

## BULANIK MANTIK METODU İLE TEKİL YÜKLER ALTINDA İKİ AÇIKLIKLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN PLASTİK ANALİZİ İÇİN GEREKLİ OLAN GÖÇME YÜK FAKTÖRÜ DEĞERİNİN BULUNMASI

\*Harun TANYILDIZI, \* Salih YAZICIOĞLU, \*\*Mehmet ÜLKER

\*Fırat Üniversitesi T.E.F.Yapı Eğitimi Bölümü,  
Elazığ/Türkiye htanyildizi@firat.edu.tr

\*\*Fırat Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Elazığ/Türkiye

### ÖZET

Bu çalışmada çelik çerçevelerin plastik analizi için gerekli olan göçme yük faktörü değeri bulanık mantıkla bulunmuştur. Bulanık mantık kontrol sistemi SIMULINK adlı hazır yayılım programı kullanılarak simule edilmiş ve simülasyonun matematiksel hesaplamaları için MATLAB programı kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının seçimi kazanılmış tecrübelerden yararlanılarak belirlenmiştir ve bu üyelik fonksiyonlarının taban değerleri daha hassas bölgelerde yoğunlaştırılarak seçilmiştir. Kural tabanı yine uzman tecrübesi ile oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar klasik yöntemlerle karşılaştırılarak birbirine çok yakın değerler elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Plastik Analiz, Çelik Kirişler, Bulanık Mantık Denetleyici.

### EVALUATION OF COLLAPSE LOAD FACTOR VALUE THAT IS REQUIRED FOR PLASTIC ANALYSIS OF STEEL FRAMES UNDER SINGLE LOADS BY FUZZY LOGIC

### ABSTRACT

In this study, collapse load factor value that is required for plastic analysis of steel frames has evaluation by fuzzy logic. A fuzzy logic control system is developed using the software SIMULINK for the simulation carried out and MATLAB for its mathematical calculations. A fuzzy logic controller is also placed with in a SIMULINK model. The choosing of membership functions is based on the experiences gained, and their base values are selected so that they are concentrated on more sensitive regions. The results of the study show good agreement with the results obtained from the tests. Rule base is constituted by an expert experience and the obtained results compared with these calculated by using classical methods are satisfactory (matching each other)

**Key words:** Plastic Analysis, Steel Frames, Fuzzy Logic Controller.

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel bir yapının analizi yapılırken her şeyden önce o analizin bir dinamik modeline gereksinim vardır. Ancak pratikte bu her zaman mümkün olmayabilir. Analiz içindeki olaylar, matematiksel modellemeye el verecek ölçüde açıkça bilinmeyebilir veya bir model kurulabilse bile, bunun denetleyici tasarımında kullanılması karmaşık problemlere yol açabilir. Bu gibi sorunlarla karşılaşıldığı zaman, genellikle bir uzman kişinin bilgi ve deneyimlerinden yararlanılma yoluna gidilir [1]. Böylece uzman operatör dilsel niteleyiciler olarak bilinen; yüksek, biraz yüksek, çok az, biraz azalt, çok azalt gibi, günlük hayatta sıkça kullandığımız kelimeler doğrultusunda bir kontrol metodu geliştirilebilir. Bulanık mantığın temeli bu tür sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur [2]. Bulanık mantık insan düşünüş yapısına ve dilsel ifadelerine geleneksel mantık sistemlerinden daha çok benzemektedir. Bulanık mantık, uzman bilgilerine dayanan dilsel ifadeler kullanarak hem analiz hem de kontrol işlemi yapmaktadır [3]. Bulanık mantıkta model geliştirmek, matematiksel ifadeler gerekmediği için kolaydır. Bu yüzden bulanık mantık yaklaşımı modellenemeyen veya lineer olmayan karmaşık sistemlerde kolaylıkla kullanılabilir [4,5,6].

Bulanık mantık ilk olarak 1965 yılında A. Lütüfî ZADEH tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık mantık son yıllarda kontrol uygulamalarında gittikçe artarak yoğun bir şekilde kullanılmakta ve başarılı sonuçlar alınmaktadır [7]. Bulanık mantık kontrol inşaat mühendisliğinde, köprü yapılarında ve daha çok deprem mühendisliğine başarıyla uygulanmıştır [8–13]. Ancak literatür araştırmasında çelik çerçevelerin plastik analizine uygulanan sadece bir çalışma bulunmuştur. Bu çalışmada bulanık mantık parametreleri kullanılarak optimizasyon yapılmıştır [14]. Bundan dolayı iki açıklıklı çelik çerçevelerin bulanık mantıkla plastik analizinin incelenmesine gerek duyulmuştur. Bulanık mantıkla çelik çerçevelerin plastik analizinde oluşan mekanizmalardaki dönme açılarını bulan bir algoritma geliştirilmiştir. Daha sonra elde edilen açı değerleriyle mekanizmalarda oluşan göçme yük faktörü değerleri MATLAB/SİMULİNK ile bulunmuştur.

