş uçlarındaki kesme ve moment değerlerinin en yüksek değerleri karşılaştırmalı bir biçimde sunulacaktır. Katlardaki ortalama plastik ve toplam uç dönmeler ilgili kattaki

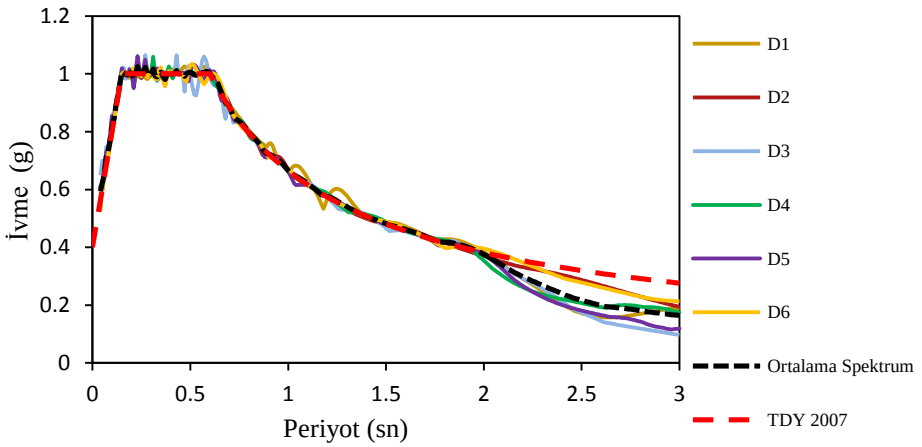
elemanların uçlarındaki dönme değerlerinin her bir yükleme adımında ortalamaları alınır ve bu ortalama değerlerin maksimumları da ilgili kattaki en yüksek değer olarak kullanılır. Zaman boyutunda doğrusal olmayan dinamik analiz (NDA), GİA, ve indirgenmiş genel itme analizi (İGİA) sonuçları altı farklı yer hareketi için karşılaştırmalı olarak sunulacaktır. Denklem (3) kullanılarak hesaplana hedef kat arası ötelenme talebinde maksimum doğrusal olmayan deplasman talebi büyüklüğü D_1^* kullanılmıştır.

4.1. Kullanılan Yer Hareketleri

Çerçeve analizleri altı farklı kuvvetli yer hareketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak altı yer hareketinin ivme spektrumlarının 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan tasarım spektrumuna (A_0 = 0.4, I = 1.0, Z3) uyumlu olması için, bu yer hareketlerinin ivme kayıtları RSPMatch2005 yazılımı kullanılarak, daha önceden seçilmiş benzer özelliklere sahip altı kuvvetli yer hareketi kaydından türetilmiştir (Hancock ve diğ., 2006; Hancock ve Bommer, 2007). Bu yer hareketleri seçilirken sistemde yüksek mod etkileri oluşturabilme özellikleri dikkate alınmıştır. Tüm bu referans yer hareketleri dataları PEER kuvvetli yer hareketi veri tabanından alınmıştır. Referans yer hareketlerinin özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Türetilen yer hareketlerinin ive spektrumleri, ortalama ivme spektrumu ve TDY2007 Z3 tasarım spektrumu Şekil 6'da sunulmaktadır.

Tablo 1. Yer hareketlerinin özellikleri

#	YH Kodu	Deprem (Mw)	İstasyon - Komponent	CD (km)	Zemin Sınıfı	PGA (g)		PGV (cm/s)		PGD (cm)	
						Ref.	Türetilen	Ref.	Türetilen	Ref.	Türetilen
1	CLS090	Loma Prieta, 1989 (7)	Corralitos-090	3,9	A	0,479	0,449	45,2	53,2	11,3	20,3
2	LEX000	Loma Prieta, 1989 (7)	Lex. Dam-000	5,0	A	0,420	0,496	73,5	66,2	20,0	24,9
3	PCD254	San Fer., 1971 (6.6)	Pac. Dam-254	2,8	B	1,160	0,567	54,1	48,1	11,8	17,0
4	CHY006-E	Chi-Chi, 1999 (7.6)	CHY006-E	9,8	B	0,364	0,513	55,4	59,9	25,6	20,0
5	Bolu000	Duzce, 1999 (7.1)	Bolu-000	12,0	D	0,728	0,541	56,4	55,9	23,1	18,7
6	ERZ-EW	Erzincan,19 92 (6.9)	Erzincan-EW	4,4	D	0,496	0,518	64,3	64,3	21,9	23,4

