

Deprem Etkisindeki Bina Türü Çelik Yapıların Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi İçin Bir Bilgisayar Programı (İMEP-3D)

Erdal İrtem*

Özet

Bu çalışmada, deprem etkisindeki bina türü yapıların kapasite eğrisinin elde edilmesi için geliştirilen etkin bir yük artımı yöntemi [1, 2] ve bu yöntemin sayısal uygulamaları amacıyla hazırlanan İMEP-3D bilgisayar programı ile ilgili bilgiler sunulmuştur [2]. Geliştirilen yük artımı yöntemi ile bina türü yapının sabit düşey yükler ve artan yatay deprem yükleri altında malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan statik analizi yapılarak, artan yatay deprem yükü ile yapının tepe deplasmanı arasında çizilen diyagram ile yapının kapasite eğrisi elde edilebilmektedir. Bu program yardımı ile hem düzlem hem de uzay çelik yapıların kapasite eğrileri elde edilebilmektedir. Bildiride İMEP-3D bilgisayar programının giriş ve çıkış bilgileri ve programın esas aldığı yük artımı yöntemi [1, 2] ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Yük artımı yöntemi esasen malzemeden bağımsızdır ve betonarme yapıları da kapsamaktadır. Bilgisayar programının esas aldığı yük artımı yönteminin özelliği sayesinde, sistemde oluşan her plastikleşen kesitin oluşumundan sonra kalıcı hasarın oluştuğu plastik kesitlerdeki plastik şekil değiştirmelerin hesabı için ayrıca bir hesap yapmaya gerek kalmamakta ve direkt olarak belirlenebilmektedir. Yük artımı yönteminin etkinliği sayesinde ise her plastik kesitin oluştuğu yük artımı değerinin belirlenmesi için ardışık yaklaşım yapmaya gerek kalmamakta ve tek bir adım yeterli olmaktadır. Yapıların sabit düşey

yükler ve artan yatay yükler altında doğrusal olmayan statik analizi sonucunda elde edilen bilgilerden yararlanarak yatay deprem yükü-tepe deplasmanı eğrisi çizilir ve buna kapasite eğrisi (pushover eğrisi) denir. Bilindiği gibi birçok çağdaş ülke yönetmeliğinde olduğu gibi Türk Deprem Yönetmeliği'nde [3] de belirli deprem seviyeleri için binadan beklenen performans hedefleri tanımlanmıştır. Bu hedeflerin gerçekleşip gerçekleşmediğinin kontrolünün doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile yapılması istendiğinde öncelikle kapasite eğrisinin elde edilmesi gerekmektedir. Ancak, bunun için bilgisayar programları vb. araçlara gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle bildiride bina türü yapıların doğrusal olmayan statik analizinin sayısal uygulamaları amacıyla hazırlanan İMEP-3D bilgisayar programı ve bu programın esas aldığı etkin bir yük artımı yöntemi ile ilgili bilgiler verilmesi amaçlanmıştır [2].

Giriş

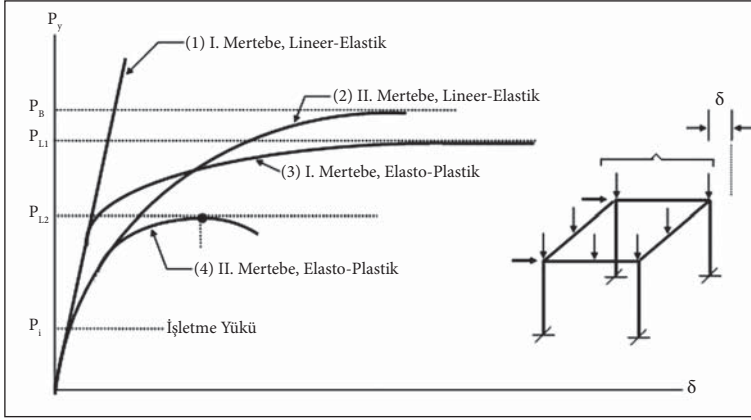
Son on-onbeş yıl içinde özellikle kentsel alanlarda yaşanan şiddetli depremlerde (1994 Northridge-ABD, 1995 Kobe-Japonya, 1999 Marmara-Türkiye vb.) yapılarda meydana gelen hasarlar oldukça büyük ekonomik kayıplara neden olmuştur. Bu nedenle, geleneksel kuvvet esaslı sismik tasarım yöntemlerinin sorgulanmasına başlanmış ve bu yöntemlerin yerini alacak yeni yaklaşımlar önem kazanarak performans esaslı sismik tasarımla ilgili çalışmalara hız verilmiştir. Bu konuda başta ABD ve Japonya olmak üzere birçok ülkede bilimsel araş-