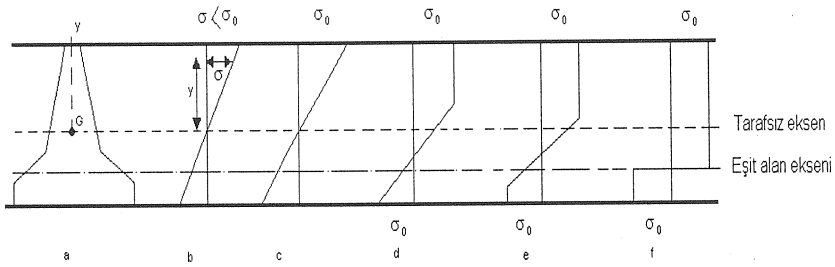
## 2. ÇELİK YAPILARIN PLASTİK MOMENTİ

### 2.1. Plastik Momentin Hesaplanması

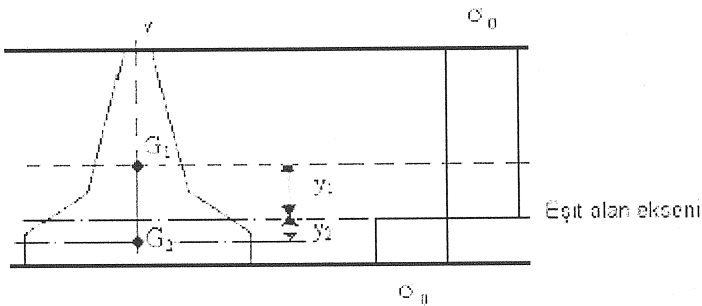
Şekil 1’de kesit alanı A olan bir kirişte giderek artan yükler altında kiriş en kesitinin plastikleşme aşamaları ve Şekil 2’de ise tam plastikleşmiş kiriş en kesiti görülmektedir. Burada  $\sigma_0$  akma gerilmesini ifade etmektedir. Kesitteki toplam normal gerilmeyi sıfır yapabilmek için, tarafsız eksen artık eşit alan eksen halini almıştır. Kesitte, basınç ve çekme kuvvetlerinin değeri  $\sigma_0 A/2$  dir. İki plastik kısmın ağırlık merkezleri  $G_1$  ve  $G_2$  ve bunların eşit alan eksenine uzaklıkları sırasıyla  $y_1$  ve  $y_2$  ile gösterilirse (Şekil 2), kesitin tam plastikleşmesine karşılık gelen plastik moment değeri;

$$M_p = \frac{A}{2} \times \sigma_0 \times (y_1 + y_2) \quad (1)$$

bağıntısıyla bulunur [15].



Şekil 1. Kiriş kesitinin artan moment altında gerilme dağılımı



Şekil 2. Plastik moment hesabında göz önüne alınan tamamen plastikleşmiş enkesit

## 2.2. Plastik Analizde Mekanizma Metodu

Yük sayısının artmasından dolayı mümkün olan göçme mekanizma sayıları da artabilir. Böylece denge moment diyagramı yapmak daha zor olabilir. Plastik analizde mekanizma metodu bu gibi durumlarda kullanılabilir. Uygun mekanizma (üst sınır teoremi) mümkün olan en düşük yük değerini veren sonuçlardan biri olacaktır. Böylece plastik moment durumunun bozulmamasını sağlayan bir göçme mekanizması bulunacaktır.

Bu yöntemin çözüm sırası aşağıdaki gibidir:

Mümkün olan plastik mafsalların yeri saptanır (yük etkime noktaları, bağlantılar, kirişe çeşitli noktalardan etkiyen tekil (dış) yükler altında kesme kuvvetinin kiriş (açıklığı) üzerinde sıfır olduğu nokta )

Mümkün olan bağımsız ve birleştirilmiş mekanizmalar seçilir.

En düşük yük için ( virtüel deplasman metodu ) denge denklemi çözülür

Bütün kesitlerde  $M \leq M_p$  olduğu kontrol edilir [16].

