Düzlem Çerçeve Yapıların Elverişsiz Yük Dağılımına Göre Analizi

**Mahmud Sami Döven, Mustafa Halûk Saraçoğlu,
Burak Kaymak, Mehmet Tevfik Bayer**

Dumlupınar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya
msamidoven@gmail.com , mhsaracoglu@dpu.edu.tr , burakkaymak@gmail.com

Özet: Bina türü yapılarda dolgu duvar veya makine teçhizat gibi ağır yüklerin yer değiştirmesi veya o yüklerin taşıyıcı sistemden kaldırılması gibi nedenlerle yük dağılımındaki değişiklikler yapıyı statik olarak etkilemektedir. Yük dağılımındaki bu değişim nedeni ile oluşan gerilmeler, tasarımda öngörülen emniyet gerilme değerlerini aşıp yapıda önemli hasarlara yol açabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı yapı tasarımında elverişsiz yük dağılımının dikkate alınması uygun olacaktır.

Bu çalışmada, düzlem çerçeve yapılarda elverişsiz yük dağılımının, süperpozisyon prensibi ile sistematik olarak elde edilebilmesi için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen çubuk kuvvetleri pozitif ve negatif olarak gruplandırılarak her çubuk kuvveti için elverişsiz yükleme grupları tespit edilmektedir. Böylece oluşabilecek maksimum çubuk ucu kuvvetleri tasarım çubuk ucu kuvvetleri olarak belirlenebilmektedir. Geliştirilen bilgisayar programı ile yapıdaki kirişlere gelmesi muhtemel yüklerin elverişsiz dağılımı sistematik olarak tespit edilmekte ve elemanlardaki elverişsiz tasarım kuvvetleri raporlanabilmektedir. Elverişsiz yük dağılımına göre analizi yapılarak tasarlanan yapılar kullanım ömrü boyunca oluşabilecek yük dağılımı değişikliklerinden etkilenmeyecektir.

Anahtar Sözcükler: Düzlem Çerçeve Analizi, Elverişsiz Yük Dağılımı, Elverişsiz Yükleme, Tasarım Kuvvetleri.

Analysis Of Plane Frame Structures According To The Most Unfavorable Loading

Abstract: For the building frames, the displacement of heavy loads such as walls or machinery and equipment or the removal of these loads from the frame structure, changes the load distribution and the statics of the structure is affected. Because of the change in the load distribution, stresses can exceed the projected safe stress values of the design and may lead to significant damages in the frames. For these reasons, in the design of the building frames, the unfavorable load distribution must be considered.

In this study, a computer program is developed to obtain the unfavorable load distribution for plane frame structures which is based on the principle of superposition. In the analysis, unfavorable load groups determined for all members by grouping the obtained member end forces as positive and negative. Thus, maximum member end loads that may occur are determined as design member end forces. Unfavorable distribution of the probable loads at the beams of the structure is determined systematically and unfavorable design forces at the members can be reported by the developed computer program. Frame structures which are designed according to the unfavorable load distribution will not be damaged when the load distribution changes occur during the lifetime of the structure.

Keywords: Plane Frame Analysis, Unfavorable Load Distribution, Unfavorable Loading, Design Loads

1. Giriş

Bu çalışmada yapıların elverişsiz yük dağılımına göre sistematik analizi incelenmiştir. Bu analizlerde yapıların hareketli yük etkisi altında oluşabilecek en büyük çubuk ucu kuvvetleri ve açıklık momentleri dikkate alınmıştır.

Hareketli yüklerin yapıya en kritik kesiti oluşturacak şekilde etki ettirilmesi betonarme yapıların tasarım ve yapım kurallarının açıklandığı TS500 yönetmeliğinde ve diğer yönetmeliklerde açıklanmaktadır. Bu durum, çok katlı yapılar için uygulandığında pek çok hareketli yük düzenlemesi ve bu düzenlemelere göre çözümler yapılması gerekmektedir[1,2,3].

Çerçevelerde kiriş ve kolon birleşimleri rijit olduğundan bir elemandan diğerine moment aktarımı söz konusudur. Sürekli olarak tanımlanan düzlem çerçevelerde yük bir bölgeye yüklendiğinde yük olmayan diğer bölgelerde de deformasyonlar ve gerilmeler oluşur. Örneğin çok açıklıklı sürekli kirişte bir açıklığa yük yüklendiğinde diğer açıklıklarda da bu yükten dolayı sehim oluşur. Yükün elemanlara etkisi ise mesafe arttıkça azalır[4].