* Prof. Dr., Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir - irtem@balikesir.edu.tr

tırma projeleri başlatılmış (VISION 2000 [4], ATC 40 [5], FEMA 273 [6], FEMA 356 [7], FEMA 440 [8] vb.) ve bu çalışmalara günümüzde de devam edilmektedir. Yapıların performans esaslı sismik tasarımının ve değerlendirilmesinin yapılabilmesi için önce doğrusal olmayan davranışının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için bilindiği gibi doğrusal olmayan dinamik ve statik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan doğrusal olmayan statik analiz yöntemi, yapıların deprem yükleri altındaki gerçek davranışının belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır.

Bilindiği gibi, büyük bir oranı yapı ağırlığı olan düşey yüklerin daha az değişim göstermesi, buna karşılık deprem ve rüzgar etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olması göz önünde bulundurularak, sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında yapıların doğrusal olmayan statik analizinin yapılması daha gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır. Bu nedenle doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile belirli sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre yapının analizi yapılarak kapasite eğrisi olarak tanımlanan yatay kuvvet-tepe deplasmanı bağıntısı elde edilebilmektedir. Bilindiği gibi pushover analiz olarak da isimlendirilen bu analizde yapının yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisinin elde edilmesi ile her plastik kesitin olduğu yatay yük-tepe deplasmanı değerleri, oluşan plastik kesitlerin sistemdeki yerleri ve sırası, yapının taşıyıcı elemanlarının dayanım ve deformasyon talepleri ve olabilecek kısmi veya toptan göçme mekanizma durumları belirlenebilmektedir [9]. Ayrıca, kapasite eğrisi ile davranış spektrum analizinin birleştirilmesine dayanan çeşitli yöntemler (Kapasite Spektrumu Yöntemi [5], Deplasman Katsayıları Yöntemi [6,7], N2 Yöntemi [10], Akma Noktası Spektrumu Yöntemi [11] vb.) kullanılarak göz önüne alınan deprem seviyesi için yapının genel dayanım ve deplasman talepleri belirlenebilmekte, böylece istenilen deprem seviyesi için yapının performans düzeyleri değerlendirilebilmektedir. Ancak yapının performans düzeylerinin değerlendirilebilmesi için öncelikle kapasite eğrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Uygulamada yapıların doğrusal olmayan statik analizinin yapılarak kapasite eğrisinin belirlenebilmesi için ise bilgisayar programlarına vb. araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bildiride çelik yapıların sayısal uygulamaları için hazırlanan İMEP-3D bilgisayar programı [2] ve bu programın esas aldığı, düzlem ve uzay çerçeve yapıların doğrusal olmayan statik analizi için geliştirilen etkin bir yük artımı yöntemi [1,2] ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Bilindiği gibi, yapıların