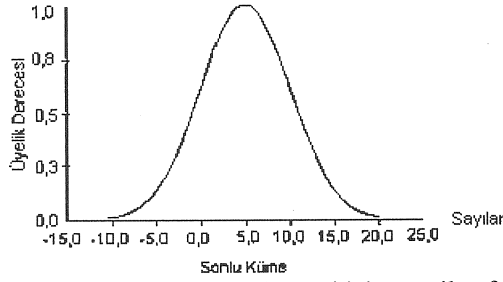
## 3. BULANIK MANTIK

### 3.1. Bulanık Kümeler ve Çıkarım

Bilindiği üzere, klasik kümelerde bir elemanın bir kümeye ait olup olmaması, kümenin karakteristik değeri ile açıklanmaktadır (ya hep, ya hiç ilkesi). Karakteristik değer, bir önermeye bağlı olarak, her elemanı  $\{0,1\}$ , kümesine tasvir ederek; elemanın ilgili kümesine ait olup olmasını açıklar. Yeni küme tanımında ise herhangi bir elemanın ilgili kümeye ait olmasını,  $[0,1]$  sürekli aralığında karakteristik değere atanan sayının büyüklüğü ile açıklandığı kümeye bulanık küme denir. Ancak, yeni tanımlı kümeyi belirgin kümelerden ayırmak için karakteristik değere üyelik fonksiyonu denir [2].  $X$  evrensel kümesi olmak üzere,  $A \subset X$  'nin üyelik fonksiyonu  $\mu_A$ ,

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

şeklinde tanımlıdır. Burada geleneksel kümeden farklı olarak,  $\{0,1\}$  kümesi yerine  $[0,1]$  sürekli aralığı söz konusudur ve bu aralıktaki değerler üyelik derecesi adını alırlar. Örneğin '5 civarındaki sayılar' kümesindeki civar sözcüğü, tam olarak sınırları klasik kümelerdeki gibi kolayca belirlenemez (Şekil 3).



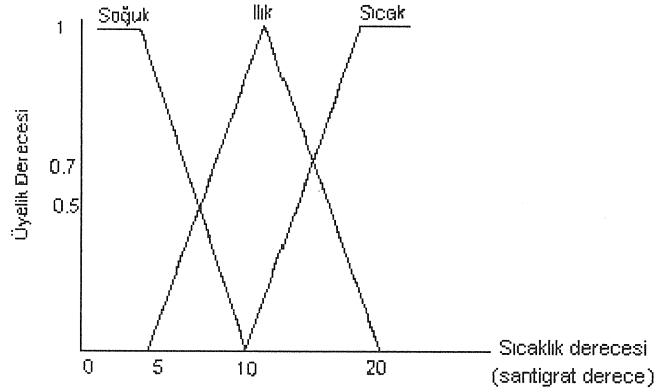
Şekil 3. Beş civarındaki sayılar kümesi için önerilen fonksiyon

Buradan bulanık kümeler “nesnel” değil, ‘öznel’ olduğu sonucu çıkabilir. Bulanık kümenin üyelik fonksiyonunun parametrelerinin değişimi, bulanık kural temeline dayanan modellemede büyük önem arz eder.

Bulanık kurallara, sözel ifadelerin modellenmesi olarak da bakılabilir. Dolayısıyla, bir sözel ifade, genel kabul gören biçimiyle, 5’li bir dizi olarak,  $(x, T(x), U, M)$ , şeklinde gösterilebilir. Bu dizide  $x$  her hangi bir değişken,  $T(x)$ ,  $x$  adlarının kümesini;  $U$ ,  $x$ ’in yer aldığı uzay veya evrensel kümeyi;  $M$  ise kendi değerini, anlamı ile birleştiren şematik bir kuraldır. Örneğin sıcaklık, bir sözel değişken anlamını veriyorsa onun ad kümesi,  $T(x)$ , aşağıda olduğu gibi gösterilebilir;

$$T(\text{sıcaklık}) = \{(\text{Çok soğuk}), (\text{soğuk}), (\text{ılık}), (\text{sıcak}), (\text{çok sıcak})\} \quad (3)$$

Burada  $T(\text{sıcaklık})$ , her terimi,  $U$  içinde bir bulanık küme ile temsil edilir. ‘sıcaklık’ sözcüğüne nicelik anlamı kazandırılması için; örneğin  $10^{\circ}\text{C}$  civarı ılık,  $5^{\circ}\text{C}$  civarı soğuk ve  $20^{\circ}\text{C}$  civarı sıcak kabul edilir ve evrensel küme,  $U=[0^{\circ}\text{C}, 20^{\circ}\text{C}]$ , olarak ele alındığında, ‘bulanık sıcaklık kümesi’ Şekil 4’deki gibi gösterilebilir.