Bilgisayar teknolojisinin yapı analizinde kullanılmaya başlamasından önce veya bilgisayar kapasitelerinin günümüzle kıyaslandığında çok geride olduğu dönemlerde bir kombinasyon problemi olan en elverişsiz yük dağılımı tespiti probleminin çözümü için yaklaşık yöntemler geliştirilmiştir [1,2,3,5]. Bu yöntemler, yükten uzaklaştıkça yükün etkisinin azalması, yük düzenleme sayısı arttıkça gerçekleşme olasılığının azalması gibi sebeplerden ötürü çok sayıda yük düzenlemesi gerekmeyeceği düşüncesine dayanmaktadır.

Furlong 1981 yılında yayınlanan çalışmasında, gerçeğe yakın eğilme momenti ve kesme kuvveti değerlerini elde edebilmek için bazı çalışmalar yapmış ve bu çalışmalar sonucunda yük düzeni sayısını azaltarak bir öneride bulunmuştur. Furlong'un önerisine göre "m" çerçevedeki açıklık sayısı olmak üzere, yükleme deseni sayısı 2+(m-1) olmaktadır[5,6].

Ersoy, 1989 yılında yayınlanan çalışmasında çok katlı yapıların hareketli yük düzenlenmesi ile ilgili yükleme, kat ve açıklık sayısından bağımsız bir yöntem tarif etmiştir. Bu yöntemde kat ve açıklık sayısı ne olursa olsun beş farklı yükleme ile elverişsiz yükleme sonuçları Furlong yöntemine göre daha emniyetli olarak bulunmaktadır [1,2,3,5].

Arslan, Turğut ve Calayır hareketli yük düzenlemesine göre tasarım kuvvetlerini daha hızlı ve daha kesin hesaplamak için Genetik Algoritma kullanmışlardır [6]. Turğut ve Arslan; Çalışmalarında altı açıklıklı sürekli bir kirişte maksimum açıklık ve mesnet momentlerini veren hareketli yük kombinasyonlarının Genetik Algoritma metodu ile düzenlenmesini incelemişlerdir [7].

Yukarıda anlatılan yöntemlerle en elverişsiz çubuk tesirleri yaklaşık olarak bulunabilmektedir. Günümüzde analiz işlemleri sistematik olarak çok hızlı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Dolayısı ile yaklaşık sonuç bulmak yerine kesin sonuçların hedeflenmesi mümkündür.

Bu çalışmada en elverişsiz kesit tesirlerinin bulunabileceği yüklemenin bulunması için ardışık analizlerden oluşan sistematik bir yöntem önerilmiş ve geliştirilen bilgisayar programı ile uygulamalar yapılmıştır.

Yapının tasarımı taşıması öngörülen yükler esas alınarak yapılmaktadır. Ele alınan çerçevelerde yükleme olarak ölü yükler ve hareketli yükler olarak iki sınıf yük dikkate alınmıştır. Ölü yükler; yapıya sürekli olarak ömrü boyunca etki eden, kolon, kiriş, sıva, duvar… vs ağırlıkları gibi yapının kendi ağırlığından oluşan yüklerdir. Hareketli yükler ise yapıya zaman zaman etki eden, insan, eşya… vs gibi yapının taşımakla görevli olduğu yüklerdir. Bu yükler yönetmeliklerde belirtilen katsayılar da kullanılarak revize edilir ve yapılan statik ve dinamik analizler sonucu tasarımda kullanılacak kesit tesirleri hesaplanır. Bu çalışmada sadece statik analiz durumu incelenmiştir.

Genelde muhtemel hareketli yükler tüm yapıya etki ettirilir ve o şekilde analiz yapılır, fakat gerçekte durum o şekilde değildir. Hareketli yüklerin yapıdaki yeri ve zamanı değişkenlik göstermektedir. Özellikle betonarme yapılardaki büyük emniyet katsayılarının bu değişiklikleri tolere edebileceği düşünülse bile günümüzdeki analiz imkanları ile yüklerdeki bu değişimlerin göz ardı edilmesi gereksizdir. Bu çalışmada bir kombinasyon problemi olan en elverişsiz yükleme durumunun tespiti süperpozisyon prensibi kullanılarak çok daha az sayıda analizle mümkün olmuştur.