doğrusal olmayan davranışı malzeme bakımından, geometri değişimi bakımından ve her iki bakımdan (malzeme ve geometri değişimi bakımından) incelenebilmektedir [12]. Malzeme bakımından doğrusal olmayan analizde malzemenin doğrusal-elastik sınırının ötesindeki davranışı göz önüne alınmaktadır. Geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan analizde ise dış etkiler altında yapıda meydana gelen yer değiştirmeler denge denklemlerinde göz önüne alınmakta, geometrik uygunluk koşullarında ihmal edilmektedir. Yerdeğiştirmelerin sadece denge denklemlerinde göz önüne alındığı bu teoriye bilindiği gibi ikinci merteye teorisi denilmektedir. Malzeme davranışının doğrusal-elastik ve yerdeğiştirmelerin denge denklemlerinde ve geometrik uygunluk koşullarında ihmal edildiği birinci merteye doğrusal-elastik teoriye göre analizde artan yüklere aynı oranda artan yerdeğiştirmeler, şekildeğiştirmeler ve iç kuvvetler karşı gelir (Şekil 1. (1)). Ancak malzeme davranışının doğrusal-elastik kabul edildiği ve geometri değişimlerinin sadece denge denklemlerinde göz önüne alındığı teoriye göre analizde, artan yatay yükler için sistemde daha da artan yerdeğiştirmeler meydana gelir ve sistemin daha büyük yükleri taşıyamadığı sınır değere ulaşır. Bu duruma burkulma, bu yüke ise burkulma yükü adı verilir ve P_b ile gösterilir. İkinci merteye doğrusal-elastik teoriye göre elde edilen yatay yük-tepe deplasmanı eğrisi Şekil 1. (2)'de şematik olarak gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 2'de görüldüğü gibi, malzemenin doğrusal olmayan davranışı ideal elasto-plastik olarak göz önüne alınarak ikinci merteye etkilerinin ihmal edildiği teoriye göre analizde, artan yatay yükler altında iç kuvvetler de artarak sistemin bazı kesitlerinde doğrusal-elastik sınır aşmaktadır. Plastik kesit adı verilen bu kesitlerde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler (kalıcı yani plastik şekildeğiştirmeler) meydana gelmektedir. Birinci merteye elasto-plastik analiz olarak isimlendirilen bu teoriye göre oluşan plastik kesitler nedeniyle rijitliği azalan sistemin yük-tepe deplasmanı eğrisi Şekil 1. (3)'de şematik olarak gösterilmiştir. Burada artan yatay yükler belirli bir sınır değere ulaşır, bu yüke **I. Merteye Limit Yük** denir ve P_{L1} ile gösterilir [1,2]. Bilindiği gibi yerdeğiştirmelerin sadece denge denklemlerinde göz önüne alındığı ve malzemenin doğrusal-elastik sınırın ötesindeki davranışının ideal elasto-plastik olarak kabul edildiği teoriye ikinci merteye elasto-plastik teori denilmektedir [1,2] ve buna ait yük-tepe deplasmanı eğrisi Şekil 1. (4)'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu teoriye göre analizde yük belirli bir kritik değere ulaştıncaya, sistemde oluşan plastik kesitler nedeniyle rijitliği azalan sisteme etkiyen yük, kritik yükün altına düşmekte ve sistemin yerdeğiştirmelerindeki artışa



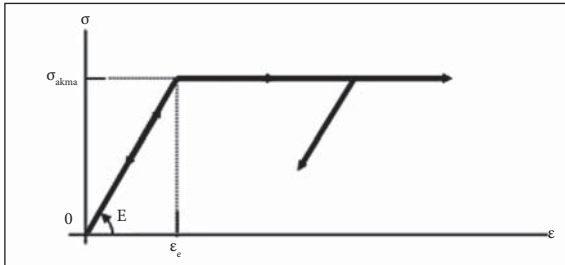
Şekil 1

azalan yük değerleri karşı gelmektedir. Sistemin daha büyük yükleri taşıyamayacağını ifade eden bu yüke **II. Mertebe Limit Yük** denir ve P_{L2} ile gösterilir [1,2].

Yük Artımı Yönteminin Hesap Esasları

İMEP-3D bilgisayar programının esas aldığı etkin yük artımı yönteminin hesap esasları aşağıda özetlenmiştir. Geliştirilen yük artımı yöntemi, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre uzay ve düzlem çubuk sistemlerin sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altındaki analizini kapsamaktadır. Çelik malzemenin ideal elasto-plastik davranış gösterdiği (Şekil 2) ve artan yatay yükler altında oluşan plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde çubuğun doğrusal-elastik davrandığı kabul edilmektedir.

Malzemenin doğrusal olmayan davranışında bu kabulün geçerli olduğu çubuk sistemlerin geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan analizinde karşılaşılan ve mevcut diğer hesap yöntemlerinde çözümlenmesi gereken sorunlar bulunmaktadır [2] ve bunun için etkin yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır [13]. Bu sorunlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.



