

Bulanık Ters Mantık Yönteminin Çelik Boru Profiller ile Teşkil Edilmiş Çelik Kafes Sistem Elemanlarının Tasarımında Kullanımı

Ertekin Öztekin^{1*} 

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye.

*ertekinoztekin@hotmail.com

Özet

Bu çalışmada, yapay zekâ yöntemlerinden biri olan bulanık mantık yöntemi kullanılarak, çelik boru profillerin çekme ve basınç kuvveti etkisindeki kapasitelerini belirleyebilmek için iki adet bulanık model oluşturulmuştur. 2018 Türk Çelik yapılar Yönetmeliğinde belirtilen GKT yöntemine göre oluşturulan her iki bulanık modelde de, çelik sınıfı S355 olarak sabit olarak tutulurken, kesit çapı (D), profil et kalınlığı (t) ve eleman uzunluğu (L) değişken parametreler olarak dikkate alınmıştır. Eksenel çekme kapasitesi (T_n) ve eksenel basınç kapasitesi (P_n) ayrı ayrı olarak bu modellerin çıktı parametrelerini oluşturmuşlardır. Her iki modelin oluşturulmasında aynı girdi değişkenleri değerlerine sahip ancak çıktı parametreleri farklı olan 1400 'er adet örnek çözüm kullanılmıştır. Kullanılan bu örnek çözümlerin haricinde 988 'şer adet farklı örnek çözüm ile bu modeller test edilerek, sırasıyla maksimum %2.764 ve maksimum %4.076 hata ile eksenel çekme ve basınç dayanımlarının tahminde kullanılabilecekleri ortaya konulmuştur. Daha sonra geliştirilen bulanık modellere, bulanık ters mantık yöntemi 3 farklı izostatik düzlem kafes sistem örneği için uygulanarak bu kafes sistemleri oluşturan çubuk elemanların tasarımları gerçekleştirildikten sonra dayanım kontrolleri karşılaştırmalı olarak 2018 Türk Çelik yapılar Yönetmeliğinde belirtilen GKT yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, bulanık mantık ve bulanık ters mantık yöntemlerinin birlikte aynı sayısal veriyi kullanarak boru kesitli çelik kafes sistem elemanların kapasitelerinin belirlenmesinde ve aynı zamanda tasarımlarının gerçekleştirilmesinde model hataları da dikkate alınarak güvenle kullanılabilecekleri ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Bulanık Ters Mantık, Kafes Sistemler, Tasarım, Kapasite tahmini

Usage of the Fuzzy Inverse Logic Method in the Design of Steel Truss System Elements Constructed with Steel Pipe Profiles

Abstract

In this study, by using the fuzzy logic method, one of the artificial intelligence methods, two fuzzy models were constituted to determine the capacities of steel pipe profiles under the effect of tensile and compressive forces. In both fuzzy models created according to the ASD method specified in the 2018 Turkish Steel Structures Regulation, while the steel grade was kept constant as S355, section diameter

(D), profile wall thickness (t) and element length (L) were taken into account as variable parameters. Axial tensile capacity (T_n) and axial compressive capacity (P_n) separately constituted the output parameters of these models. In the constitution of both models, 1400 sample solutions with the same input variable values but different output parameters were used. Apart from these sample solutions used, these models were tested with 988 sample solutions, and it was revealed that the models could be used to estimate the axial tensile (T_n) and compressive strengths (P_n) with a maximum error of 2.764% and 4.076%. Then, the fuzzy inverse logic method was applied to the developed fuzzy models for 3 different isostatic plane truss systems, and after the design of the elements that make up these truss systems, the strength controls were carried out comparatively according to the ASD method. At the end of the study, it has been revealed that fuzzy logic and fuzzy inverse logic methods can be used safely both in determining the capacities of the truss system elements and in their designs by using the same numerical data and by taking into account model errors.

Keywords: Fuzzy Logic, Fuzzy Inverse Logic, Truss Systems, Design, Capacity estimation

1. GİRİŞ

Yapay zekâ yöntemleri birçok alanda olduğu gibi inşaat mühendisliği alanında da birçok probleme başarıyla uygulanmaktadır[1-6]. Ancak yapılan çalışmaların çoğunda hatta hemen hemen tümünde yapay zekâ yöntemleri, parametre tahminlerinde[7-15], belirli verilerin değerlendirilmesinde [16-20], belirli bir durumun izlenmesinde [21], tanısında [22], sınıflandırmasında [23], derecelendirilmesinde [24], tespitinde [25], kontrolünde [26-27], seçiminde [28], optimizasyonunda [29] vb. kullanılmaktadır. Yapay zekâ yöntemlerinin tümünde veriye dayalı olarak işlemler yapıldığından dolayı, geliştirilen yapay zekâ yöntemleri geliştirildikleri veri aralığında sonuç üretmektedir ve aynı zamanda bu yöntemler ile bilinen değişken parametrelere bağlı olarak çıktının ya da sonucun tahminine çalışılmaktadır. Oysa birçok bilimsel alanda olduğu gibi inşaat mühendisliğinde de asıl amaç büyüklüğü önceden bilinen veya önceden kestirilen etkiler için gerekli olan tasarımların gerçekleştirilmesidir. Bu açıdan bakıldığında tasarım çalışmalarında amaçlanan bir probleme ait çıktının değil girdi parametrelerinin belirlenmesidir. Buna örnek olarak bir kirişin, bir kolunun, bir perde duvarın, bir yapının veya bir sistemin boyutlandırılmaları ve detaylandırılmaları gösterilebilir. Bir yapı elemanının belirli bir yük etkisine göre tasarımını gerçekleştirmek için önceden belirlenen boyut, malzeme ve detaylar ile bu elemanın taşıma kapasitesi belirlenerek kesit kapasitesinin mevcut yükleri taşıyıp taşımadığı kontrol edilir. Eğer kesit yetersiz veya çok büyük ise önceki kesit boyutları değiştirilir ve işlemler bu şekilde deneme yanılma yoluyla yönetmelik, mimari, konstrüktif vb. tüm koşullar sağlanıncaya kadar devam ettirilir. Klasik yapay zekâ yöntemleriyle de gerçekleştirilen tasarımlar benzer şekilde yapılmaktadır. Bunun nedeni geliştirilen matematiksel ve yapay zekâ yöntemlerinin ve/veya algoritmalarının hesap akışının girdiden çıktıya doğru oluşturulmasından kaynaklanır. Asında matematiksel olarak başka bir yol da yoktur.

İnsanoğluna yaratıcının bahsettiği en önemli yeteneklerden birisi de ön kestirim yeteneğidir. Yani insanoğlu aynı veya benzer bir iş için deneyimlediği birçok örnekleme dayanarak bu örneklerden farklı ancak bu örneklerle benzer durumlar karşısında çok başarılı tahminler uygulamalar yapabilmektedir. Buna güncel hayatta tecrübe denilmektedir. Yapay zekâ yöntemlerinden bulanık mantık yöntemi de insanoğlunun kestirim yapabilme yeteneğinin bir sonucu olarak ifade ettiği bulanık yani net olmayan çıkarımlara dayanılarak oluşturulmuş bir yapay zekâ yöntemidir. Lütüfî Zadeh [30-32] tarafından 1965 yılında ortaya atılan bulanık küme kavramının Mamdani [33-34] ve diğer birçok araştırmacı tarafından geliştirilmesiyle bulanık mantık yöntemi günümüzdeki halini almıştır.

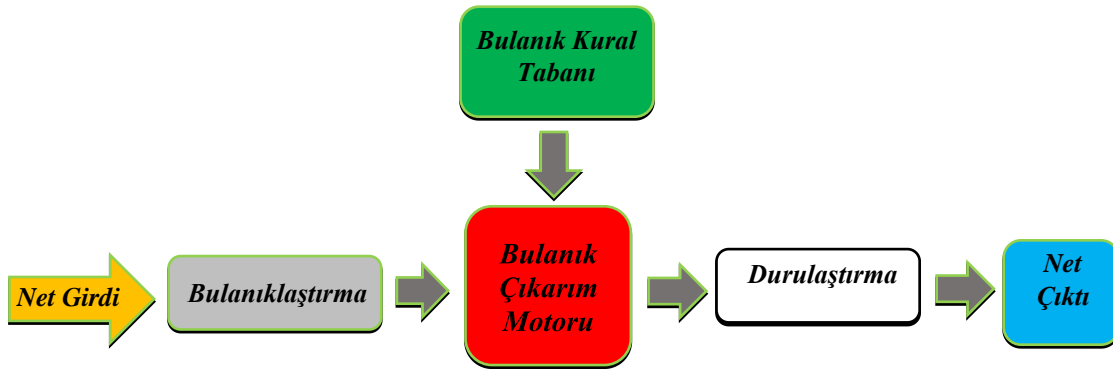
Bulanık mantık yönteminde işlem akışı diğer yapay zekâ yöntemlerinde olduğu gibi girdi parametrelerinden çıktıya doğrudur. Yani bulanık mantık yönteminin mevcut algoritması tasarımdan ziyade tahmin ve sınıflandırma vb. tür çalışmalara imkân tanımaktadır. İnsanoğlunun sadece ileri yönlü yani girdilerden çıktılara doğru kestirim yeteneğinin değil aynı zamanda çıktılardan girdilere doğru da kestirim yeteneğine sahip olduğu düşünülerek ve bulanık mantık yönteminin tüm alt yapısı kullanılarak “Bulanık Ters Mantık”

adı verilen yöntem geliştirilmiştir[35, 36]. Örnek olarak, bir yapının herhangi bir katına ait yüksekliği, plandaki ölçülerini bilen bir tuğla ustası o kat için yaklaşık olarak ne kadar tuğla gidebileceğini kestirebileceği gibi, aynı usta belirli bir tuğla miktarının kaç metre kat yüksekliğe sahip bir yapıda, kaç m² lik plana sahip yapıda kaç m² tuğla duvar yapabileceğini de kestirebilir.

Geliştirilen bu yöntem henüz çok daha yeni olmasına rağmen birçok inşaat mühendisliği problemine başarıyla uygulanmaya başlanmıştır[36] ve aynı zamanda yöntemin yapay zeka tabanlı yazılım programlarında kontrol, optimizasyon, planlama, tasarım vb. gibi problemler için birçok bilimsel alanda kullanılabilmesi öngörülebilmektedir. Bu çalışma, yapay zekânın mühendislik alanında tasarım problemlerine direkt olarak, yani başka bir yöntemle (deneme yanılma yöntemi vb.) birlikte kullanılmaksızın, uygulandığı ilk çalışmalardan biri olması bakımından ve Türkçe olarak ilk defa Türk bilim literatüründe yer alacak olması açısından önemlidir. Çalışmanın vurgulanması gereken diğer ve en önemli bir özgün yönü ise özellikle tasarım mühendislerinin çelik yapı tasarımında eleman boyutu seçimlerinin deneme yanılma yöntemi yerine uygun kesit seçiminin için ters bir tahmin yöntemi ile hızlı ve güvenilir hale getirmesidir.