Çerçevelerde elverişsiz yükleme sonucu elemanlarda oluşacak en büyük kesit tesiri büyüklüklerini hesaplamak için pek çok analiz yapılması gerekmektedir. Değişen her bir yük durumuna bağlı olarak da analiz programında düzlem çerçeve yapının tekrar tekrar tanıtılmasıyla sonuçlara ulaşılması gerekir.

Bu yöntemde hareketli yüke maruz kiriş sayısından bir fazla yükleme için analiz yapılmaktadır. Bu analizler sonucunda elde edilen çubuk kuvvetleri pozitif ve negatif olarak gruplandırılarak her çubuk kuvveti için elverişsiz yükleme grupları tespit edilmektedir. Bu çalışmada, düzlem çerçeve yapılarda elverişsiz yük dağılımının, süperpozisyon prensibi ile sistematik olarak elde edilebilmesi için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

2. Deplasman Metodu İle Sistematik Analiz

Yapılarda deplasman metodu ile sistematik analiz yapılabilmesi için, yapı matematik olarak tarif edilmelidir. Bunun için düğüm ve elemanlar sistematik olarak numaralandırılır. Bu numaralar ilgili matris ve vektörlerin kolon veya satır numarasına denk geleceğinden dolayı ardışık olarak atanmalıdır. Daha sonra her bir düğüm ve çubuk eleman için koordinat, serbestlik, yük, kesit ve malzeme özellikleri, lokal eksen özellikleri gibi gerekli bilgiler matrisler veya vektörler içerisinde nümerik olarak depolanır.

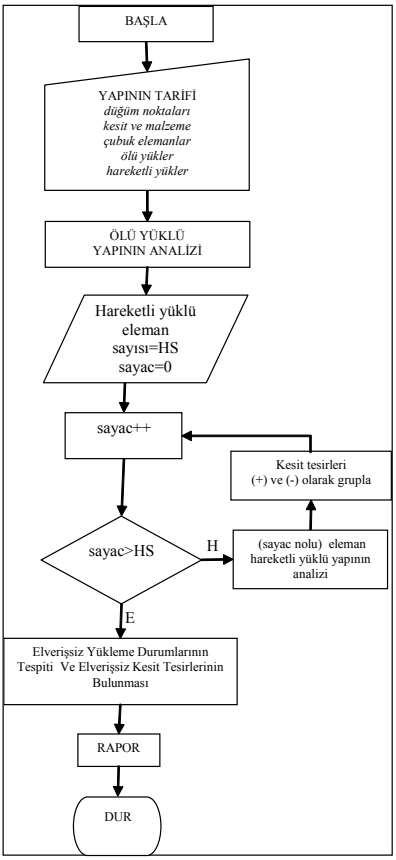
Yapıyı tarif eden matris ve vektörler kullanılarak eleman rotasyon matrisleri ve eleman rijitlik matrisleri elde edilir. Elde edilen eleman rijitlik matrislerinden, yapı rijitlik matrisi toplama metodu ile elde edilir. Öngörülen yükler altında oluşacak deplasmanlar lineer denklem takımı çözüm metotlarından birisi ile çözülür. Öncelikle deplasmanların hesaplanması nedeniyle deplasman metodu adını alan bu yöntemde hesaplanan eleman rijitlik matrisleri ve deplasmanlar kullanılarak çubuk ucu kuvvetleri hesaplanır [8].

3. Geliştirilen Bilgisayar Programı

Bu çalışma kapsamında düzlem çerçeve yapılarda en elverişsiz yükleme durumunun ve en elverişsiz kesit tesirlerinin bulunması için yapı sistematik olarak ardışık analizlere tabii tutulmaktadır. İşlem adımları Şekil1'deki akış diyagramında gösterilmiştir.

Bu çalışmada birden fazla yükleme için analiz yapılacağından dolayı sağ taraf (yük) vektörü düzenlenirken her yükleme için oluşturulan yük vektörleri bir matris şeklinde düzenlenmiştir. Gauss eliminasyon yöntemi ile rijitlik matrisi üst üçgen hale getirilirken sağ taraf matrisinin her kolonunda da gerekli işlemler yapılmıştır. Daha sonra sağ taraftaki her kolon için ayrı ayrı geriye doğru çözüm yapılarak her yükleme için deplasman değerleri bulunmuştur. Hesaplanmış olan deplasmanlar kullanılarak her bir yükleme için çubuk ucu kuvvetleri bulunmuştur.