Şekil 2 - Malzemenin (çeliğin) ideal elasto-plastik davranışına ait yüklenme-boşaltma eğrisi

a- Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinden dolayı süperpozisyon kuralı geçerli değildir. Bu nedenle her plastik kesitin oluşumunda gerekli yük artımı değerinin belirlenebilmesi için ya ardışık yaklaşım yapılarak ya da yüklere çok küçük artımlar verilerek çok sayıda hesap yapılması gerekmektedir. Bu durum, sistemde oluşacak plastik kesit sayısına bağlı olarak daha da çok sayıda işlem yapılmasına neden olmaktadır.

b- Her plastik kesitin oluşumundan sonra ilgili kesitte tek bir plastik şekildeğiştirme bileşenine bağımlı olarak ifade edilebilen sonlu plastik şekildeğiştirmeler oluşmakta ve bu nedenle rijitliği azalan sistemin dış etkiler altındaki davranışı da değişmektedir. Bu durumda her plastik kesitin oluşumundan sonra sistem yeni bir sistem olarak ele alınmakta ve yeni sisteme ait denklem takımının yeniden kurulması ve çözülmesi gerekmektedir. Bu işlemler, sistemde oluşacak plastik kesitlerin sayısına bağlı olarak hesapların oldukça uzamasına neden olmaktadır.

c- Normal kuvvetle birlikte tek eksenli eğilme veya iki eksenli eğilme etkisi ile oluşan bileşik iç kuvvet durumunun akma koşullarında göz önüne alınması ile artan yüklerle birlikte plastik kesitlerdeki iç kuvvetler de sürekli olarak değişmektedir. Daha gerçekçi bir yaklaşım olan bu durumda oluşan plastik kesitlerdeki iç kuvvetlere ait değerlerin her yük artımı için yeniden ardışık yaklaşımla hesaplanması gerekmektedir. Görüldüğü gibi bu durumda da işlem sayısı ardışık yaklaşım sayısına bağlı olarak önemli ölçüde artmaktadır.

Geliştirilen yük artımı yönteminde yukarıda söz edilen sorunlar giderilerek etkin bir yöntem ortaya konmuştur [1,2]. Bu yöntem üzerinde daha ileri çalışmalara halen devam edilmektedir.

Çelik malzemenin davranışı Şekil 2'de görüldüğü gibi ideal elasto-plastik olarak göz önüne alınmaktadır. Buna göre geliştirilen yük artımı yöntemini esas alan İMEP-3D bilgisayar programında da düşey yükler, öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkilimekte ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler için sistemin ikinci mertebe elasto-plastik analizi yapılmaktadır [2].

Sisteme etkileyen düşey yüklerin belirli bir değeri için, büyük ölçüde denge denklemlerine bağlı

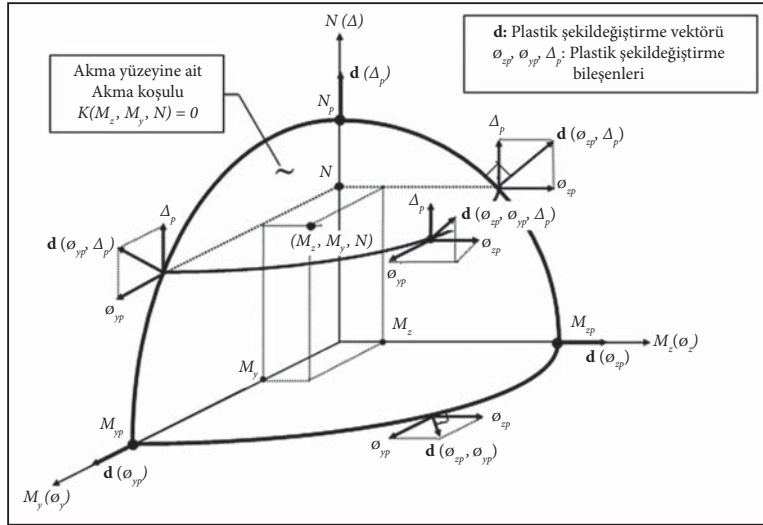
olan normal kuvvetler başlangıçta kolaylıkla tahmin edilebilir. Böylece, çubuklara ait rijitlik (birim deplasman) ve yükleme matrislerinin elemanlarını çubukların normal kuvvetlerine bağlı olarak ikinci mertbe teorisinden almak suretiyle süperpozisyon yapılabilen ve her plastikleşen kesitin meydana geldiği yük parametresinin hesabı için ardışık yaklaşım yapılmasına gerek kalmamaktadır [1,2].