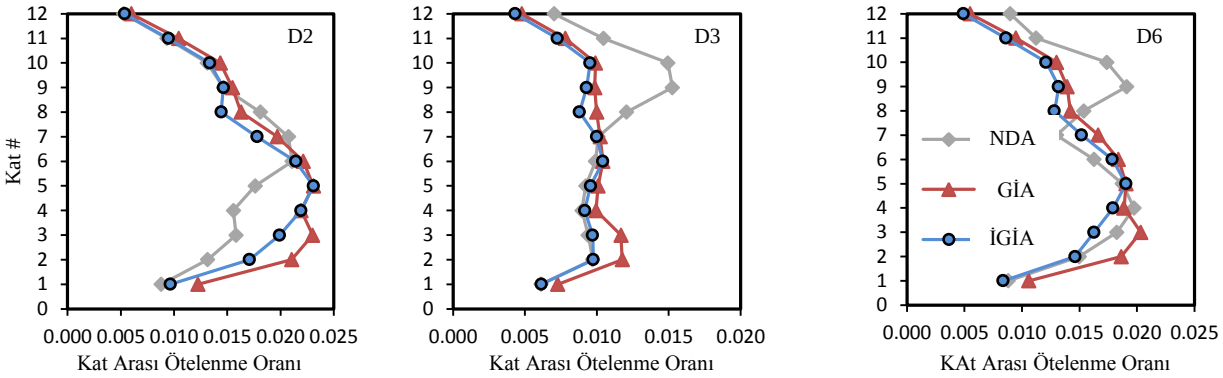


Şekil 6. Türetilen altı kuvvetli yer hareketinin ivme spektrumları, ortalama spektrum ve TDY2007 Z3 tasarım spektrumu.