1.1 Bulanık Mantık Yöntemi Hakkında Kısa ve Öz Bilgiler

Bulanık mantık yönteminde gerçekleştirilen işlemler 4 adımda kısaca özetlenebilir (Şekil 1). Birinci adımda problemin bilinen girdi ve çıktı daseti üyelik fonksiyonları yardımıyla bulanıklaştırılır. Üyelik fonksiyonu olarak probleme uygun bir fonksiyon seçilebilir. Genellikle, üçgen, trapez, sigmoid, step fonksiyonları bilinen ve en tercih edilen üyelik fonksiyonlarındanır. Bulanık mantık yönteminin ikinci önemli işlem adımı, kural matrisinin(tablosunun) oluşturulmasıdır. Bu adımda, bulanık girdi parametrelerine ait bulanık kümelerin kombinasyonlarına tekabül eden bulanık çıkarımlar ile kural matrisi oluşturulur. Bulanık mantık çıkarım motoru ile kural matrisindeki kurallara göre bulanık çıktıların hesaplandığı üçüncü adımı, durulaştırıcılar yardımıyla bulanık çıktıların net çıktılara dönüştürüldüğü son adım takip eder. Bulanık mantık hesaplamalarında birçok durulaştırıcı metodu kullanılabilir. Bulanık mantık hesaplamalarıyla ilgili birçok detaya teknik literatürdeki birçok kitap ve makaleden ulaşılabileceğinden bu çalışmada ayrıca verilmemiştir[37].



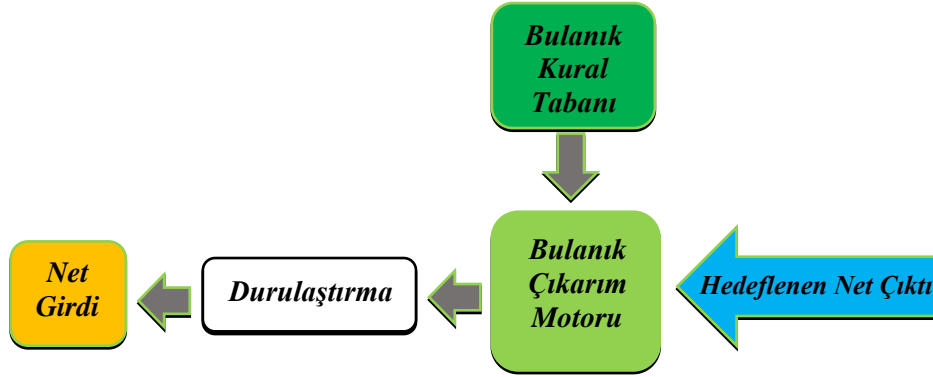
Şekil 1. Bulanık mantık yönteminde işlem akış şeması

1.2 Bulanık Ters Mantık Yöntemi

Bulanık ters mantık yöntemi, bu çalışmanın yazarı tarafından bulanık mantık yönteminin tüm mantıksal alt yapısıyla aynı, ancak hesap adımları bulanık mantık yöntemindeki işlem yönünün tersine doğru olacak

şekilde geliştirilmiştir. Şekil 2 'den daha açık bir şekilde anlaşılabilceği gibi bulanık ters mantık yönteminde, hedeflenen bir çıktı için girdi parametrelerinin değerleri belirlenmesine çalışılır.

Bulanık ters mantık yönteminin uygulanabilmesi için bir bulanık mantık modeline ihtiyaç vardır. Bu model özellikle bulanık ters mantık yönteminin kullanılması için geliştirilebileceği gibi, daha önceden geliştirilmiş bir bulanık mantık modeli de olabilir. Bulanık ters mantık yönteminin uygulanacağı problemde seçilen veya oluşturulan bulanık mantık modelinin hassasiyetinin önemi çok büyüktür. Başka bir deyişle bulanık ters mantık yönteminin hassasiyeti tamamıyla seçilen veya oluşturulan bulanık mantık modelinin hassasiyetine bağlıdır. Eğer bulanık mantık modelinin hassasiyeti çok iyi olursa bulanık ters mantık yönteminin de çözümleri o kadar hassas olur. Çünkü bulanık ters mantık yöntemi seçilen veya oluşturulan bulanık mantık modelinin tüm datasını olduğu gibi kullanır. Bulanık ters mantık yönteminin uygulanmasında çözüm boyutu arttıkça bulanık mantık modelinin hassasiyetinin önemi daha da artar. Yani büyük boyutlu bulanık ters mantık hesaplamalarında boyut sayısı arttıkça hata miktarı da üstel olarak artar [35, 36]. Bu nedenle bulanık ters mantık yöntemi ile düşük boyutlu hesaplamaların gerçekleştirilmesi hassasiyet açısından önemlidir. Buna ilaveten bulanık ters mantık yönteminde düşük boyuttaki hesaplamalar çok daha kolaydır. Özellikle 1 boyuttaki bulanık ters mantık hesaplamaları herhangi bir ek iterasyona gerek duyulmadan direkt olarak çözüm üretir. Ancak, elde edilen çözüm sayıları diğer boyutlardan daha az olur. Bununla birlikte, 1 boyuttaki bulanık ters mantık hesaplamalarında elde edilen çözüm sayıları da oldukça tatminkârdır. Hatta bazen üretilen çözüm sayıları o kadar çok olur ki bunların arasında seçim yapmak güçleşir. Bu nedenlerle 1 boyuttaki bulanık ters mantık hesaplama yönteminin diğer boyuttaki hesaplamaları aratmaz. Ancak yine de daha fazla sayıda çözüme ihtiyaç duyulması halinde daha büyük boyuttaki çözümlerinin daha yüksek hata miktarları ile kullanılabileceği de bir gerçektir.



Şekil 2. Bulanık ters mantık yönteminde işlem akış şeması

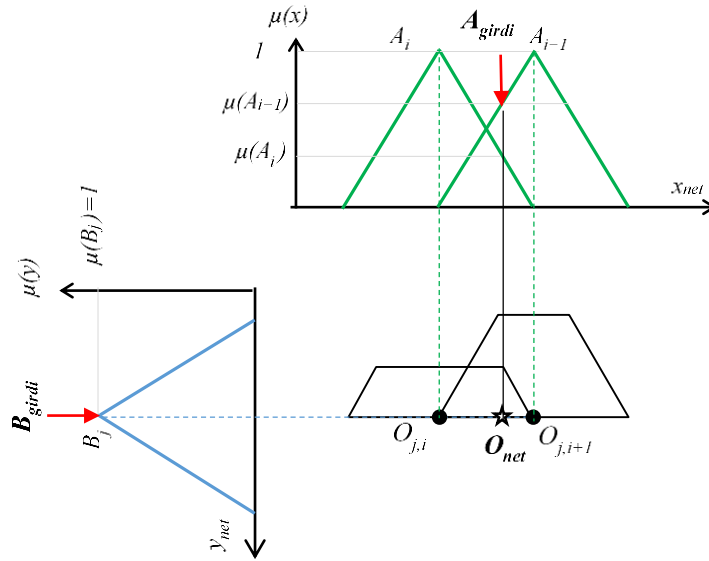
Bulanık ters mantıkta gerçekleştirilen işlemlerin sırası aşağıda adım adım açıklanmıştır.

- 1) Hassas olarak bir bulanık mantık modelinin oluşturulması veya hassas olarak geliştirilmiş bir bulanık mantık modelinin seçilmesi
- 2) Hedeflenen (arzulanan) çıktının bulanık mantık modelindeki çıktı datasında bulunabileceği konum veya konumların hesaplama boyutuna bağlı olarak belirlenmesi
- 3) Belirlenen her bir konum veya konumlar için aranan girdi parametrelerine ait bulanık koordinatların belirlenmesi
- 4) Bulanık modelde kullanılan durulaştırma yönteminin tersine(geriye) doğru uygulanmasıyla ve girdi parametrelerinin bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonları yardımıyla girdi parametrelerine ait net değerlerin hesap boyutuna ve kural tabanındaki koşul ifadelerine bağlı olarak hesaplanması.

Bulanık ters mantıkta hesap boyutu sayısı en fazla girdi değişkeni sayısı kadar olabilir. Ancak, 1’den daha büyük hesaplama boyutunda hesaplamalar daha zor ve daha karmaşık olmakla birlikte boyut arttıkça hesap hassasiyeti azalır [36]. Başka bir deyişle, 1 boyutlu bulanık ters mantık hesaplamaları en kolay, en anlaşılır ve en hassas çözümlerin üretildiği bulanık ters mantık hesaplamalardır. Bu çalışmada da 1 boyutlu bulanık ters mantık hesaplamaları kullanıldığından aşağıda bu hesaplamaların detaylarına yer verilmiştir.

1.3 Bir Boyutlu Bulanık Ters Mantık Hesaplamaları

Bir boyutlu bulanık ters mantık yönteminin her bir adımında problemin girdi parametrelerinden sadece 1 tanesi değişken olarak dikkate alınırken diğer parametreler sabit tutulurlar. Sabit tutulan parametrelerin değeri kural tabanında kullanılan üyelik değeri 1’e tekabül eden bulanık kümelerin değerine karşılık gelebileceği gibi bunların dışında, mimari, konstrüktif, yönetmelik kısıtlamaları vb. koşul(lar) gereği farklı bir değer olarak da alınabilir. Eğer farklı bir değer kullanılacak ise bu durumda bu değer de bulanıklaştırılarak ilgili parametrenin üyelik kümelerine eklenir ve bulanık mantık yöntemi ile diğer parametrelerin bulanık kümelerinin tüm kombinasyonları için yeni çıktılar, yeni kurallar oluşturulur ve bulanık mantık modelinin kural tabanına eklenir. Eğer sabit parametrenin değeri (problemdeki bir koşul gereği olsa bile) kendi üyelik kümelerinden herhangi bir tanesinin üyelik değeri 1’e tekabül eden değerine karşılık geliyor ise bu işlemin yapılmasına gerek yoktur. Değişken parametre hariç diğer tüm değişkenlerin değeri sabit olarak dikkate alındığında, bulanık mantık yönteminde bulanık çıktı Şekil 3 dekinde benzer şekilde 2 bulanık kümeden oluşur.



Şekil 3. Sabit Y parametresi için bulanık B_j kümesi, değişken X parametresi için ardışık A_i ve A_{i+1} bulanık kümeleri ve bulanık $O_{j,i}$ ve $O_{j,i+1}$ çıktıları

Şekil 3 ‘de 2 değişkenli bir problemde değişkenin biri sabit tutulduğunda (B_{girdi}) diğer değişkenin değerine (A_{girdi}) bağlı olarak en fazla 2 bulanık kümeli bir bulanık çıktı elde edilir. Bu iki bulanık küme bu değişken parametrenin bulanık küme uzayında birbirinin ardışığı veya komşusudur. Bulanık mantık yönteminde bir sonraki işlem seçilen durulaştırıcı yardımıyla bulanık çıktının net değere dönüştürülmesidir. Örnek olarak ağırlıklandırılmış ortalama yönteminin (*Weighted Average Method*) durulaştırıcı olarak kullanıldığı bir problemde çıktı (1) numaralı Eşitlik ile hesaplanır[37].

$$O_{net} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (1)$$

Şekil 3’deki A değişkeninin üçgen üyelik fonksiyonları ile verilen A_i ve A_{i+1} numaralı iki bulanık kümesinin arasında denklem (2) de verildiği gibi ilişki kolaylıkla yazılabilir. Bu ilişki iki komşu bulanık kümenin üyeliği 1 ‘e tekabül eden net değerleri arasında geçerlidir. Bu durumda denklem (1) deki O_{net} değeri daha basit bir şekilde denklem (3) de ki gibi yazılabilir.

$$\mu(A_i) + \mu(A_{i+1}) = 1 \quad (2)$$

$$O_{net} = O_{j,i} \times \mu_{(A_i)} + O_{j,i+1} \times \mu_{(A_{i+1})} \quad (3)$$

Üçgen üyelik fonksiyonundan farklı üyelik fonksiyonların kullanıldığı bulanık modellerde 3 numaralı denklemin yerine başka bir geçerli ilişki yazılmalıdır.