Geliştirilen yük artımı yönteminde, hesap sonucunda bulunan normal kuvvetlerin, başlangıçta tahmin edilen değerlerden çok farklı olduğu ve bu farkın sonuçları önemli oranda etkilemesinin beklendiği durumlarda, sonuç normal kuvvetlere göre hesap tekrarlanabilir. Ancak aşağıda açıklandığı gibi, çok kere hesabın tekrarına gerek kalmamaktadır. Yapı yüksekliğinin kat yüksekliğine oranının büyük olduğu çok katlı yapılarda ikinci mertbe etkilerinin çok önemli bir bölümü kat kolonlarındaki normal kuvvetlerin toplamı ile orantılıdır. Buradan da kolayca görülebileceği gibi kat kolonlarındaki normal kuvvetlerin hesabın başında tahmin edilen değerlerden çok farklı olması durumunda dahi, bunların toplamı sabit kaldığı sürece ikinci mertbe etkilerindeki fark terk edilebilecek mertebededir [14, 15, 2].

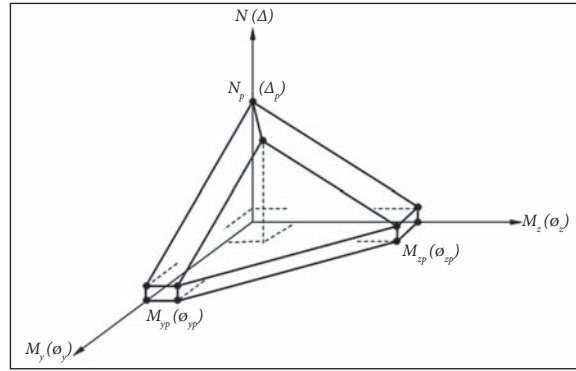
Artan yükler altında plastikleşen kesitlerdeki iç kuvvetler akma şartlarını sağlayacak şekilde değişebilmekte, buna karşılık iç kuvvetler doğrultularında sonlu plastik şekil değiştirme bileşenleri meydana gelmektedir. Plastikleşen bir kesitteki sonlu plastik şekil değiştirme bileşenleri, akma vektörünün akma yüzeyine dik olması özelliği nedeniyle, tek bir plastik şekil değiştirme bileşenine bağlı olarak ifade edilebilmektedir [12].

Geliştirilen yük artımı yönteminde her plastikleşen kesitin oluşumundan sonra o kesitteki, seçilen bağımsız plastik şekil değiştirme bileşeninin, bilinmeyen olarak alınması ve bu kesitteki iç kuvvet durumunun akma yüzeyi üzerinde kaldığını ifade eden yeni bir denklemin, denklem takımına ilave edilmesi öngörülmektedir.

Ayrıca, bileşik iç kuvvet durumunda akma yüzeyinin (Şekil 3) düzlemlerden oluşacak şekilde idealleştirilmesiyle (Şekil 4) ilave edilen denklemin doğrusal olması sağlanabilmektedir [1,2].



Şekil 3 - Bileşik iç kuvvet durumunda üç boyutlu akma yüzeyi [2]