Şekil 4. Sıcaklığın bulanık kümesi

Yukarıda verilen bulanık küme teorisine dayanan bulanık çıkarım, uzman-sistem yaklaşımı ile açıklanabilir. Buradan, herhangi bir alanda uzman bir kişinin bilgisinin uygulandığı yöntemlere 'uzman sistem' denir. Bir uzman sistemin çalışma prensibi, 'yaklaşık muhakeme' bilgisine dayanan şartlı tüm cümlelerdir. Bu tüm cümleler genelde

Öncül kısım

Soncul kısım

olmak üzere, yapısal olarak şarta bağlı bir olayın gerçekleşmesine dayanır. Bu klasik olarak aşağıda basit bir örnek üzerinde açıklanabilir.

EĞER hava içindeki nem BÜYÜKSE  
Hissedilen sıcaklık BÜYÜKTÜR (4)

Bu şartlı tümce, bulanık teknik ile tekrar yazılacak olursa

EĞER  $\frac{\text{nem büyük}}{X \quad A_x}$   $\longrightarrow$   $\frac{\text{Hissedilen sıcaklık büyük}}{Y \quad B_y}$  (5)

$\frac{XA_x}{\text{Öncül}} \text{'dir} \longrightarrow \frac{YB_y}{\text{Soncul}} \text{'dir}$

olarak verilebilir. Bu ifadeye, 'MAX-MIN bulanık üretim kuralı' denir [4]. Teknik olarak, bir sistemin N tane kural ile çalışıyor olması durumunda ise;

{Eğer(öncül)  $i_x$  ise O ZAMAN (Soncul  $i_y$ ' dir)}  $\prod_{i=1}^N$  (6)

olarak ifade edilebilir. Genelde öncül ve soncul kısımları iki veya daha fazla boyutlu olabilir. Burada öncül ve soncul kısımları birer bulanık alt küme ve her biri üyelik fonksiyonları ile açıklanır.

Burada A kuraldaki küme ve A' gerçek küme olmak üzere, girişlerin ağırlığı oranında, çıkış olabilirliği. Toplam alanın ağırlık merkezi de y'dir. Buradan ,

$$B_i'(y) = \int_y y \cdot \mu_{B_i}(y) dy \quad (7)$$

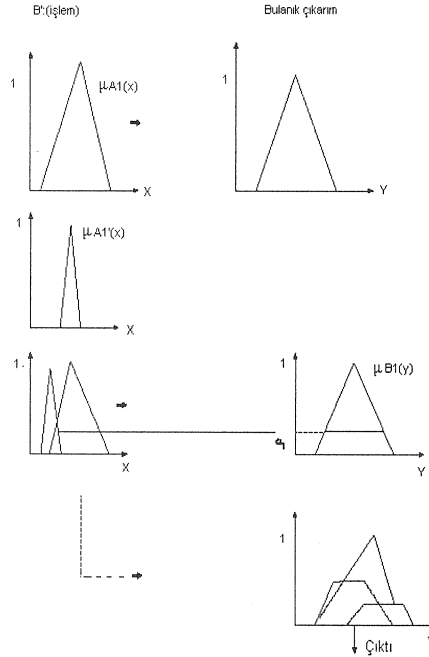
ifadesi, çıktılardan her kural için toplam değeridir. Tüm kuralların ateşlenmesi ile beklenen değer

$$\text{ÇIKTI} = \left( \int_y y \cdot \mu_{B_i}(y) dy \right) \div \left( \int_y \mu_{B_i}(y) dy \right) \quad (8)$$

şeklinde tanımlıdır. Burada, **ÇIKTI**, merkezi ortalama yaklaşımı kullanılarak formüle edilmiştir. Çıktının şematik ifadesi Şekil 5' de verilmiştir.

### 3.2. Tasarlanan Bulanık Mantık Modeli

Bilindiği gibi bulanık mantık kuramı matematiksel modeli belirli olmayan veya çok fazla karmaşık modellere sahip sistemler için kullanılmaktadır. Bu çalışmada bulanık mantık bir çerçeve sistemine dışarıdan etkiyen kuvvetlerle oluşacak dönme açıları bulmak için kullanılmıştır. Bu açıların oluşması, her ne kadar direkt olarak kuvvetin yeri ile ilgili olsa da, bu ilişki sağlıklı bir biçimde modellenememektedir. Bu nedenle, burada bulanık bir yapının kullanılması uygun görülmüştür.