Bu denklemlerden ve Şekil 3’ten anlaşılacağı net çıktı, değişken parametrenin komşu iki bulanık kümesinin kullanıldığı bulanık çıktı kümelerinin üyeliği 1 olduğu durumdaki net $O_{j,i}$ ve $O_{j,i+1}$ değerlerinin arasında yer alır. Bu durum ağırlıklandırılmış ortalama yönteminin durulaştırıcı olarak kullanıldığı durumlarda geçerlidir. Diğer durulaştırıcılarda bu durum farklı olabilir. Bu nedenle farklı durulaştırıcılar için farklı ancak geçerli matematiksel eşitlikler kullanılmalıdır. $O_{j,i}$ ve $O_{j,i+1}$ den küçüğü ve büyüğü sırasıyla O_S ve O_B olarak adlandırılırsa, bir boyutlu ters mantık yönteminde hedeflenen veya arzu edilen O_D çıktısının Denklem (4) deki gibi bu iki değerin arasında olup olmadığı araştırılır. Bunun için değişken parametre hariç diğer parametrelerin tüm olası sabit değerleri (Kendi bulanık uzaylarındaki bulanık kümelerin üyeliği 1’e tekabül eden net değerleri) için tüm bulanık kurallar karşılaştırılarak incelenir.

$$O_S < O_D < O_B \quad (4)$$

(4) numaralı denklemi sağlayan durumların her birinde çözümün mevcut olduğu anlaşılır. Bundan sonraki adımda her bir çözüm için bulanık koordinatlar belirlenir. Bu koordinatlar her bir çözümde O_S ve O_B ‘yi çıktı olarak veren kurallardaki değişken parametrelerin bulanık kümeleridir. Bulanık ters mantık yönteminde bu bulanık kümeler her bir çözüm için geçerli bulanık kümeler olarak adlandırılırlar.

Her bir bulanık ters mantık çözümünde, değişken parametreye ait iki komşu küme ve diğer sabit parametreler için ise 1 ‘er adet bulanık küme, o çözüm için geçerli bulanık kümeleri oluştururlar. Sabit parametrelere ait net değerler bu parametrelerin geçerli bulanık kümelerinin üyeliği 1 ‘e tekabül eden değerleridir. Buna örnek olarak Şekil 4 ‘deki B değişkenine ait B_{girdi} değeri gösterilebilir. Değişken parametreye ait net değerinin bulunmasında bulanık mantık yöntemindeki hesap işleyişinin tersi gerçekleştirilir. Yani, bulanık modeldeki O_{net} çıktısının arzu edilen çıktıya O_D eşit olması için, (3) numaralı denklem 5 numaralı denklemdeki gibi yazılmalıdır.

$$O_D = O_{j,i} \cdot \mu_{(A_i)} + O_{j,i+1} \cdot \mu_{(A_{i+1})} \quad (5)$$

Denklem (2) ‘de verilen değişken parametreye ait komşu iki geçerli bulanık kümenin arasındaki üyelik ilişkisinden yararlanılarak, bu iki geçerli bulanık kümenin üyelikleri denklem (6) ve (7) deki bağıntılar ile kolaylıkla hesaplanabilir.

$$\mu_{(A_i)} = \frac{O_D - O_{j,i+1}}{O_{j,i} - O_{j,i+1}} \quad (6)$$

$$\mu_{(A_{i+1})} = \frac{O_D - O_{j,i}}{O_{j,i+1} - O_{j,i}} \quad (7)$$

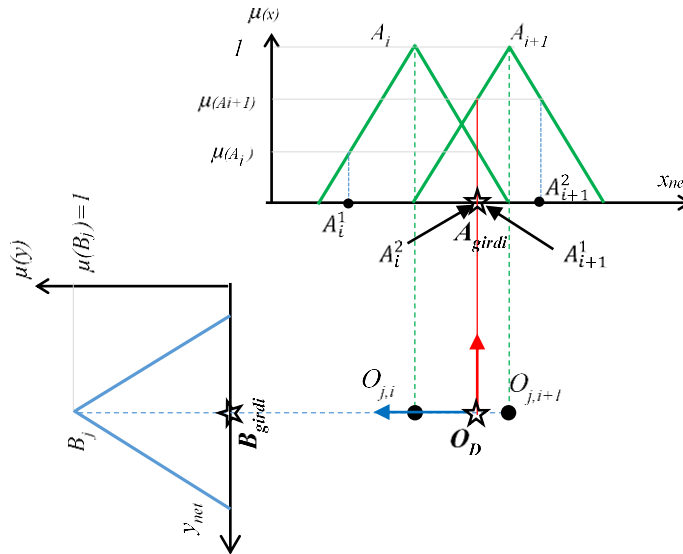
Üçgen üyelik fonksiyonu ile oluşturulmuş A_i ve A_{i+1} geçerli bulanık iki komşu kümenin her biri için denklem (6) ve denklem (7) kullanıldığında denklem (8) ve denklem (9) daki gibi 2 şer net girdi elde edilir. A değişkenine ait aranan girdi değeri ise Şekil 4 ‘den görüldüğü ve denklem (10) ‘da verildiği gibi bu iki geçerli ardışık bulanık kümenin birbirine eşit olan net girdi değerleridir.

$$f(x_i) = \mu_{(A_i)} \rightarrow x_i = \begin{cases} A_i^1 \\ A_i^2 \end{cases} \quad (8)$$

$$f(x_{i+1}) = \mu_{(A_{i+1})} \rightarrow x_{i+1} = \begin{cases} A_{i+1}^1 \\ A_{i+1}^2 \end{cases} \quad (9)$$

$$X_{net} = A_i^2 = A_{i+1}^1 \quad (10)$$

Burada belirtmek gerekmektedir ki, bu çalışmada anlatılmaya çalışılan 1 boyutlu bulanık ters mantık yöntemi için verilen bağıntılar, bulanık kurallarında VE/AND teriminin kullanıldığı, üçgen üyelik fonksiyonları ile oluşturulmuş bulanık kümelere sahip değişkenlerin olduğu ve ağırlıklandırılmış ortalama yöntemi(*Weighted Avarage Method*)’nin durulaştırıcı yöntem olarak kullanıldığı bulanık mantık modellerinde geçerlidir. Bu üç koşulun bu çalışmada kullanılmasının amacı, bir boyutlu bulanık ters mantık yöntemini daha açık ve sade olarak anlatabilmesi içindir.



Şekil 4. Bir boyutlu bulanık ters mantık yönteminde üyelik derecelerinin ve net girdi değerlerinin belirlenmesi

1.4 Eksenel Çekme ve Basınç Etkisindeki Çelik Boru Profillerin GKT Yöntemine Göre Dayanımlarının Belirlenmesi

Türk Çelik Yapılar yönetmeliğinde[38], çelik yapıların hesap ve tasarımı için önerilen yöntemlerden birisi güvenlik katsayısı ile tasarım (*GKT*) yöntemidir. Bu yöntemde göre boru kesitli profillerin eksenel çekme ve eksenel basınç etkisi altındaki dayanımları, A_g ; toplam (kayıpsız) en kesit alanını, A_n ; net (kayıplı) en kesit alanını, A_e ; etkin net en kesit alanını, U ; gerilme düzensizliği etki katsayısını (bu çalışmada $U=1$ alınmıştır), R_a ; *GKT* yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanımı, R_n ; karakteristik dayanımı, Ω ; güvenlik katsayısını, t ; boru kesitli elemanların tasarım et kalınlığını, L eleman boyunu, i ; atalet yarıçapını, I ; kesit atalet momentini, F ; kesit alanını ve D ; kesit çapını ifade etmek üzere (11-16) numaralı denklemlerle belirlenebilmektedir.

$$\text{Güvenli çekme kuvveti dayanımı } T_g = T_n / \Omega \quad (11)$$

$$T_n = \min(T_{n(akma)}, T_{n(kırılma)}) \quad (12)$$

$$\Omega = \begin{cases} 1.67 & (\text{Akma sınır durumu}) \\ 2 & (\text{Kırılma sınır durumu}) \end{cases} \quad (13)$$

$$T_{n(akma)} = F_y A_g \quad (14)$$

$$T_{n(kırılma)} = F_u A_e \quad (15)$$

$$A_e = U A_n \quad (\text{Bu çalışmada çekme etkisindeki elemanlarda } U=1 \text{ alınmıştır}) \quad (16)$$

Bu denklemlerdeki F_y karakteristik akma gerilmesi ve F_u karakteristik çekme gerilmesinin değeri bu çalışmada *S355 H* ve $t \leq 40$ mm için $F_y = 355$ MPa ve $F_u = 510$ MPa olarak dikkate alınmıştır[38]. Bu çalışmada eksenel çekme etkisindeki elemanlar için sadece akma ve kırılma sınır durumlarına göre hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Eleman uç birleşimlerindeki blok kırılma sınır durumları dikkate alınmamıştır.

GKT yöntemine göre boru kesitli profillerin eksenel basınç etkisi altındaki dayanımları ise F_{cr} ; kritik burkulma gerilmesini, L_c ; eleman burkulma boyunu, F_e ; elastik burkulma gerilmesini, i ; atalet yarıçapını, E ; elastisite modülünü (200 GPa), ifade etmek üzere (17) ve (25)'nci denklemler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Çalışmada basınç etkisindeki kafes sistem elemanlarında eğilmeli burkulmanın meydana geldiği ve elemanların uçlarının mafsallı olduğu kabulü ile (burkulma boyu katsayısı $k=1$ alınarak) hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Güvenli basınç kuvveti dayanımı } P_g = \frac{P_n}{\Omega} \quad (17)$$

Narin olmayan kesitlerde $D/t > (0.11E/F_y)$;

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (18)$$

Narin kesitlerde $D/t \leq (0.11E/F_y)$;

$$P_n = F_{cr} \times A_e \quad (19)$$

$$\Omega = 2 \quad (20)$$

$$\frac{L_c}{i} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left(\text{veya } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \right) \text{ için } F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (21)$$

$$\frac{L_c}{i} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left(\text{veya } \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \right) \text{ için } F_{cr} = 0.877 \times F_e \quad (22)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i} \right)^2} \quad (23)$$

$$A_e = A_g \quad \left(\frac{D}{t} \leq 0.11 \frac{E}{F_y} \text{ için} \right) \quad (24)$$

$$A_e = \left(\frac{0.038 \times E}{F_y \times (D/t)} + \frac{2}{3} \right) A_g \quad \left(0.45 \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0.45 \frac{E}{F_y} \text{ için} \right) \quad (25)$$

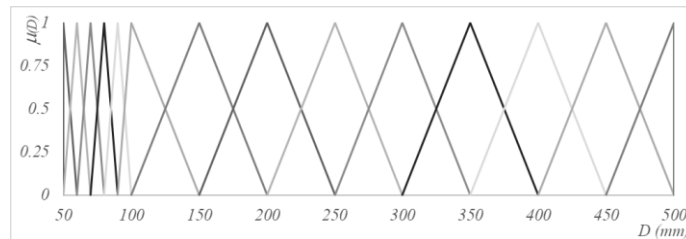
2. BORU ENKESİTLİ PROFİLLERİN EKSENEL BASINÇ VE ÇEKME KAPASİTELERİNİN TAHMİNİ İÇİN BULANIK MANTIK MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI

Bu çalışmada 14 farklı çap, 5 farklı et kalınlığı ve 20 farklı eleman uzunluğu için oluşturulan 1400 adet farklı boru en kesitli profilin GKT yöntemine göre aksel çekme ve aksel basınç kuvveti taşıma kapasiteleri ayrı ayrı belirlenerek elde edilen tüm datalar ayrı ayrı iki farklı bulanık modelin oluşturulmasında kullanılmıştır. Başka bir deyişle Tablo 1 'de çap, et kalınlığı ve eleman uzunluğu için verilen değerler hem boru kesitli profillerin aksel çekme kuvveti dayanımını belirlemek için, hem de aksel basınç kuvvetini belirlemek için oluşturulan iki ayrı bulanık mantık modelinde kullanılmıştır. Çalışmada, malzeme sınıfı sabit S355 H olarak seçilmiştir.