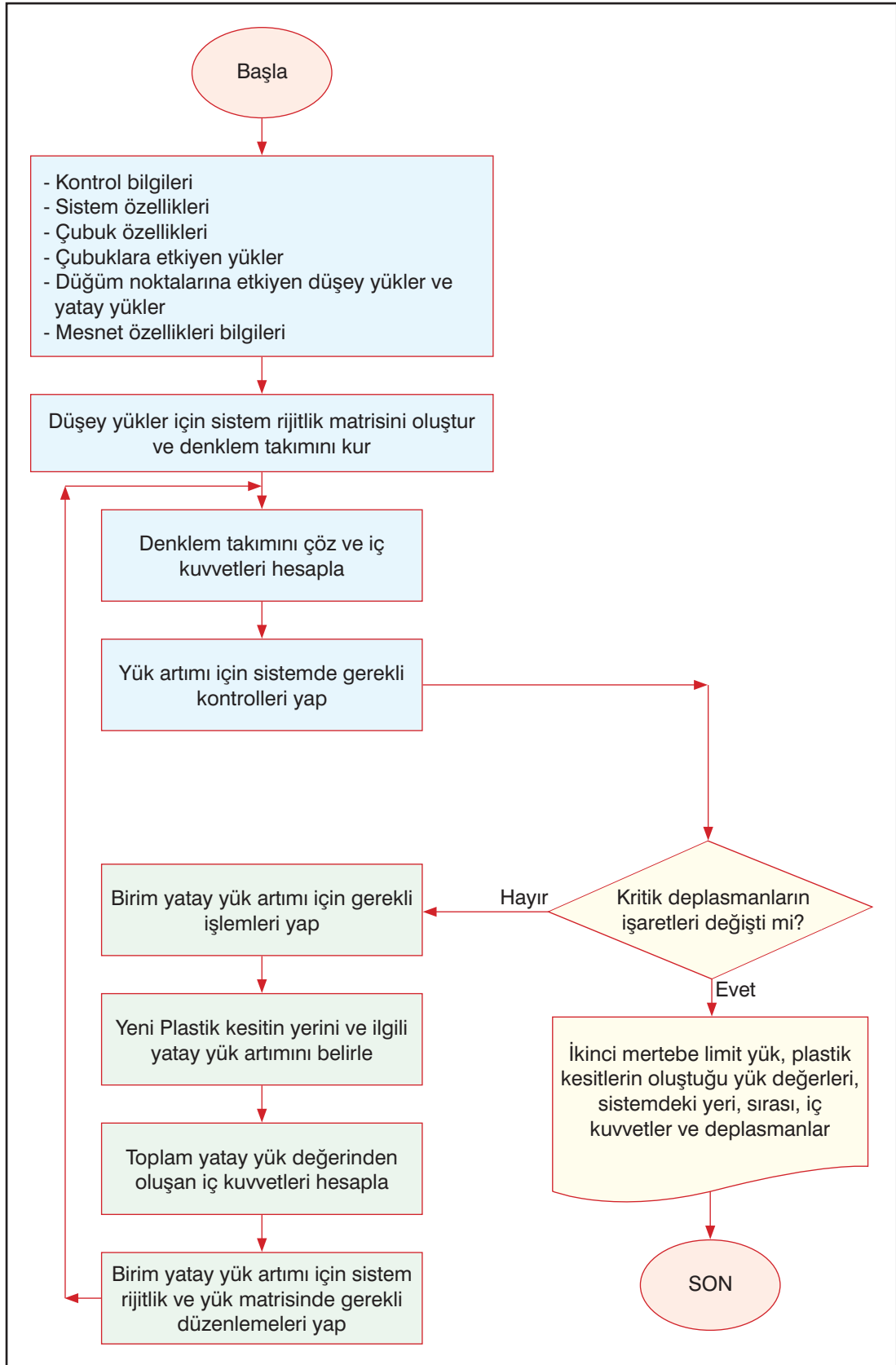


Şekil 4 - Düzlemlerle idealleştirilmiş akma yüzeyi [2]

Plastikleşen kesitlerdeki plastik şekil değiştirmeler esasen bilinmeyen olarak dikkate alındıklarından, bunların ayrıca hesaplanmasına gerek kalmaması, geliştirilen yük artımı yönteminin diğer yöntemlere göre önemli bir üstünlüğüdür.

Diğer taraftan, denklem takımına ilave edilen ve plastikleşen kesitlerdeki iç kuvvet durumunun akma yüzeyi üzerinde kaldığını ifade eden denklemler yardımı ile plastik kesitlerdeki iç kuvvetlerin değişimi de doğrudan doğruya belirlenebilmektedir.