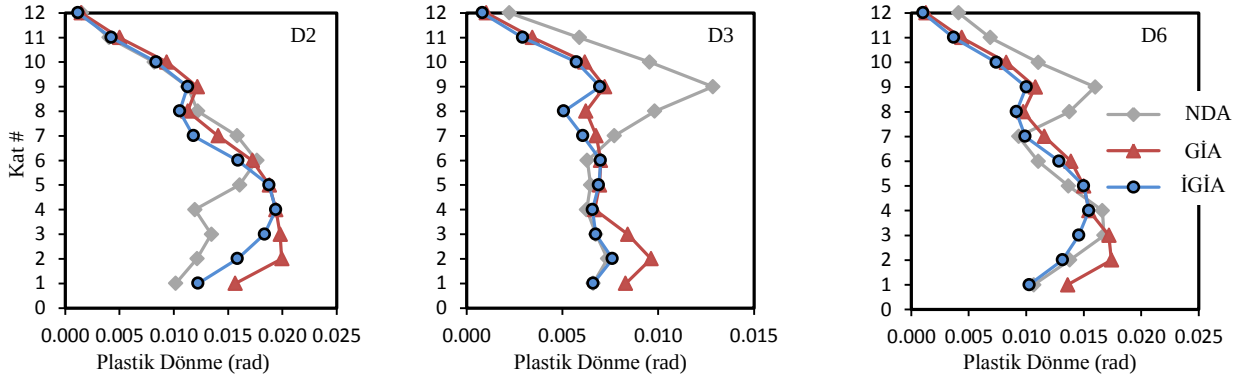
4.2. Analiz Sonuçları

Binanın yükseklik planı ve kat planı Şekil 1' de gösterilmişti. Beton ve çelik karakteristik dayanımları sırasıyla 25 MPa ve 420 MPa olarak alınmıştır. Tüm katlarda döşeme kalınlığı 140 mm ve hareketli yük 3.5 kN/m^2 dir.İlk dört kat, ikinci dört kat ve üçüncü dört katta kiriş boyutları sırasıyla 300x550, 300x500 ve 300x450 mm^2 olarak seçilmiştir. Ayni katlarda kolon boyutları ise sırasıyla 500x500, 450x450 and 400x400 mm^2'dir. Giriş katı yüksekliği 4 m, diğer katların yüksekliği 3.2 m'dir. Analizler yatay (X) yönünde yapılmış ve analizlerde OpenSees yazılımı kullanılmıştır. Tüm çerçeveler modellenmiştir. Betonarme elemanların doğrusal olmayan modellemesinde ilk rijitlik olarak çatlamış kesit rijitlikleri alınmıştır. İlk üç moda ait titreşim peryodları 2.39, 0.82 ve 0.48 saniye hesaplanmıştır.

NDA, GİA ve İGİA'dan elde edilen maksimum kat arası ötelenmeleri ve ortalama kiriş uç dönmeleri D2, D3 ve D6 yer hareketleri için sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8' gösterilmektedir. İGİA, zaten NDA ile elde edilen değerlere yakın olan GİA ile elde edilen sonuçlara yakın değerler verdiği görülmektedir.

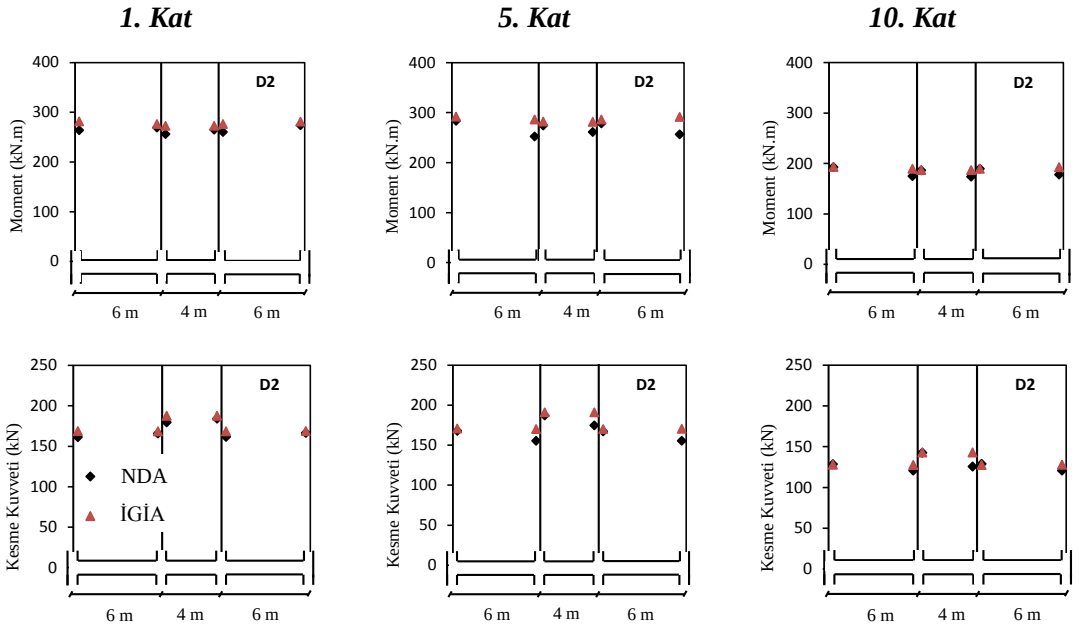


Şekil 7. D2, D3 ve D6 yer hareketleri için maksimum kat arası ötelenmelerin karşılaştırılması