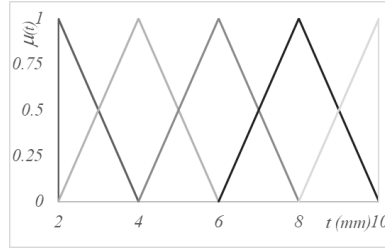
Tablo 1. Bulanık modellerin geliştirilmesinde kullanılan parametreler ve değerleri

Parametreler	Değerler
D (mm)	50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500
t (mm)	2, 4, 6, 8, 10
L (mm)	500, 1000, 1500, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800, 3900, 4000, 4100, 4200, 4300, 4400, 4500

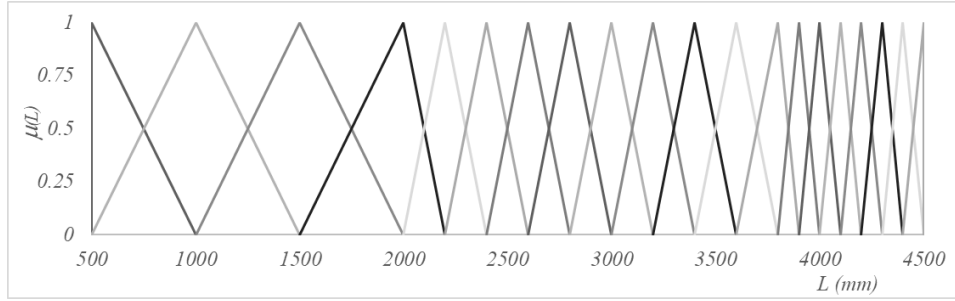
Bulanık modellerin oluşturulmasında girdi parametreleri ve bu parametrelere ait değerler aynı olduğundan, her iki modelde de girdi parametrelerine ait değerler aynı şekilde bulanıklaştırılarak kullanılmışlardır. Bulanıklaştırmada üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Dış çap (D), profil et kalınlığı (t) ve boru uzunluğu (L) için sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7 de gösterildiği gibi bulanık kümeler oluşturulmuştur.



Şekil 5. Profil dış çapı (D)'na ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimleri



Şekil 6. Profil et kalınlığına (t) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimleri



Şekil 7. Eleman uzunluğuna (L) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimleri

Çekme dayanımının tahmini için oluşturulan bulanık kümelerin tüm kombinasyonları için toplam 1400 adet eksenel çekme hesabı *GKT* yöntemine göre yapılmıştır. Elde edilen dayanım değerleri sınıflandırıldığında 68 adet farklı çekme dayanımı sonucunun olduğu anlaşılmıştır. 64.111 kN ile 3272.336 kN değerleri arasında olan bu tüm 68 dayanım değeri üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak bulanıklaştırılarak bulanık çıktılar oluşturulmuştur. Benzer şekilde basınç dayanımının tahmini için oluşturulan bulanık kümelerin tüm kombinasyonları için de toplam 1400 adet eksenel basınç hesabı *GKT* yöntemine göre yapılmıştır. Elde edilen dayanım değerleri sınıflandırıldığında 1400 adet farklı basınç dayanımı sonucunun olduğu anlaşılmıştır. 4.454 kN ile 3270.285 kN değerleri arasında olan tüm 1400 adet basınç dayanımı değeri üçgen üyelik fonksiyonu yardımıyla bulanıklaştırılarak bulanık basınç modeli oluşturulmuştur.

Çekme için 68 adet bulanık çıktının, basınç için 1400 adet bulanık çıktının ayrı ayrı bir grafikte verilmesi mümkün olmadığından bu çalışmada verilmemiştir. Her iki model için de 1400 ‘er adet çözüm için bulanık girdi ve çıktı kümelerine ait bulanık kümeler kullanılarak 1400 ‘er adet kural oluşturulmuştur.

Tüm kurallarda “*VE*” koşul terimi kullanılmıştır. Çekme ve Basınç dayanımını tahmin için oluşturulan kurallara birer örnek (26) ve (27) numaralı denklemlerde sırasıyla verilmiştir.

$$\text{Eğer } D = \{D\}_i \text{ ve } t = \{t\}_j \text{ ve } L = \{L\}_k \text{ ise } T_g = \{T_g\}_m \quad (26)$$

$$\text{Eğer } D = \{D\}_i \text{ ve } t = \{t\}_j \text{ ve } L = \{L\}_k \text{ ise } P_g = \{P_g\}_m \quad (27)$$

2.1 Bulanık Mantık Modellerinin Test Edilmesi ve Doğrulanması

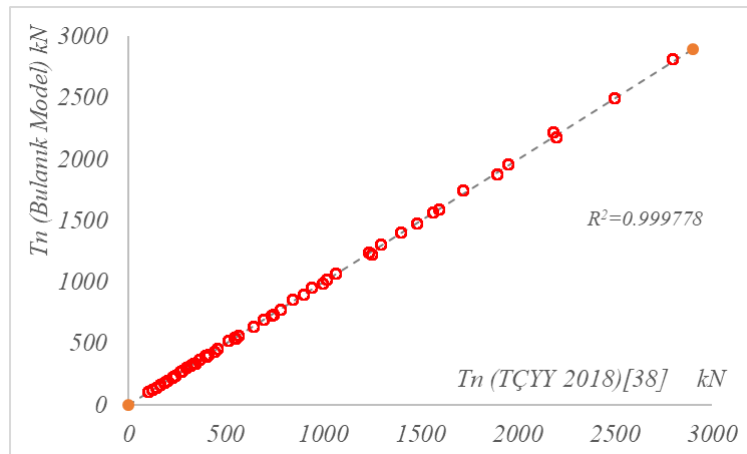
Boru en kesitli profillerin *GKT* yöntemine uygun olarak aksel basınç ve aksel çekme kapasitelerinin tahmini için oluşturulan her iki bulanık model, geliştirilmeleri esnasında kullanılan 1400 ‘er adet örneğin dışında Tablo 2 de verilen girdi parametrelerine ait değerlerin tüm kombinasyonları için test edilmişlerdir. Başka bir ifade ile test aşamasında Tablo 2 de *D* parametresi için 13 adet, *t* parametresi için 4 adet ve *L* parametresi için 19 adet değer tüm kombinasyonları için $13 \times 4 \times 19 = 988$ adet örnek kullanılmıştır. Bu test sayısının 1400 adet örnek ile bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modellerin test edilmesinde oran olarak %70 ‘i aşan sayıda veri kullanıldığı için yeterli olduğu ortadadır.

Tablo 2. Bulanık modellerin test edilmesinde kullanılan parametre değerleri

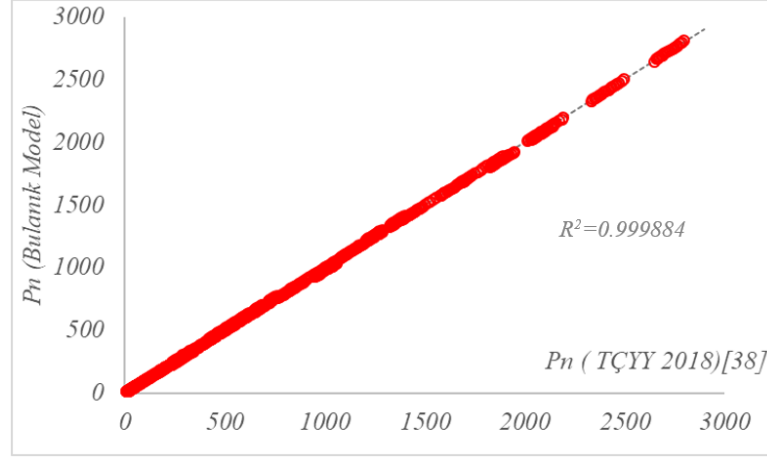
Parametreler	Değerler
<i>D</i> (mm)	55, 65, 75, 85, 95, 125, 175, 225, 275, 325, 375, 425, 475
<i>t</i> (mm)	3, 5, 7, 9
<i>L</i> (mm)	750, 1250, 1750, 2100, 2300, 2500, 2700, 2900, 3100, 3300, 3500, 3700, 3850, 3950, 4050, 4150, 4250, 4350, 4450

Oluşturulan bulanık mantık modellerinin test sonuçlarını değerlendirilebilmesi için *GKT* yöntemi ile test örneklerinin çözümlemeleri gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar ile bulanık modellerin çıktıkları arasında korelasyon ve yüzde hata hesaplamaları yapılmıştır. Yüzde hata hesaplamalarında Denklem (28)’de verilen eşitlik kullanılmıştır. Çekme dayanımı tahmini için geliştirilen modelde *GKT* yöntemi sonuçları ile bulanık model tahminleri arasında $R^2=0.999778$ ‘luk bir korelasyon olduğu belirlenmiş (Şekil 8) ve bulanık tahminlerdeki en büyük % hata $E_{y-max}=2.764$, en küçük % hata $E_{y-min}=-2.603$ ve ortalama yüzde hata $E_{y-ort} = -0.100$ olarak elde edilmiştir. Basınç dayanımı tahmini için geliştirilen modelde ise *GKT* yöntemi sonuçları ile bulanık model tahminleri arasında $R^2= 0.999884$ lük bir korelasyon olduğu belirlenmiş (Şekil 9) ve bulanık tahminlerdeki en büyük % hata $E_{y-max}= 4.927$, en küçük % hata $E_{y-min}=-3.761$ ve ortalama % hata $E_{y-ort}= 0.281$ olarak elde edilmiştir.

$$E_{y-max} = \frac{Dayanım^{Model} - Dayanım^{GKT}}{Dayanım^{GKT}} \times 100 \quad (28)$$



Şekil 8. Çekme dayanımı tahmini için oluşturulan bulanık mantık modeli ile *GKT* yöntemine göre hesaplanan çekme dayanımlarının dağılımları ve uyumları



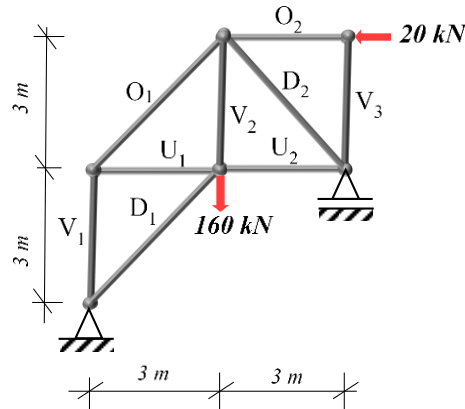
Şekil 9. Basınç dayanımı tahmini için oluşturulan bulanık mantık modeli ile GKT yöntemine göre hesaplanan basınç dayanımlarının dağılımları ve uyumları

3. BULANIK TERS MANTIK YÖNTEMİ İLE EKSENEL ÇEKME VE BASINÇ ETKİSİNDEKİ BORU KESİTLİ PROFİLLERİN TASARIMLARININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu çalışmada boru kesitli profiller ile oluşturulmuş Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12 de verilen 3 farklı basit düzlem izostatik kafes sistem çubuklarının (elemanlarının) tasarımları gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla bu üç örneğe ait veriler bu çalışmada geliştirilen iki bulanık model üzerine bulanık ters mantık yöntemi kullanılarak uygulanmıştır.