Her bir yükleme durumu için elde edilen çubuk ucu kuvvetleri süperpozisyon prensibi ile irdelenerek elverişsiz yükleme tespit edilir. Bunun için her çubuk kuvvetinin her bir hareketli yükleme altında aldıkları değerler pozitif ve negatif olarak gruplandırılır ve gruplardaki değerler ayrı ayrı toplanır. Pozitif ve negatif olan bu iki grup değerler ölü yük altındaki ilgili çubuk ucu kuvveti ile toplanarak iki farklı elverişsiz yükleme kombinasyonu elde edilir. Bunlardan mutlak değerce en fazla olanı en elverişsiz yük kombinasyonudur.



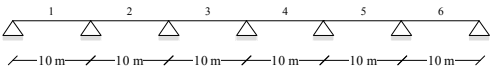
Şekil 1. Akış Diyagramı

4. Uygulamalar

Bu çalışma kapsamında çerçeve yapılarda en elverişsiz yükleme durumlarının tespiti için geliştirilen bilgisayar programı ile literatürden örnekler çözülmüştür. Bu örneklerden birincisi 6 açıklıklı bir sürekli kiriştir. Toplam 63 farklı yükleme kombinasyonuna sahip bu yapı 7 farklı yükleme ile analiz edilerek sonuca ulaşılmıştır. İkinci örnekte ise 46 çubuktan oluşan çok katlı bir çerçeve yapı incelenmiştir. Hareketli yüklerin 20 adet kiriş üzerinde olmasından dolayı 21 farklı yükleme için yapılan analiz sonunda en elverişsiz yükleme halleri ve en elverişsiz çubuk ucu ve açıklık momentleri bulunmuştur.

4.1. Sürekli Kiriş

Şekil 2'de gösterilen sürekli kirişin tüm açıklıkları eşit olup 10 m'dir. Kirişin bütün açıklıklarında kiriş kesiti aynıdır ve 30/65 cm boyutlarındadır. Buna göre kesit alanı A=0.195 m2, atalet momenti I=0.006865 m4 tür. Elastisite modülü E=20x106 kN/m2 ve Poisson oranı ν=0.20 olarak alınmıştır. Yapıya etkiyen ölü yük 10 kN/m ve hareketli yük 10 kN/m şeklindedir.



Şekil 2. Sürekli kiriş

Yapılan analiz sonunda altı açıklıklı sürekli kiriş için en büyük mesnet momentleri Tablo1'de, en büyük açıklık momentleri ise Tablo2'de verilmiştir. Sürekli kirişin üç numaralı açıklığında en büyük moment değeri Tablo 2'de koyu renkle gösterilmiştir. En büyük açıklık moment değeri Tablo 2'de görüldüğü gibi referans noktasından 4.93 metre uzaklıkta 127.46 kNm olarak hesaplanmıştır. Bu değerler örneğin alındığı referansla [9] birebir örtüşmektedir.

Eleman No	**Yüklü Kiriş No**	**Bu Çalışma (kNm)**
1(sağ)	1,2,4,6	225.6410
2(sol)	1,2,4,6	225.6410
2(sağ)	2,3,5	187.1795
3(sol)	2,3,5	187.1795
3(sağ)	1,3,4,6	201.9231
4(sol)	1,3,4,6	201.9231
4(sağ)	2,4,5	187.1795
5(sol)	2,4,5	187.1795
5(sağ)	1,3,5,6	225.6410
6(sol)	1,3,5,6	225.6410