Görüldüğü gibi esasları yukarıda açıklanan yük artımı yöntemi ile malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistemlerin ikinci mertbe limit yüklerinin hesabı ve yük artımı-yerdeğiştirme bağıntılarının tayini, plastik şekil değiştirme bileşenlerini de içeren tek bir genişletilmiş denklem sisteminin kurulmasına ve bu denklem sistemi ile alt sistemlerinin çö-zümüne indirgenmiş olmaktadır.



Şekil 5 - İMEP-3D bilgisayar programının özet Akış Şeması

İMEP-3D Bilgisayar Programı

Uzay çubuk sistemlerin sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan statik analizi (pushover analiz) için geliştirilen etkin bir yük artımı yöntemini [1,2] esas alan İMEP-3D adı verilen bilgisayar programının akış şeması Şekil 5'de görülmektedir [2]. Programda giriş bilgisi olarak verilen bir değişken yardımıyla analizin istenilen ara adımlarına ait çıkış bilgileri gerektiğinde ayrıntılarıyla alınabilmektedir. Bu program yardımı ile uzay çubuk sistemlerin yanı sıra düzlem çubuk sistemlerin de malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan statik analizi yapılabilmektedir. Ayrıca yerdeğiştirmelerin denge denklemlerinde ve geometrik uygunluk koşullarında ihmal edildiği birinci mertebe teorisine göre malzeme bakımından doğrusal olmayan analiz de (birinci mertebe elasto-plastik analiz) yapılabilmektedir.

İMEP-3D bilgisayar programının esas aldığı yük artımı yöntemi [2] üzerinde halen bilimsel araştırmalar sürdürülmektedir. Yöntemdeki bu gelişmeleri bilgisayar programına yansıtma için de çalışmalar yapılmaktadır.

İMEP-3D bilgisayar programı TÜBİTAK tarafından desteklenen bir araştırma projesinde [16] çok sayıda sayısal örneğin (üç binden daha fazla) analizi için kullanılmış ve programın güvenilirliği yapılan değerlendirmelerle kanıtlanmıştır.

İMEP-3D (İkinci Mertebe Elasto-Plastik, 3 boyutlu (uzay sistem)) adı verilen bilgisayar programının giriş ve çıkış bilgileri aşağıda özetlenmiştir.

Giriş Bilgileri :

- a- Kontrol bilgileri,
- b- Sistem bilgileri,
- c- Çubuk elemanların özelliklerine ait bilgiler,
- d- Düşey ve yatay yük bilgileri,
- e- Sistemin mesnet özellikleri ile ilgili bilgiler.

Çıkış Bilgileri :

Her yük artımı için aşağıdaki bilgiler çıkış dosyasından alınabilmektedir:

- a- Düşey ve yatay yük artımları ve toplam yükler,
- b- Plastik kesitlerin olduğu yerler, sırası, yük artımları, toplam yatay yük değerleri, plastik şekil değiştirme bileşenleri,
- c- Sistemin kesitlerine ait iç kuvvetleri ve yerdeğiştirmeleri,
- d- Ayrıntılı bilgi istendiğinde giriş bilgisi olarak

verilen anahtar değişken sayesinde, yük artımı yönteminin tüm ara hesaplarına ait bilgiler çıkış bilgisi olarak alınabilmektedir.

Sonuç ve Öneriler

İMEP-3D bilgisayar programı ile uzay çelik çerçeve yapıların sabit düşey yükler ve artan yatay yükler (deprem, rüzgar) altında ikinci mertebe elasto-plastik analizi etkin bir şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca, bu program ile çelik yapıların sadece malzeme bakımından doğrusal olmayan analizi (birinci mertebe elasto-plastik analizi) ve sadece geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan analizi (ikinci mertebe doğrusal-elastik analizi) de etkin olarak yapılabilmektedir. Uzay çelik çerçeve yapıların yanı sıra düzlem çelik çerçeve yapıların da doğrusal olmayan analizleri etkin olarak yapılabilmektedir.