Bulanık ters mantık ile kafes sistem çubuk elemanlarının tasarımlara geçmeden önce kafes sistemleri oluşturan tüm çubuk elemanların boyları belirlenmiştir. Daha sonra kafes sistemlerin statik analizleri yapılarak her bir kafes elemana etkiyen basınç ve çekme kuvvetleri belirlenmiştir (Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5). Bulanık ters mantık yönteminde her bir çubuk eleman için boy ve eksenel kuvvet değeri (model hataları dikkate alınacak ve alınmayacak şekilde) bulanık ters mantık yöntemine girdi verisi olarak sunulmuş ve çubuk elemanın dış çapı ve et kalınlığı belirlenerek tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

1' nci kafes sistem örneği:

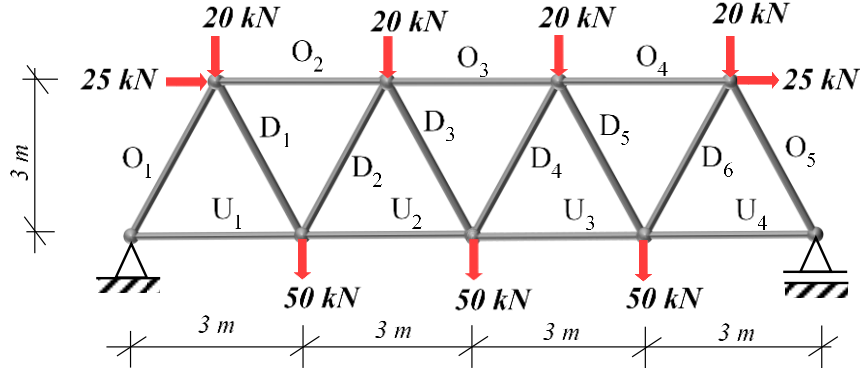


Şekil 10. Bulanık ters mantık yöntemi ile tasarımları gerçekleştirilen 1' nci kafes sistem

Tablo 3. 1'inci kafes sistem örneği için çubuk eleman boyları ve eksenel kuvvetler

Çubuk Adı	N (kN)	L (mm)	Çubuk Adı	N (kN)	L (mm)	Çubuk Adı	N (kN)	L (mm)
O ₁	-113.100	4242.641	U ₂	60.000	3000.000	V ₃	0.000	3000.000
O ₂	-20.000	3000.000	V ₁	-80.000	3000.000	D ₁	-28.300	4242.641
U ₁	80.000	3000.000	V ₂	140.000	3000.000	D ₂	-84.800	4242.641

2' nci kafes sistem örneği:

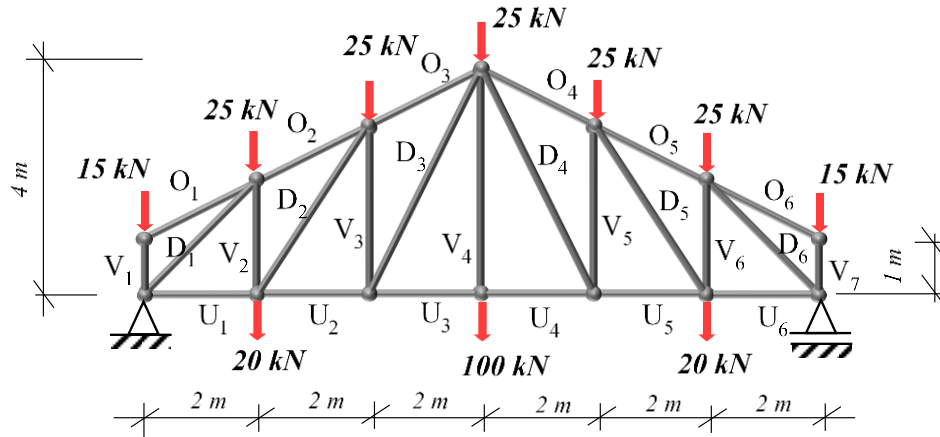


Şekil 11. Bulanık ters mantık yöntemi ile tasarımları gerçekleştirilen 2' nci kafes sistem

Tablo 4. 2'nci kafes sistem örneği için çubuk eleman boyları ve eksenel kuvvetler

Çubuk Adı	N (kN)	L (mm)	Çubuk Adı	N (kN)	L (mm)	Çubuk Adı	N (kN)	L (mm)
O ₁	-114.598	3354.102	U ₁	101.25	3000	D ₂	-36.336	3354.102
O ₂	-117.5	3000	U ₂	158.75	3000	D ₃	13.975	3354.102
O ₃	-140	3000	U ₃	146.25	3000	D ₄	41.926	3354.102
O ₄	-92.5	3000	U ₄	63.75	3000	D ₅	-64.287	3354.102
O ₅	-142.549	3354.102	D ₁	92.238	3354.102	D ₆	120.189	3354.102

3' ncü kafes sistem örneği:



Şekil 12. Bulanık ters mantık yöntemi ile tasarımları gerçekleştirilen 3' ncü kafes sistem

Tablo 5. 3'üncü kafes sistem örneği için çubuk eleman boyları ve eksenel kuvvetler

Çubuk Adı	N (kN)	L (mm)	Çubuk Adı	N (kN)	L (mm)	Çubuk Adı	N (kN)	L (mm)
O_1	1.421E-14	2236.068	U_2, U_5	146.67	2000	V_4	100	4000
O_2, O_5	-148.140	2236.068	U_3, U_6	141.25	2000	D_1, D_6	-187.383	2828.427
O_3, O_4	-163.978	2236.068	V_1, V_7	-15.00	1000	D_2, D_5	-25.539	3605.551
O_6	1.137E-14	2236.068	V_2, V_6	41.250	2000	D_3, D_4	12.112	4472.136
U_1, U_4	132.500	2000	V_3, V_5	-10.833	3000			

4. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bulanık ters mantık yönteminin uygulanması esnasında model hataları Tablo3, Tablo 4 ve Tablo 5 'de verilen çubuk kuvvetlerini artırıcı yönde olacak şekilde (29) numaralı denklem kullanılarak dikkate alınmıştır. Çekme etkisindeki çubuk elemanlar için hata $E_y=0.03$ (% 3), Basınç etkisindeki elemanlar için hata $E_y=0.05$ (% 5) alınmıştır. Çalışmada hem model hataları dikkate alınmadan, hem de dikkate alınarak gerçekleştirilen tasarımlar 1'nci, 2'nci ve 3'ncü kafes sistem örneği için Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8 de sırasıyla verilmişlerdir. Bu tablolarda, bulanık ters mantık yöntemi ile gerçekleştirilen boru kesitli çubuk eleman tasarımlarına ait alanlar ve talep/kapasite oranlarına da yer verilmektedir.

$$N_h = N \times (1 + E_y) \quad (29)$$

Kafes çubuk eleman tasarımlarının güvenilir olup olmadığı, taşınması talep edilen eksenel yükün, kesitin yük taşıma kapasitesine oranlanması ile elde edilen talep/kapasite oranı ile anlaşılabilir. Tablo 6, 7 ve 8 'de verilen bulanık model hataları dikkate alınmadan gerçekleştirilen tasarımlarda talep/kapasite oranlarının 1 'e çok yakın olduğu anlaşılabilir. Ancak burada model hataları dikkate alınmadan tasarımlar gerçekleştirildiği için bu tasarımların bir kısmında bu oranın çok az da olsa 1'den büyük değerler aldığı görülmektedir. Diğer taraftan bulanık model hatalarının dikkate alındığı tasarımlarda talep/kapasite oranları, 1'inci kafes sistemdeki U_1 çubuk elemanının tek bir tasarımı hariç diğer tüm kafes elemanlarında 1'den küçük ancak 1'e çok yakın değerler elde edilmiştir. 1'inci kafes sistemdeki U_1 çubuğunda ise bu oran 1.008 olarak elde edilmiştir. Proje uygulamalarında eleman ve sitem güvenliği açısından bulanık ters mantık yöntemi ile elde edilen çap ve kalınlık değerlerinin yukarı yönlü yuvarlatılarak seçilmesi gerçekleştirilmelidir. Yapılacak bu tür yukarı yönlü yuvarlatma işlemleri düşünüldüğünde talep ve kapasite oranlarının tüm kafes çubuk elemanları için daha düşük olacağı yani daha güvenilir tasarımların ortaya çıkacağı gerçektir. Yani, model hataları dikkate alınarak ve kesit çap ve kalınlığı seçimi için yukarı yuvarlatma işlemleri ile birlikte boru kesitli kafes sistem çubuk elemanlarının tasarımlarının bu çalışmada geliştirilen bulanık modeller yardımıyla gerçekleştirileceği ortadadır.

Burada belirtmek gerekmektedir ki talep/kapasite oranlarının 1'e çok yakın değerler olması elde edilen tasarımların optimum olduklarını göstermez. Optimum tasarımlar ancak bulanık ters mantık hesaplamalarının değişken girdi sayısı ile aynı boyutta (bu çalışmada 2 boyutlu) gerçekleştirilen hesaplamalarından elde edilen tasarımlar arasında aranabilir. Bu çalışmada 1 boyutlu bulanık ters mantık yöntemi kullanıldığından elde edilen tasarımların talep/kapasite oranları 1 'e eşit bile olsalar, bu tasarımların tümünün veya bu tasarımlardan birinin optimum tasarım olduğunu söylemek doğru olmaz.

Bulanık ters mantık yöntemi ile gerçekleştirilen tasarımlarda birden çok sayıda alternatif tasarımın elde edilmesi çap ve kalınlık seçiminde tasarımcı için bir sorun gibi gözükse de ekonomik tasarımlar için kesit alanı hesaplamaları ile tasarım seçimi kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Örnek olarak Tablo 6, 7 ve 8 'de elde

edilen her bir tasarıma ait alanlar hesaplanarak verilmiştir. Kesit alanı en küçük olan tasarımlar 1 boyutlu bulanık mantık yöntemi ile gerçekleştirilen tasarımların en ekonomidir ancak optimum kesit değildirlir.