Şekil 8. D2, D3 ve D6 yer hareketleri için maksimum ortalama plastik kiriş uç dönmelerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada GİA'nın pratik bir uygulaması geliştirildiğinden dolayı bundan sonra sunulacak sonuçlarda sadece NDA ve İGİA'dan elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. D2 yer hareketi için 1., 5. ve 10. Katlarda elde edilen moment ve kesme kuvveti değerleri Şekil 9'da gösterilmektedir. İGİA sonuçları NDA'dan elde edilen değerlerle hemen hemen örtüşmektedir. Bu da İGİA'nın GİA kadar başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 9. D2 yer hareketi için maksimum kiriş uçlarındaki maksimum moment ve kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Tablo 2'de birinci kattaki maksimum ortalama kolon uç dönmeleri gösterilmektedir. NDA ve İGİA'nın birbirine yakın değerler verdiği görülmektedir. İGİA eleman iç kuvvetleri tahmininde ve eleman iç deformasyonları tahminin de başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Tablo 2. Birinci kat kolon alt uçlarının maksimum ortalama dönmesi

Analiz Tipi	Birinci kat kolon alt uçlarındaki maksimum ortalama uç dönmesi (*rad*)					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
NRHA	0.0066	0.0058	0.0040	0.0050	0.0053	0.0061
RGPA	0.0050	0.0069	0.0040	0.0050	0.0049	0.0059
Akma dönmesi = 0.0049 rad.						

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada anlatılan GİA'nın pratik uygulamasında itme analizlerinin sayısı N+1 taneden $2^{(n-1)}$ +1 taneye indirgenmektedir. Buradaki n toplam tepkiye katkı sağlayan önemli modların sayısını, *1* ise de doğrusal olmayan ilk mod deplasman parametresinin belirlenmesinde için yapılan itme analizini ifade etmektedir. Örnekteki gibi eğer n=3 ise toplam 4+1=5 tane itme analizi yapılması gerekmektedir. Eğer ilk modun deplasman parametresi elastik spektrumdan elde edilmesi durumunda ise 4 tane itme analizi yapılması gerekecektir.

Genel itme analizinin pratik uygulamasında itme analizlerinin önemli ölçüde azaltılması zaman boyutunda doğrusal olmayan dinamik analize göre daha basit bir doğrusal olmayan analiz yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. GİA' da olduğu gibi İGİA'da iç deformasyon ve iç kuvvetler tahmininde NDA'ya yakın sonuçlar vermektedir.

İGİA'nın en temel sınırlaması sistemin dinamik tepkisi sırasında oluşan bölgesel plastik deformasyonların birikiminin sistemin mod şekillerini önemli ölçüde değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Adaptif olmayan İGİA'nın bu değişimleri hesaba katamayacağından dolayı zaman boyutunda doğrusal olmayan dinamik analizden elde edilen sonuçlarla arasındaki fark bazı durumlarda artabilir.

KAYNAKLAR

Antoniou, S. ve Pinho, R. (2004). Development and verification of a displacement-based adaptive pushover procedure. *Journal of Earthquake Eng* **8** (5): 643-661.

Aydınoğlu, M.N. (2003). An incremental response spectrum analysis procedure based on inelastic spectral displacements for multi-mode seismic performance evaluation. *Bull Earthquake Eng* **1** (1): 3-36.

Chopra, A.K. ve Goel, R.K. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Eng Str Dynamics* **31** (3): 561-582.

Gupta, B. ve Kunnath, S.K. (2000). Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures. *Earthquake Spectra* **16** (2): 367-391.

Sasaki, F., Freeman, S. ve Paret, T. (1998). Multi-mode pushover procedure (MMP). Proc. Sixth U.S. NCEE, Seattle, Washington.

Sucuoğlu H. ve Günay M. S. (2010). Generalized force vectors for multi-mode pushover analysis. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2010; **10**(1002).

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (TDY), T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 2007.

The Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees), Pacific Earthquake Engineering Research Center (1999,2000); component for the NEESit since 2004. Available from: http://opensees.berkeley.edu/.

Hancock ve diğ., (2006). An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. *Journal of Earthquake Engineering* **10** (1): 67-89.

Hancock, J. ve Bommer, J.J., (2007). Using spectral matched records to explore the influence of strong-motion duration on inelastic structural response. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **27**: 291-299.

PEER Strong Motin Database. Available from: http://peer.berkeley.edu/smcat [29 June 2010].

Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-05), American Society of Civil Engineers, 2006, Bölüm 17.6.3.4 .