Tablo 1. Sürekli kiriş için mesnet momentleri

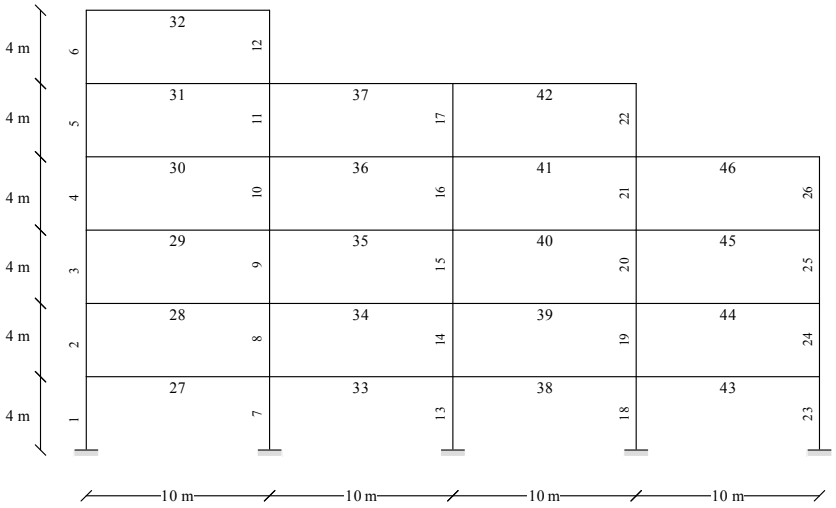
Eleman No	**Yüklü Kiriş No**	**Sol'dan Mesafe (m)**	**Bu Çalışma (kNm)**
1	1,3,5	4.2100	176.9657
2	2,4,6	5.2200	113.4487
3	1,3,5	4.9300	**127.4558**
4	2,4,6	5.0700	127.4558
5	1,3,5	4.7800	113.4487
6	2,4,6	5.7900	176.9657

Tablo 2. Sürekli kiriş için açıklık momentleri

4.2. Çok Katlı Çerçeve

Şekil 3'de gösterilen çerçeve 4 açıklıklı ve 6 katlıdır [7]. Tüm kolon ve kiriş kesitleri 30/50 cm boyutlarındadır. Buna göre tüm kesitler için kesit alanı A=0.15m2, atalet momenti I=0.003125 m4 tür. Elastisite modülü E=20x106 kN/m2 ve Poisson oranı ν=0.20 olarak alınmıştır. Yapıya etkiyen ölü yük 7.5 kN/m ve hareketli yük 7.5 kN/m şeklinde tüm kirişlere etki etmektedir.

Tablo 3'te örnek çerçeve için hesaplanan en büyük mesnet momentleri literatürdeki sonuçlar ile birlikte verilmiştir. Tablo 4'te ise örnek çerçeve için en büyük açıklık momentleri literatürdeki sonuçlar ile birlikte verilmiştir.



Şekil 3. Çok katlı çerçeve

Elem. No	Yüklü kiriş no	Bu çalışma (kNm)	Arslan vd (kNm)	Large (kNm)	Furlong (kNm)
27(sağ)	27,28,33,35,39,41,42, 45	135.2466	135.2	131.0	132.0
29(sol)	28,29,30,32,33,34,36, 37,38,40,42,44,45,46	120.9888	121.0	120.3	116.0
30(sağ)	29,30,31,34,36,38,40, 43,44,46	133.2381	133.2	124.2	125.1
33(sol)	27,29,33,34,36,39,40, 41,42,43,44	133.0488	133.0	132.6	127.8
36(sol)	28,30,32,33,35,36,37, 38,39,40,42,45,46	137.1313	137.1	136.7	126.3
39(sağ)	27,28,29,33,35,36,37, 38,39,40,42,44,46	135.6076	135.6	135.1	126.9
41(sağ)	30,31,33,34,35,37,38, 40,41,42,44,46	142.5095	142.5	141.9	134.8
43(sağ)	27,28,33,35,39,40,41, 42,43,44,46	113.7294	113.7	112.8	111.2
44(sol)	30,31,32,33,35,37,39, 41,43,44,45	135.3849	135.4	128.1	129.5
46(sol)	27,28,32,33,35,37,39, 41,45,46	137.0415	137.0	129.8	128.8