Tablo 6. 1'inci kafes sistem için bulanık ters mantık tasarımları

Çubuk Adı	(Eksenel kuvvet=N için)				(Eksenel kuvvet=N.(1+Ey) için)			
	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite
O ₁	88.882	10.000	2478.151	1.003	94.328	8.000	2169.656	0.963
	99.933	6.000	1770.604	1.002	90.279	10.000	2522.049	0.952
	92.956	8.000	2135.165	1.011	112.555	4.000	1364.141	0.977
	90.000	9.481	2398.237	0.997	101.190	6.000	1794.280	0.963
	148.947	2.000	923.296	0.998	100.000	6.378	1875.819	0.951
	110.719	4.000	1341.068	1.027	153.330	2.000	950.833	0.950
	100.000	5.987	1768.295	1.001	150.000	2.069	961.699	0.944
O ₂	51.586	4.000	597.987	1.019	52.282	4.000	606.726	0.975
	50.000	4.780	679.091	0.989	50.000	5.122	722.185	0.943
	62.242	2.000	378.513	1.010	63.167	2.000	384.325	0.965
	60.000	2.334	422.801	0.986	60.000	2.472	446.683	0.938
U ₁	50.000	2.414	360.929	1.043	50.000	2.501	373.244	1.008
	61.896	2.000	376.338	1.000	63.693	2.000	387.628	0.971
	60.000	2.068	376.324	1.000	60.000	2.132	387.574	0.971
U ₂	50.000	2.000	301.593	0.936	50.000	2.000	153.938	0.936
V ₁	67.910	8.000	1505.709	1.010	69.043	8.000	1534.166	0.956
	65.122	10.000	1731.706	1.022	66.083	10.000	1761.893	0.972
	72.144	6.000	1246.781	1.010	73.168	6.000	1266.088	0.965
	70.000	7.063	1396.477	0.992	70.000	7.571	1484.803	0.946
	80.205	4.000	957.619	0.997	81.485	4.000	973.707	0.951
	80.000	4.041	964.286	0.996	80.000	4.296	1021.792	0.946
	90.000	2.827	774.165	0.991	90.000	2.980	814.722	0.944
	103.865	2.000	640.037	0.991	106.607	2.000	657.265	0.939
	100.000	2.166	665.647	0.996	100.000	2.283	700.939	0.947

Tablo 6. (devam) 1'inci kafes sistem için bulanık ters mantık tasarımları

Çubuk Adı	(Eksenel kuvvet=N için)				(Eksenel kuvvet=N.(1+Ey) için)			
	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite
V ₂	55.696	4.000	649.631	1.014	57.170	4.000	668.154	0.986
	50.000	4.640	661.155	0.996	50.000	4.805	682.241	0.965
	60.000	3.672	649.808	1.014	60.000	3.784	668.346	0.985
	70.000	3.175	666.559	0.988	70.000	3.275	686.595	0.959
	80.000	2.706	657.027	1.002	80.000	2.788	676.396	0.974
	90.000	2.412	663.720	0.992	90.000	2.481	682.131	0.965
	104.790	2.000	645.849	1.020	108.418	2.000	668.647	0.985
	100.000	2.096	644.617	1.022	100.000	2.168	666.442	0.988
V ₃	50.000	2.000	301.593	0.000	50.000	2.000	301.593	0.000
D ₁	59.235	10.000	1546.751	1.007	65.651	6.000	1124.401	0.973
	64.660	6.000	1105.707	1.023	62.111	8.000	1359.967	0.966
	61.323	8.000	1340.160	1.009	60.170	10.000	1576.151	0.953
	60.000	9.382	1491.916	0.994	72.628	4.000	862.402	0.965
	71.593	4.000	849.403	1.009	70.000	4.734	970.591	0.946
	70.000	4.445	915.407	0.995	88.813	2.000	545.463	0.956
	87.305	2.000	535.986	1.007	80.000	2.901	702.663	0.940
	80.000	2.747	666.644	0.987				
D ₂	85.040	8.000	1936.229	1.014	86.345	8.000	1969.014	0.965
	81.474	10.000	2245.407	1.007	82.583	10.000	2280.278	0.962
	91.139	6.000	1604.830	1.008	92.457	6.000	1629.667	0.962
	90.000	6.370	1673.705	1.001	90.000	6.799	1777.152	0.951
	129.257	2.000	799.578	0.976	132.207	2.000	818.114	0.933
	101.530	4.000	1225.597	1.009	102.907	4.000	1242.897	0.967
	100.000	4.284	1288.095	0.996	100.000	4.539	1361.201	0.948

Tablo 7. 2'nci kafes sistem için bulanık ters mantık tasarımları

Çubuk Adı	(Eksenel kuvvet= N için)				(Eksenel kuvvet= $N.(1+Ey)$ için)			
	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite
O ₁	77.364	10.000	2116.300	1.014	78.601	10.000	2155.167	0.961
	86.366	6.000	1514.862	1.011	87.779	6.000	1541.489	0.960
	81.000	8.000	1834.692	1.006	82.102	8.000	1862.396	0.962
	80.000	8.597	1928.529	0.997	80.000	9.256	2057.063	0.950
	97.261	4.000	1171.956	1.001	99.112	4.000	1195.212	0.953
	90.000	5.208	1387.307	0.994	90.000	5.516	1463.984	0.948
	133.875	2.000	828.593	0.974	137.754	2.000	852.970	0.934
	100.000	3.710	1122.335	0.996	100.000	3.906	1179.180	0.951
O ₂	76.119	8.000	1712.010	1.013	77.312	8.000	1742.008	0.962
	72.946	10.000	1977.494	1.016	73.952	10.000	2009.114	0.970
	81.483	6.000	1422.822	1.000	82.761	6.000	1446.902	0.953
	80.000	6.526	1506.402	0.996	80.000	6.979	1601.082	0.947
	92.168	4.000	1107.956	1.000	94.016	4.000	1131.169	0.953
	90.000	4.299	1157.557	0.997	90.000	4.554	1222.583	0.948
	129.571	2.000	801.550	0.965	133.598	2.000	826.854	0.926
	100.000	3.268	993.094	0.993	100.000	3.441	1043.702	0.946
O ₃	76.800	10.000	2098.594	1.016	78.000	10.000	2136.269	0.964
	86.375	6.000	1515.042	1.001	87.898	6.000	1543.733	0.953
	80.561	8.000	1823.649	1.001	81.717	8.000	1852.698	0.955
	80.000	8.308	1871.125	0.998	80.000	8.942	1996.164	0.950
	99.243	4.000	1196.856	0.999	90.000	5.580	1479.941	0.949
	90.000	5.276	1404.376	0.995	149.792	2.000	928.607	0.954
	144.994	2.000	898.458	0.993	101.438	4.000	1224.444	0.951
	100.000	3.929	1185.898	0.998	100.000	4.148	1249.179	0.950
O ₄	68.125	10.000	1826.040	1.011	69.236	10.000	1860.944	0.957
	75.345	6.000	1307.117	1.015	76.529	6.000	1329.441	0.965
	71.040	8.000	1584.360	1.004	71.979	8.000	1607.975	0.961
	70.000	8.792	1690.606	0.994	70.000	9.508	1806.853	0.948
	84.206	4.000	1007.894	1.000	85.686	4.000	1026.496	0.953
	80.000	4.839	1142.632	0.991	80.000	5.134	1207.605	0.945
	90.000	3.306	900.416	0.993	90.000	3.483	946.763	0.947
	112.434	2.000	693.875	0.978	115.604	2.000	713.795	0.928
100.000	2.533	775.644	0.992	100.000	2.669	816.128	0.944	

Tablo 7 (Devam). 2'nci kafes sistem için bulanık ters mantık tasarımları

Çubuk Adı	(Eksenel kuvvet= N için)				(Eksenel kuvvet= $N.(1+Ey)$ için)			
	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite
O ₅	86.377	8.000	1969.834	1.012	87.748	8.000	2004.295	0.961
	82.535	10.000	2278.758	1.013	83.683	10.000	2314.817	0.967
	92.851	6.000	1637.098	1.001	94.389	6.000	1666.091	0.954
	90.000	6.825	1783.279	0.996	90.000	7.269	1889.369	0.950
	106.056	4.000	1282.468	1.001	108.272	4.000	1310.323	0.953
	100.000	4.740	1418.632	0.995	100.000	5.011	1495.468	0.948
	153.600	2.000	952.532	1.007	159.806	2.000	991.521	0.950
	150.000	2.057	955.984	0.995	150.000	2.155	1000.876	0.881
U ₁	50.000	3.184	468.314	1.017	50.000	3.294	483.362	0.985
	60.000	2.636	475.032	1.003	60.000	2.717	488.978	0.974
	77.806	2.000	476.303	1.000	70.000	2.322	493.638	0.965
	70.000	2.249	478.717	0.995	80.101	2.000	490.721	0.971
U ₂	50.000	5.378	753.959	0.990	50.000	5.566	776.983	0.961
	62.914	4.000	740.332	1.009	65.053	4.000	767.214	0.973
	60.000	4.208	737.580	1.012	60.000	4.361	762.269	0.980
	70.000	3.623	755.516	0.988	70.000	3.737	777.908	0.960
	80.000	3.075	743.164	1.005	80.000	3.169	764.904	0.976
	90.000	2.719	745.681	1.001	90.000	2.798	766.402	0.974
	120.988	2.000	747.623	0.999	125.102	2.000	773.471	0.966
	100.000	2.420	741.795	1.007	100.000	2.502	766.371	0.974
U ₃	57.889	4.000	677.195	1.016	59.429	4.000	696.547	0.988
	50.000	4.886	692.471	0.994	50.000	5.059	714.229	0.963
	60.000	3.839	677.366	1.016	60.000	3.957	696.609	0.988
	70.000	3.324	696.352	0.988	70.000	3.429	717.185	0.959

	80.000	2.829	685.835	1.003	80.000	2.915	706.003	0.974
	90.000	2.515	691.106	0.995	90.000	2.586	710.294	0.969
	110.189	2.000	679.774	1.012	113.980	2.000	703.592	0.978
	100.000	2.204	677.083	1.016	100.000	2.280	699.833	0.983
<i>U₄</i>	50.000	2.000	301.593	0.994	50.000	2.000	301.593	0.994
<i>D₁</i>	50.000	2.846	421.595	1.029	50.000	2.947	435.616	0.998
	60.000	2.393	433.150	1.002	60.000	2.467	445.917	0.975
	71.059	2.000	433.908	1.000	73.130	2.000	446.925	0.972
	70.000	2.034	434.275	0.999	70.000	2.100	447.988	0.970
<i>D₂</i>	57.232	8.000	1237.327	1.025	58.168	8.000	1260.870	0.969
	55.188	10.000	1419.609	1.038	55.994	10.000	1444.959	0.985
	66.579	4.000	786.392	1.020	67.687	4.000	800.318	0.968
	60.632	6.000	1029.794	1.014	61.439	6.000	1045.003	0.971
	60.000	6.419	1080.536	1.003	60.000	6.954	1158.892	0.951
	70.000	3.414	714.086	0.994	70.000	3.604	751.672	0.949
	81.289	2.000	498.186	1.007	82.549	2.000	506.104	0.960
80.000	2.127	520.265	0.999	80.000	2.250	549.677	0.949	
<i>D₃</i>	50.000	2.000	301.593	0.218	50.000	2.000	301.593	0.218
<i>D₄</i>	50.000	2.000	301.593	0.654	50.000	2.000	301.593	0.654
<i>D₅</i>	67.830	8.000	1503.702	1.019	68.945	8.000	1531.714	0.964
	65.137	10.000	1732.166	1.026	66.101	10.000	1762.470	0.975
	72.188	6.000	1247.608	1.013	73.213	6.000	1266.937	0.967
	70.000	7.046	1393.493	0.998	70.000	7.536	1478.838	0.953
	80.162	4.000	957.081	1.003	81.298	4.000	971.360	0.959
	80.000	4.037	963.352	1.001	80.000	4.294	1021.373	0.950
	99.821	2.000	614.627	0.998	90.000	2.861	783.214	0.941
	90.000	2.712	743.764	0.988	101.986	2.000	628.233	0.948
					100.000	2.100	645.965	0.949
	<i>D₆</i>	50.000	3.866	560.285	1.009	50.000	3.997	577.702
60.000		3.138	560.542	1.009	60.000	3.234	576.724	0.980
70.000		2.703	571.531	0.989	70.000	2.790	589.034	0.960
80.000		2.315	564.868	1.001	80.000	2.385	581.627	0.972
92.770		2.000	570.328	0.991	94.549	2.000	581.503	0.972
90.000		2.091	577.557	0.979	90.000	2.150	593.346	0.953