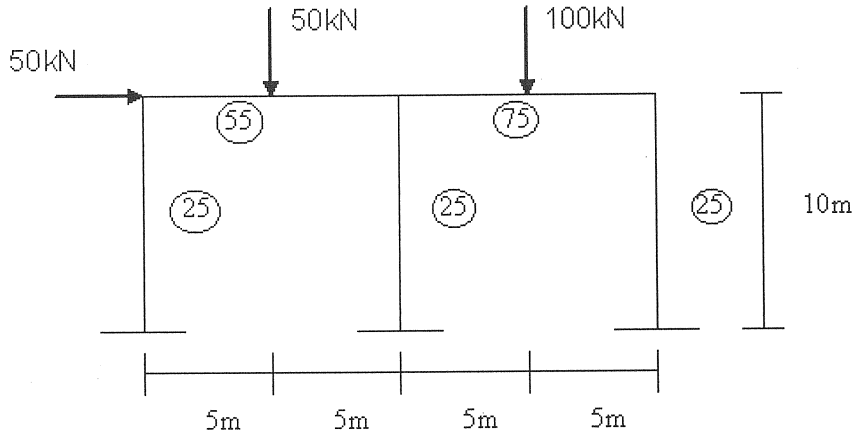


Şekil 5. Bulanık çarpım kuralı kullanılarak elde edilen bulanık çıkarım

Şekil 6'da verilen iki açıklıklı bir çerçeve sisteminde göçme yük faktörünü bulmak için geliştirilen algoritma MATLAB/SIMULINK ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da yuvarlak içinde gösterilen değerler kolon ve kirişlerin plastik momentleridir.

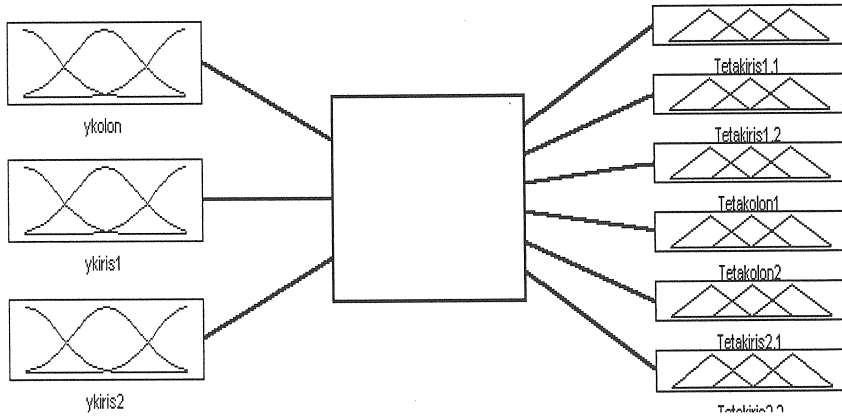
Çalışmada bulanık tabanlı bir sistem, plastik moment ile oluşacak göçme yük faktörünü hesaplamak için kullanılmıştır. Şekil 7'de görüldüğü gibi bulanık sistem, uygulanan kuvvetin kiriş ve kolon mesafelerini giriş bilgileri olarak alıp, çıkışta bu sistemin iki açıklıklı çerçeve mekanizmalarında oluşan açıları hesaplayan bir algoritmadır. Şekil 8'de tüm sistemde kullanılan bulanık tabanlı sistem için blok diyagramı görülmektedir. Şekil 9 ve Şekil 10'da bu örnekte giriş bilgilerini oluşturan 3 adet değişken (ykolon, ykiris1 ve ykiris2) için kullanılan üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