İMEP-3D bilgisayar programının esas aldığı yük artımı yönteminin etkinliği sayesinde, çubuk sistemlerin malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan analizi ile ikinci mertebe limit yükünün hesabı ve yük-tepe yerdeğiştirmesi bağıntılarının tayini, plastik şekil değiştirme bileşenlerini de içeren tek bir genişletilmiş denklemin kurulmasına ve bu denklemin sistemi ile alt sistemlerinin çözümüne indirgenmiş olmaktadır. Böylece sistemde her plastik kesitin oluşumundan sonra sisteme ait denklemin yeniden kurulmasına ve indirgenmesine gerek kalmamakta, bunun yerine bir önceki adıma ait denkleminde plastik kesitteki plastik şekil değiştirme bileşeninin bilinmeyen olarak alınması ve sistemdeki rijitlik kaybını ifade eden yeni bir satır ve kolonun eklenmesi yeterli olmaktadır. Böylece, sadece eklenen satır ve kolonun indirgenmesi ile çözüm yapılabilmekte, bu nedenle de işlemler ve işlem süresi oldukça kısalmaktadır.

İMEP-3D bilgisayar programının esas aldığı yöntemin özelliği nedeniyle her plastik kesitin oluşumundan sonra bağımsız plastik şekil değiştirmeler, sistem denkleminin ilave bilinmeyen olarak eklendiğinden, plastik kesitlerdeki plastik şekil değiştirmeler için ayrıca bir hesaba gerek kalmadan direkt olarak hesaplanabilmektedir.

Her plastik kesitin olduğu yatay yük artımları belirlenirken, yüklere küçük artımlar verilerek ardışık yaklaşım yapılmamakta bunun yerine İMEP-3D programının esas aldığı yük artımı yönteminin etkinliği sayesinde her yük artımı için tek bir adım yeterli olmaktadır.

İMEP-3D bilgisayar programı özellikle bilimsel araştırma düzeyindeki çalışmalarda kullanılmak için hazırlanmıştır, bu nedenle yeterli alt yapı bilgi-

sine ihtiyaç duyulmaktadır. Uygulamadaki inşaat mühendislerinin programı kullanabilmeleri için programın geliştirilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Özer E., "Determination of the Second-Order Limit Load by a Method of Load Increments", Bulltein of the Technical University of Istanbul, Vol.40, No.4, pp. 815-836, İstanbul, 1987.
- [2] İrtem, E., "Uzay Çubuk Sistemlerde İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991.
- [3] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Ankara, 2007
- [4] SEAOC, Performance Based Seismic Engineering of Buildings, Vision 2000, Structural Engineers Association of California, Washington, DC., USA, 1995.
- [5] ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC 40, Vol. 1., Applied Technology Council, Washington, DC., USA, 1996.
- [6] FEMA, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., USA, 1997.
- [7] FEMA, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings FEMA 356, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, 2000.
- [8] FEMA, Improvements of Nonlinear Static Procedures FEMA 440, Applied Technology Council, Washington, DC., USA, 2004.
- [9] Beskos D.E. and Anagnostopoulos S.A., Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures a Handbook, CMP, 1997.
- [10] Fajfar P., "A Nonlinear Analysis Method for Performance-Based Seismic Design", Earthquake Spectra, 2000, 16., p.573.
- [11] Aschheim M. and Black E. F., "Yield Point Spectrafor Seismic Designand Rehabilitation", Earthquake Spectra, 2000, 16, p. 317.
- [12] Çakıroğlu A. ve Özer E., Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemler, Cilt-1, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul, 1980.
- [13] A.M. Mwafy and A.S. Elnashai, "Static Pushover Versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings", Engineering Structures, 200, 23, p.407.
- [14] Özer E., "Doğrusal Olmayan Sistemlerin Hesabı için Bir Metot", Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1969.
- [15] Johnston B.G., Ed., Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, Third Edition, Wiley-Interscience, 1976, pp. 410-454
- [16] Özer E., İrtem E., Orakdöğen E., Girgin K., Doğaner S. ve Kurtuldu S., "Çok Katlı Çelik Yapıların Deprem Kuvvetleri Altında Gerçek Göçme Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Kesin Rapor, Proje No: İNTAG-505, TÜBİTAK, 1994.