Tablo 8. 3'üncü kafes sistem için bulanık ters mantık tasarımları

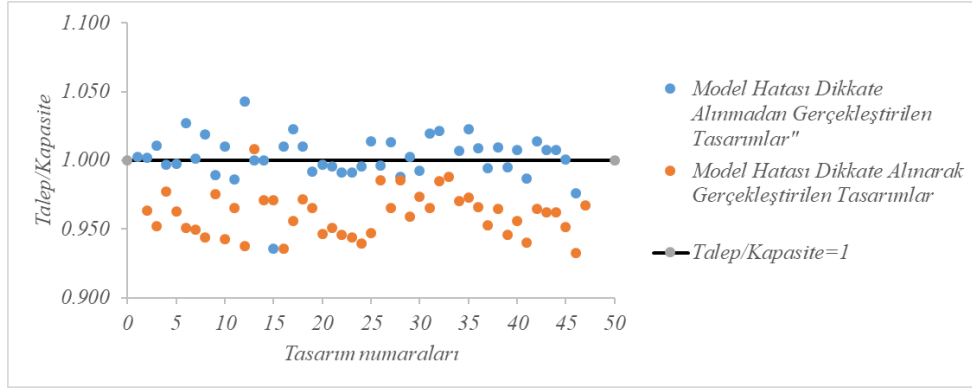
Çubuk Adı	(Eksenel kuvvet=N için)				(Eksenel kuvvet=N.(I+Ey) için)			
	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite
<i>O₁</i>	50.000	2.000	301.593	0.000	50.000	2.000	301.593	0.000
<i>O₂, O₅</i>	69.111	8.000	1535.897	1.002	66.892	10.000	1787.320	0.961
	65.861	10.000	1754.929	1.011	76.661	6.000	1331.931	0.952
	75.097	6.000	1302.447	1.001	70.338	8.000	1566.717	0.953
	70.000	7.642	1497.038	0.998	70.000	8.175	1587.795	0.952
	88.579	4.000	1062.848	0.998	80.000	5.379	1261.019	0.946
	80.000	5.088	1197.482	0.993	90.870	4.000	1091.637	0.951
	90.000	3.874	1048.316	0.997	90.000	4.084	1102.331	0.950
	138.644	2.000	858.558	0.978	144.080	2.000	892.713	0.940
100.000	3.175	965.798	0.995	100.000	3.340	1014.342	0.948	
<i>O₃, O₄</i>	68.066	10.000	1824.188	1.007	69.207	10.000	1860.042	0.956
	78.442	6.000	1365.491	0.999	72.963	8.000	1632.710	0.954
	71.669	8.000	1600.174	1.002	70.000	9.534	1811.117	0.951
	70.000	8.864	1702.466	0.997	80.169	6.000	1398.057	0.950
	80.000	5.710	1332.694	0.996	80.000	6.036	1402.573	0.950
	93.474	4.000	1124.359	0.999	96.006	4.000	1156.181	0.952
	90.000	4.336	1166.809	0.995	90.000	4.580	1229.131	0.947
	100.000	3.528	1069.388	0.996	100.000	3.711	1122.705	0.950
	150.352	2.000	932.124	0.997	158.289	2.000	981.993	0.948
	150.000	2.004	931.820	0.997	150.000	2.098	974.793	0.946
<i>O₆</i>	50.000	2.000	301.593	0.000	50.000	2.000	301.593	0.000
<i>U₁, U₄</i>	53.064	4.000	616.554	1.011	54.459	4.000	634.085	0.983
	50.000	4.344	623.072	1.000	50.000	4.501	643.324	0.969
	60.000	3.472	616.507	1.011	60.000	3.578	634.188	0.983
	70.000	2.996	630.623	0.988	70.000	3.091	649.694	0.959

	80.000	2.558	622.332	1.002	80.000	2.636	640.737	0.973
	99.002	2.000	609.481	1.023	90.000	2.354	648.245	0.962
	90.000	2.289	630.769	0.988	101.745	2.000	626.716	0.995
					100.000	2.035	626.273	0.995
	58.037	4.000	679.047	1.016	59.581	4.000	698.452	0.988
	50.000	4.902	694.561	0.993	50.000	5.076	716.361	0.963
	60.000	3.850	679.212	1.016	60.000	3.968	698.499	0.988
	70.000	3.334	698.349	0.988	70.000	3.440	719.232	0.959
U_2, U_5	80.000	2.837	687.767	1.003	80.000	2.924	707.986	0.975
	90.000	2.521	692.944	0.996	90.000	2.594	712.182	0.969
	110.552	2.000	682.054	1.012	114.353	2.000	705.937	0.977
	100.000	2.211	679.262	1.016	100.000	2.287	702.071	0.983
	56.135	4.000	655.144	1.014	57.622	4.000	673.834	0.986
	50.000	4.689	667.448	0.996	50.000	4.856	688.673	0.965
	60.000	3.705	655.334	1.014	60.000	3.819	674.016	0.986
	70.000	3.205	672.529	0.988	70.000	3.306	692.727	0.959
U_3, U_6	80.000	2.730	662.796	1.003	80.000	2.814	682.327	0.974
	90.000	2.433	669.203	0.993	90.000	2.502	687.771	0.966
	105.870	2.000	652.634	1.018	109.531	2.000	675.638	0.983
	100.000	2.117	651.116	1.021	100.000	2.191	673.128	0.987
V_1, V_7	50.000	2.000	301.593	0.304	50.000	2.000	153.938	0.304
V_2, V_6	50.000	2.000	301.593	0.643	50.000	2.000	153.938	0.643
	50.916	2.000	307.350	1.021	51.646	2.000	311.934	0.977
V_3, V_5	50.000	2.180	327.474	1.003	50.000	2.323	347.938	0.949
	50.000	3.139	462.101	1.018	50.000	3.248	476.992	0.986
	60.000	2.603	469.282	1.002	60.000	2.683	483.071	0.974
V_4	76.870	2.000	470.423	1.000	79.116	2.000	484.535	0.971
	70.000	2.219	472.568	0.995	70.000	2.291	487.316	0.975
	85.472	8.000	1947.094	1.002	86.993	8.000	1985.310	0.953
	81.215	10.000	2237.273	1.000	82.437	10.000	2275.688	0.954
	93.522	6.000	1649.750	0.999	95.458	6.000	1686.242	0.952
D_1, D_6	90.000	6.759	1767.428	0.995	90.000	7.175	1867.066	0.948
	111.008	4.000	1344.705	0.998	113.963	4.000	1381.832	0.950
	100.000	5.054	1507.430	0.996	100.000	5.336	1587.043	0.949
	183.407	2.000	1139.812	0.995	191.827	2.000	1192.720	0.949
	150.000	2.462	1141.264	0.964	150.000	2.579	1194.327	0.921

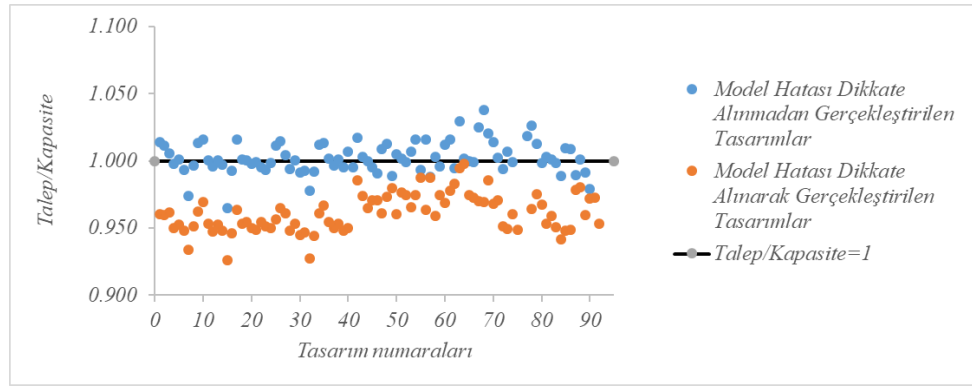
Tablo 8. (Devam). 3'üncü kafes sistem için bulanık ters mantık tasarımları

Çubuk Adı	(Eksenel kuvvet=N için)				(Eksenel kuvvet=N.(1+Ey) için)			
	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite	D (mm)	t (mm)	Alan (mm ²)	Talep Kapasite
	56.653	6.000	954.781	1.031	57.574	6.000	972.141	0.978
	53.726	8.000	1149.222	1.035	54.498	8.000	1168.625	0.985
	52.187	10.000	1325.338	1.028	52.844	10.000	1345.972	0.984
D_2, D_5	62.369	4.000	733.484	1.021	63.283	4.000	744.969	0.974
	60.000	4.833	837.547	0.998	60.000	5.154	888.016	0.951
	75.907	2.000	464.371	1.009	77.178	2.000	472.359	0.959
	70.000	2.715	573.920	0.985	70.000	2.869	605.061	0.938
D_3, D_4	50.000	2.000	301.593	0.189	50.000	2.000	301.593	0.189

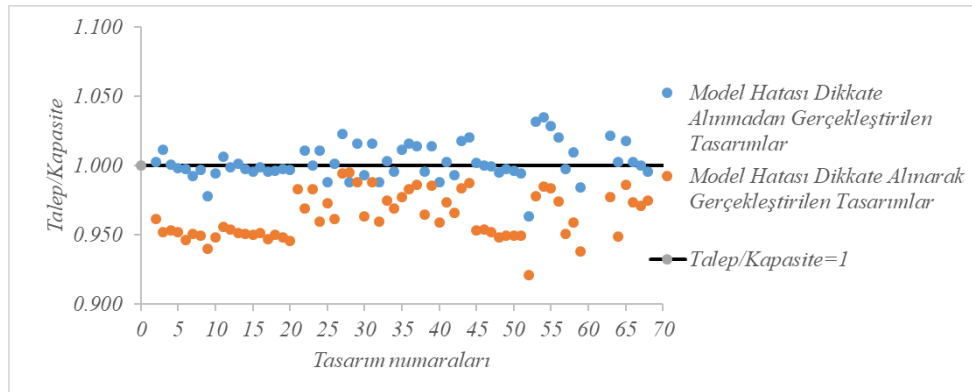
1'inci kafes sistem örneği için, Tablo 6 'da model hatalarının dikkate alınarak ve alınmadan gerçekleştirilen bulanık ters mantık tasarımlarına ait kapasite/tasarım oranlarına ait dağılımlar Şekil 13 de daha açık bir şekilde görülmektedir. Bu Şekilde V_3 çubuğuna ait dağılım verisine yer verilmemiştir. Çünkü V_3 çubuğundaki eksenel kuvvet değeri sıfırdır ve minimum kesit boyutlarına sahip boru profillerin kullanılması ile bu çubuğun tasarımı gerçekleştirilir. Bu çubuktaki eksenel kuvvetin kullanılan bulanık mantık modelindeki değişken değer aralığı sınırlarının dışında olması nedeniyle bulanık ters mantık yöntemiyle de bir tasarım edilmesi söz konusu değildir. 1'inci kafes sistem örneğine benzer olarak 2 ve 3'üncü örnek kafes sistem elemanları için gerçekleştirilen talep/kapasite dağılımları Şekil 14 ve Şekil 15 'de verilmektedir. Bu şekillerde 1'inci kafes sistem örneğindeki ile aynı sebeplerle 2'nci kafes sistem örneği için Şekil 14 'de U_4, D_3 ve D_4 çubuklarına, 3'üncü kafes sistem örneği için Şekil 15 de $O_1, O_6, V_1, V_2, V_6, V_7, D_3$ ve D_4 çubuklarına ait birer tasarım verisine yer verilmemiştir.