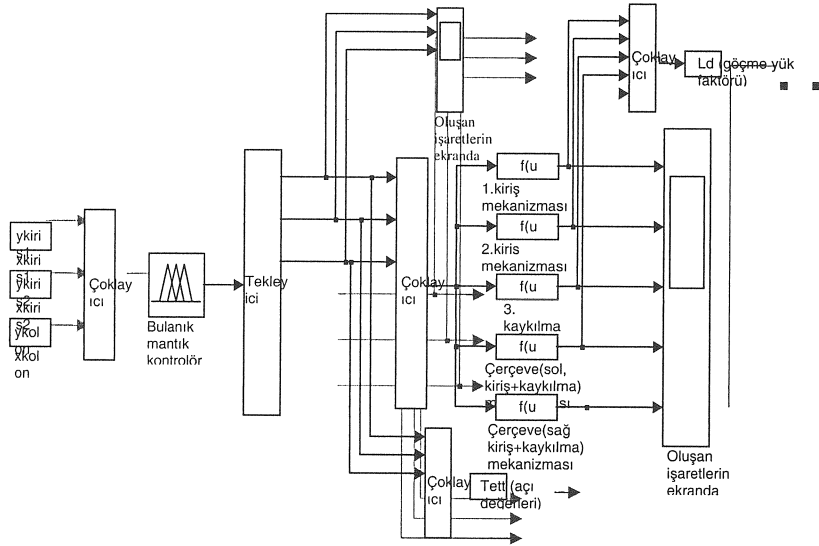


Şekil 6. İki açıklıklı çerçeve

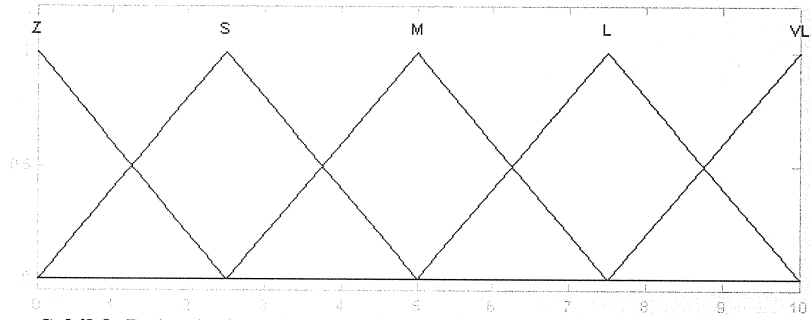
Şekil 11'de ise çıkış bilgilerini oluşturan 6 adet açı değişkeni (tetakolon1, tetakolon2, tetakiris1.1, tetakiris1.2, tetakiris2.1 ve tetakiris2.2) için kullanılan ortak üyelik fonksiyonları verilmiştir. Üyelik fonksiyonlarının seçimi kazanılmış tecrübelerden yararlanılarak belirlenmiştir ve bu üyelik fonksiyonlarının taban değerleri daha hassas bölgelerde yoğunlaştırılarak seçilmiştir. Deneme yanılma yolu ile iyi bir sonuç elde edilen taban değerleri alınmıştır. Kural tabanı yine uzman tecrübesi ile oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar oldukça iyi bir performansın yakalandığını göstermiştir.



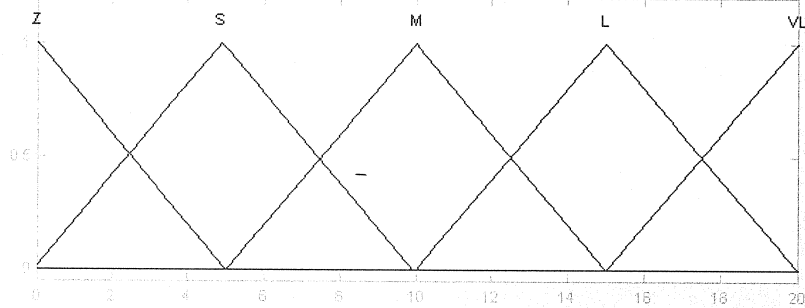
Şekil 7. Bulanık sistemin genel yapısı



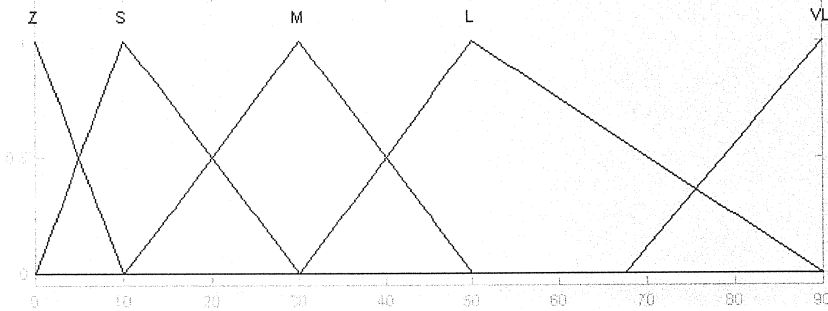
Şekil 8. Bulanık tabanlı sistem için blok diyagramı