Tablo 3. Çok katlı çerçeve için mesnet momentleri

Elem. No	Yüklü kiriş no	Sol'dan mesafe(m)	Bu çalışma (kNm)	Arslan vd (kNm)	Large (kNm)	Furlong (kNm)
28	28,30,32,33,35, 37,39,41,43,45,46	4.9900	72.0783	72.0	72.0	68.0
29	27,29,31,34,36, 38,40,42,44	5.0000	72.3907	72.3	72.3	68.2
30	28,30,32,33,35, 37,39,41,43,44,45	5.0200	73.1562	73.2	73.2	68.8
33	28,30,32,33,35, 37,39,41,43,45	5.0100	69.1626	69.2	69.2	66.7
37	28,30,32,33,35, 37,39,41,45	4.9100	74.6130	74.6	74.6	69.8
39	28,30,33,35,37, 39,41,43,45	4.9800	70.6521	70.6	70.6	65.8
41	28,30,32,33,35, 37,39,41,43,45	4.9100	69.7199	69.7	69.7	63.9
43	28,29,30,31,32,33, 35,39,41,43,45	5.0700	71.6083	71.6	71.6	69.5
45	27,28,30,32,33,35, 37,39,41,43,45	5.0100	71.5729	71.6	71.6	66.8
46	28,31,34,36,38, 40,42,44,46	5.1400	79.7026	79.6	79.6	75.4

Tablo 4. Çok katlı çerçeve için açıklık momentleri

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada iki boyutlu çerçeve yapılarda en elverişsiz yükleme durumlarının ve en elverişsiz çubuk tesirlerinin bulunması için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı ile öncelikle tüm yapı ölü yük altında analiz edilmektedir. Yapıdaki hareketli yüke maruz her bir eleman için sadece kendi üzerlerinde hareketli yük alınarak analiz yapılmaktadır. Bu durumda hareketli yüklü eleman sayısından bir fazla yükleme için analiz yapılarak çubuk tesirleri hesaplanmış olmaktadır. Daha sonra hesaplanan kesit tesirlerinin süperpozisyon prensibi ile irdelenmesi ile en elverişsiz yükleme durumları ve kesit tesirleri bulunmaktadır. Bu yöntemle yaklaşık bir çözüm değil kesin sonuç elde edilmiş olur.

Geliştirilen bilgisayar programı ile literatürden örnekler çözülmüştür. Yapılan analiz sonunda tüm çubuk tesirleri elde edilmiştir ancak ele alınan referanslarda sadece moment tesirlerinin incelenmiş olmasından dolayı bu çalışmada da sadece moment tesirleri listelenmiştir. Günümüz bilgisayar teknolojisi ile bu çalışmada önerilen hareketli yüklü eleman sayısından bir fazla sayıda analiz yapılması ve irdelenmesi sistematik olarak çok hızlı şekilde gerçekleştirilebilmekte ve kayda değer bir zaman almamaktadır. Böylece tasarımda yaklaşık değerler yerine gerçek değerler kullanılabilecektir.

5. Kaynaklar

[1] Ersoy, U., "Live Load Arrangements for Muti-Story Frame Analysis", **Digest 92, Teknik Dergi**, 163-170 (December 1992).

[2] Ersoy, U., "Çok Katlı Yapıların Çözümünde Hareketli Yük Düzenlenmesi", **İMO Teknik Dergi**, Yazı 40, 555-561 (Nisan 1992).

[3] Ersoy, U., "Çok Katlı Yapıların Çözümünde Hareketli Yük Düzenlenmesi", **Çok Katlı Yapılar Sempozyumu**, İzmir, 149-162, (1989).

[4] Ersoy, U., Özcebe, G., Betonarme, **Evrim**, İstanbul, 816 (2004).

[5] Furlong, R.W., "Rational Analysis of Multistory Concrete Structures", **Concrete International**, American Concrete Institute (ACI), 3(6), (June 1981).

[6] Arslan, A., Turgut, P., Calayır, Y., "A genetic search based arrangement of load combinations in Structural Frames", **Advances in Computational Structures Technology**, Edinburgh, 85-91, (1996).

[7] Turgut, P., Arslan, A., "Sürekli Bir Kirişte Maksimum Momentlerin Genetik Algoritmalar ile Belirlenmesi", **DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, 3(3), 1-9 (Ekim 2001).

[8] Döven, M.S., Kaymak, B., Bayer, M.T., "Üç Boyutlu Çerçeve Yapıların Statik Analizi için Geliştirilen Bir Bilgisayar Programı: YapAn05", **Akademik Bilişim Konferansı**, Muğla Üniversitesi, Muğla, 10-12 Şubat 2010.

[9] Nilson, H.N., Design of Concrete Structures**, McGraw-Hill Publication**, Twelfth Edition, Singapore, 780 (1997).