Şekil 9. Bulanık sistemin giriş değişkeni "ykolon" üyelik fonksiyonları



**Şekil 10.** Bulanık sistemin giriş değişkenleri “ykiris1 ve ykiris2” üyelik fonksiyonları

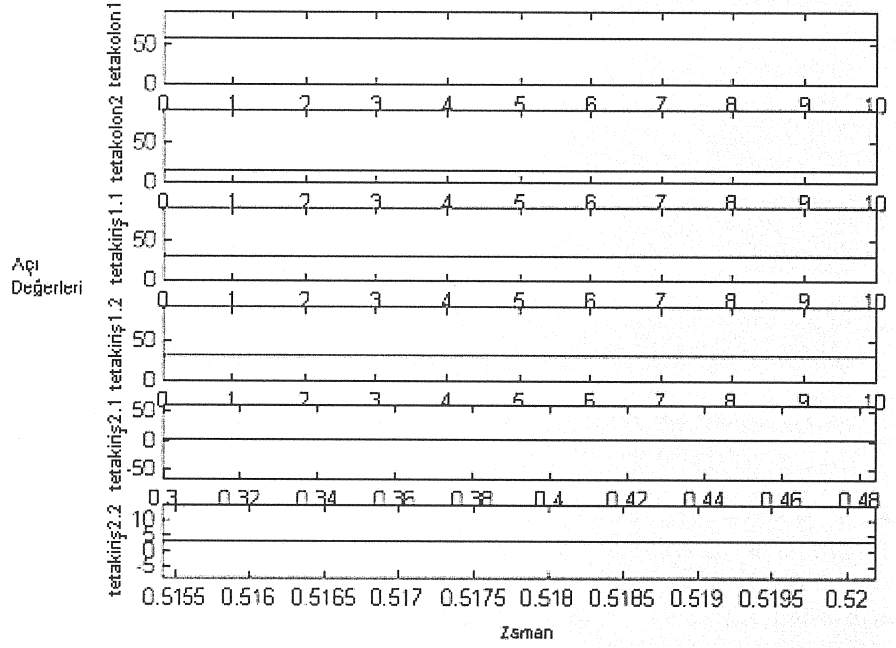


**Şekil 11.** Bulanık sistemin çıkış değişkenleri “tetakolon1, tetakolon2, tetakiris1.1, tetakiris1.2, tetakiris2.1, tetakiris2.2” üyelik fonksiyonları

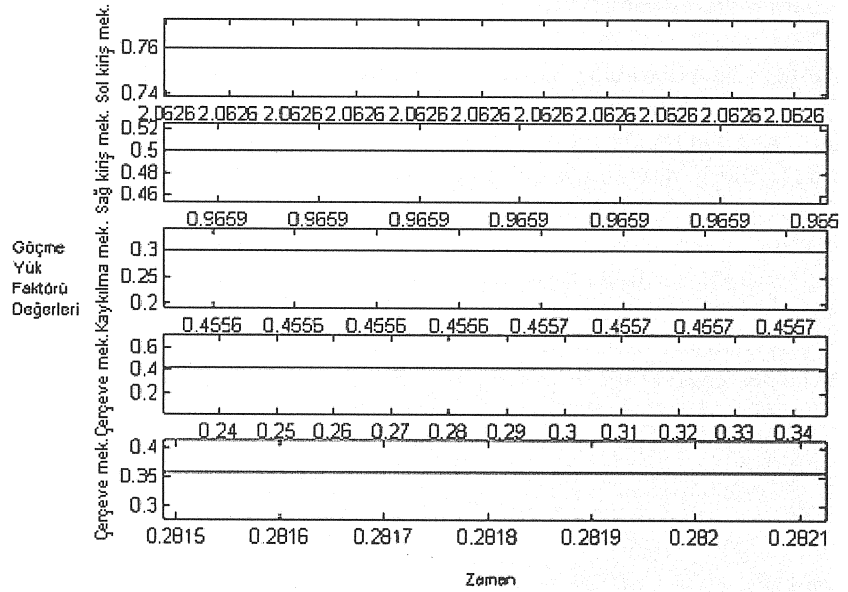
Kiriş ve kolon mesafelerine üyelik fonksiyonlarında dikkat edilecek olursa, kirişler 20m ve kolonlar ise 10m ile sınırlandırılmıştır. Çıkış değişkenleri için kullanılacak üyelik fonksiyonlarının taban değerlerinde oluşacak maksimum açı ise  $90^\circ$  ile sınırlandırılmıştır.

### 3.3. Simülasyon Sonuçları

Bulanık sistemden elde edilen açı değerleri plastik momentle oluşacak göçme yük faktörünün hesaplanmasında kullanılmıştır. Bulanık sistemin amacı, göz önüne alınan mekanizma durumunda kolon veya kirişe etkiyen dış kuvvetlerinin yerine bağlı olarak, çıkış bilgileri olarak tanımlanan açı değerlerine (tetakolon1, tetakolon2, tetakiris1.1, tetakiris1.2, tetakiris2.1 ve tetakiris2.2) karşı gelen açı (açısal dönme) değerlerinin saptanmasıdır. Daha sonra ise burada oluşacak göçme yük faktörü değeri, bu açı değerlerine göre hesaplanmıştır. Elde edilen bu açı ve göçme yük faktörü değerleri Şekil 12’de verilmiştir. Geliştirilen algoritmayla iki açıklıklı çerçevelerde oldukça başarılı sonuçların elde edildiği görülmüştür.



a) Açı değerleri



(b) Göçme yük faktörü değerleri

Şekil 12. İki açıklıklı çerçeve için açı ve göçme yük faktörü değişimi

Bulanık mantıkla elde edilen sonuçlar klasik yöntemle karşılaştırılmış ve birbirine çok yakın değerlerin elde edildiği görülmüştür (Tablo1).

Göçme yük faktörü	Klasik yöntemle bulunan sonuçlar	Bulanık mantıkla bulunan sonuçlar
Sol giriş mekanizması	0.76	0.76
Sağ giriş mekanizması	0.5	0.5
Kayılma mekanizması	0.3	0.3
Çerçeve (Sol giriş+Kayılma) mekanizması	0.387	0.412
Çerçeve (Sağ giriş+Kayılma) mekanizması	0.355	0.3581

**Tablo1.** Elde edilen göçme yük faktörü değerlerinin karşılaştırılması

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada iki açıklıklı çerçevelerin plastik analizi için mekanizmalarda oluşan dönme açıları bulanık mantıkla bulan bir algoritma geliştirilmiştir. Klasik yöntemde dönme açılarının değeri, başlangıçta tahmin edilmekte ve ardından bu değere bağlı olarak iç kuvvetlerin yaptığı iş ile dış kuvvetlerin yaptığı iş eşitlenene dek iteratif (ardışık) bir yöntemle göçme yük faktörü değerleri bulunmaktadır. Matematiksel ifadesi oldukça zor olan dönme açıları, tecrübelerden yararlanılarak bulanık mantıkla derece cinsinden bulunmuştur. Yani dönme açılarının değeri tahmini olarak değil de, kaç derecelik açı yaptığı bulanık mantıkla bulunmuştur. Üyelik fonksiyonlarının seçimi kazanılmış tecrübelerden yararlanılarak belirlenmiştir ve bu üyelik fonksiyonlarının taban değerleri daha hassas bölgelerde yoğunlaştırılarak seçilmiştir. Kural tabanı yine uzman tecrübesi ile oluşturulmuştur. Bu açı değerleriyle iki açıklıklı bir çerçeve sisteminde MATLAB/SIMULINK kullanılarak göçme yük faktörü değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar klasik yöntemlerle karşılaştırılarak birbirine çok yakın değerler elde edildiği görülmüştür. Böylece geliştirilen algoritmanın oldukça başarılı olduğu ortaya çıkmıştır.

**KAYNAKLAR**

1. Kaynak, O., Bulanık denetim ve endüstriyel uygulamaları, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi CAD/CAM ve Robotik Bölümü, (1993)
2. Helledorn, H., and Thomas, C., “Defuzzication in fuzzy controllers, Intelligent and Fuzzy Systems”, 1, 109-123, (1993).
3. Zadeh, L.A., “Fuzzy Sets, Information and control”, Academic Press, 8, 338-353, (1965).
4. Zadeh, L.A., Outline of new approach to analysis of complex systems and decision processes, IEEE Trans. Syst. Man&Cybern, (1973)
5. Mamdani, E.H., and Assilian, S., An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, International Journal of Machine Studies, 7, 1-13, (1975)
6. Lee, C., Fuzzy logic in control systems fuzzy logic controller, Parts I and II, IEEE Trans. Syst. Man&Cybern, 20, 404-435, (1990)
7. Zadeh, L.A., The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems, Fuzzy sets and Systems, 11, 199-227, (1983)
8. Symans, D.M., Kelly, S.W., Fuzzy logic control of bridge structures using intelligent semi active seismic isolation systems, Earthquake Engrg. Struct. Dyn., 28, 37-60, (1999)
9. Reithmeier, E., Leitmann, G., Structural vibration control, Journal of The Franklin Institute, 338, 203-223, (2001)
10. Teng, T., Peng, C., Chuang, C., A study on the application of fuzzy theory to structural active, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 189, 439-448, (2000)
11. Forrai, A., Hashimoto, S., Kamiyama, K., Fuzzy logic based vibration suppression control of flexible structures, Utsunomiya University 7-1-2 Yoto, Utsunomiya-shi, Tochigi-ken, 321-8585, (2000)
12. Aldawod, M., Samali, B., Naghdy, F., Kwok, K., Active control of a long wind response of tall buildings using a fuzzy control, Engineering Structures, 23, 1512-1522, (2001)
13. Kitagawa, Y., Miyoshi, T., Tani, A., Mochio, T., Seismic response control tests and simulations by fuzzy optimal logic of building structures, Engineering Structures, 20, 164-175, (1998)
14. Cherng, Y., Hsu, D., Structural optimization with fuzzy parameters, National Cheng University, 917-924, (1989)
15. Hodge, P.G., Plastic analysis of structures, McGraw-Hill Book Company, Inc., (1959)
16. Yaran, T., Plastic analysis and design of braced and multistory steel frames by microcomputer, Master Science, Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, (1992)