Şekil 13. 1'inci Kafes sistem örneği çubuk eleman tasarımları için talep/kapasite dağılımı



Şekil 14. 2'nci Kafes sistem örneği çubuk eleman tasarımları için talep/kapasite dağılımı



Şekil 15. 3'üncü kafes sistem örneği çubuk eleman tasarımları için talep/kapasite dağılımı

Burada belirtmek gerekir ki, boru kesitli profiller çift simetri eksenine sahip olduklarından bu çalışmada geliştirilen bulanık modeller 1 boyutlu bulanık ters mantık yöntemiyle birlikte, bu tür profiller ile teşkil edilmiş hem düzlem hem de uzay kafes sistem çubuklarının aksenal kuvvet dayanımı tahmininde ve tasarımında kullanılabilirler.

Bu çalışmadaki örnek problemlerin girdi verilerinde herhangi bir sınırlama yapılmadan tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Oysa bir kafes sistem elemanının tasarımında çap ve kalınlık değişkenlerinden biri

zorunlu olarak sabit tutulması gerekebilir. Bulanık ters mantık yönteminin bu tür konstrüktif, mimari vb. kısıtlamalar ile de başarıyla sonuçlar ürettiğini belirtmekte fayda vardır.

Bu çalışmada 2018 Türk Çelik Yapılar yönetmeliğine göre çekme kuvveti etkisindeki elemanları için eleman boyunun atalet yarıçapına oranı $L/i \leq 300$ koşulu da dikkate alınmış ancak basınç kuvveti etkisindeki elemanlar için eleman boyunun atalet yarıçapına oranı $L/i \leq 200$ koşulu veri datasını sınırlandırdığından ve dolayısıyla kapsamlı bir bulanık mantık modelinin geliştirilmesine engel teşkil ettiğinden dikkate alınmamıştır. Bu nedenle, çalışmanın tasarımlarda kullanılması durumunda narinlik kriterlerinin sağlanıp sağlanmadığı, özellikle basınç çubuklarında $L/i \leq 200$ narinlik koşulunun gerçekleştirilen tasarımlardan sonra mutlaka kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunlara ilaveten 2018 Türk Çelik Yapılar yönetmeliğine göre boru en kesitli elemanların kesit hesaplarında tasarım et kalınlığı tozaltı ark kaynağının kullanılması durumunda nominal et kalınlığına, elektrik direnç kaynağı kullanılması durumunda nominal et kalınlığının 0.93 katına eşit olarak alınması gerektiğinden, bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modellerinin ve hesaplamaların tozaltı ark kaynağı kullanılması durumunda kullanılabilirliğini belirtmekte fayda vardır. Elektrik direnç kaynağı kullanılması durumunda bu çalışmada verilen bulanık mantık modellerinin revize edilerek bulanık ters mantık yöntemiyle birlikte tasarım ve hesaplamalarda kullanılması mümkündür.

5.SONUÇLAR

Bu çalışmadan çıkarılabilecek sonuç ve önerilerden bazıları aşağıda sıralanmıştır.

Çelik boru profiller ile teşkil edilmiş kafes sistemlerin çekme kuvveti etkisindeki çubuk elemanlarının 64.111 kN ile 3272.336 kN arasındaki dayanımlarının tahmininin bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modeli ile maksimum yüzde $E_{y-max} = 2.764$ hata ile gerçekleştirilebileceği ortaya konulmuştur.

Çelik boru profiller ile teşkil edilmiş kafes sistemlerin basınç kuvveti etkisindeki çubuk elemanlarının 4.454 kN ile 3270.285 kN arasındaki dayanımlarının tahmininin bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modeli ile maksimum yüzde $E_{y-max} = 4.927$ hata ile gerçekleştirilebileceği ortaya konulmuştur.

Çelik boru profiller ile teşkil edilmiş kafes sistemlerin 64.111 kN ile 3272.336 kN arasında çekme kuvvetine maruz çubuk elemanların tasarımlarının, bir boyutlu bulanık ters mantık yönteminin bu çalışmada çekme dayanımı tahmini için geliştirilen bulanık mantık modeli ile birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilebileceği kanıtlanmıştır. Bulanık ters mantık hesaplamalarında kullanılan bulanık mantık modelinin hatasının da dikkate alınmasıyla çekme çubukları için emniyetli tasarımların gerçekleştirilebileceği ortaya konulmuştur.

Çelik boru profiller ile teşkil edilmiş kafes sistemlerin 4.454 kN ile 3270.285 kN arasında basınç kuvvetine maruz çubuk elemanların tasarımlarının, bir boyutlu bulanık ters mantık yönteminin bu çalışmada basınç dayanımı tahmini için geliştirilen bulanık mantık modeli ile birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilebileceği kanıtlanmıştır. Bulanık ters mantık hesaplamalarında kullanılan bulanık mantık modelinin hatasının da dikkate alınmasıyla basınç çubukları için emniyetli tasarımların gerçekleştirilebileceği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modelleri gerek bu halleriyle gerekse daha da geliştirilerek yapay zeka tabanlı tasarım ve dayanım hesaplamaları yapabilen paket programlara entegre edilerek güvenle kullanılabilirler.

Bulanık mantık ve bulanık ters mantık yöntemlerinin, aynı sayısal veriler üzerinde birlikte kullanımlarıyla hem tahminlerde hem de tasarımlarda güçlü ve alternatif yöntemler olduğu bu çalışmada başarıyla sunulmuştur.

REFERANSLAR

- [1] Chandwani, V., Agrawal, V., & Nagar, R. (2013). Applications of soft computing in civil engineering: a review. *International Journal of Computer Applications*, 81(10).
- [2] Armaghani, D. J., Hatzigeorgiou, G. D., Karamani, C., Skentou, A., Zoumpoulaki, I., & Asteris, P. G. (2019). Soft computing-based techniques for concrete beams shear strength. *Procedia Structural Integrity*, 17, 924-933.
- [3] Naderpour, H., Nagai, K., Haji, M., & Mirrashid, M. (2019). Adaptive neuro-fuzzy inference modelling and sensitivity analysis for capacity estimation of fiber reinforced polymer-strengthened circular reinforced concrete columns. *Expert Systems*, 36(4), e12410.
- [4] Uzunoğlu, M., & Kap, T. (2012). Prediction of concrete compressive strength in buildings that would be reinforced by fuzzy logic. *International Journal of Physical Sciences*, 7(31), 5193-5201.
- [5] Tekeli, H., Korkmaz, K. A., Demir, F., & Carhoglu, A. I. (2014). Comparison of critical column buckling load in regression, fuzzy logic and ANN based estimations. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 26(3), 1077-1087.
- [6] Mirrashid, M., & Naderpour, H. (2020). Recent trends in prediction of concrete elements behavior using soft computing (2010–2020). *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-21.
- [7] Garzón-Roca, J., Marco, C. O., & Adam, J. M. (2013). Compressive strength of masonry made of clay bricks and cement mortar: Estimation based on Neural Networks and Fuzzy Logic. *Engineering Structures*, 48, 21-27.
- [8] Ozkul, S., Ayoub, A., & Altunkaynak, A. (2014). Fuzzy-logic based inelastic displacement ratios of degrading RC structures. *Engineering structures*, 75, 590-603.
- [9] Doran, B., Yetilmezsoy, K., & Murtazaoglu, S. (2015). Application of fuzzy logic approach in predicting the lateral confinement coefficient for RC columns wrapped with CFRP. *Engineering Structures*, 88, 74-91.
- [10] Naderpour, H., & Alavi, S. A. (2017). A proposed model to estimate shear contribution of FRP in strengthened RC beams in terms of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Composite Structures*, 170, 215-227.
- [11] Golafshani, E. M., Rahai, A., Sebt, M. H., & Akbarpour, H. (2012). Prediction of bond strength of spliced steel bars in concrete using artificial neural network and fuzzy logic. *Construction and building materials*, 36, 411-418.
- [12] Ud Darain, K. M., Jumaat, M. Z., Hossain, M. A., Hosen, M. A., Obaydullah, M., Huda, M. N., & Hossain, I. (2015). Automated serviceability prediction of NSM strengthened structure using a fuzzy logic expert system. *Expert systems with applications*, 42(1), 376-389.
- [13] Amani, J., & Moeini, R. (2012). Prediction of shear strength of reinforced concrete beams using adaptive neuro-fuzzy inference system and artificial neural network. *Scientia Iranica*, 19(2), 242-248.
- [14] De Iuliis, M., Kammouh, O., Cimellaro, G. P., & Tesfamariam, S. (2019). Downtime estimation of building structures using fuzzy logic. *International journal of disaster risk reduction*, 34, 196-208.

- [15] Cao, Y., Fan, Q., Azar, S. M., Alyousef, R., Yousif, S. T., Wakil, K., ... & Alaskar, A. (2020, October). Computational parameter identification of strongest influence on the shear resistance of reinforced concrete beams by fiber reinforcement polymer. In *Structures* (Vol. 27, pp. 118-127). Elsevier.
- [16] Allali, S. A., Abed, M., & Mebarki, A. (2018). Post-earthquake assessment of buildings damage using fuzzy logic. *Engineering Structures*, 166, 117-127.
- [17] Cao, Y., Zandi, Y., Rahimi, A., Petković, D., Denić, N., Stojanović, J., ... & Assilzadeh, H. (2021, December). Evaluation and monitoring of impact resistance of fiber reinforced concrete by adaptive neuro fuzzy algorithm. In *Structures* (Vol. 34, pp. 3750-3756). Elsevier.
- [18] Şen, Z. (2010). Rapid visual earthquake hazard evaluation of existing buildings by fuzzy logic modeling. *Expert systems with Applications*, 37(8), 5653-5660.
- [19] Şen, Z. (2011). Supervised fuzzy logic modeling for building earthquake hazard assessment. *Expert systems with applications*, 38(12), 14564-14573.
- [20] Harirchian, E., & Lahmer, T. (2020, December). Developing a hierarchical type-2 fuzzy logic model to improve rapid evaluation of earthquake hazard safety of existing buildings. In *Structures* (Vol. 28, pp. 1384-1399). Elsevier.
- [21] Choi, S. K., Tareen, N., Kim, J., Park, S., & Park, I. (2018). Real-time strength monitoring for concrete structures using EMI technique incorporating with fuzzy logic. *Applied Sciences*, 8(1), 75.
- [22] Chao, C. J., & Cheng, F. P. (1998). Fuzzy pattern recognition model for diagnosing cracks in RC structures. *Journal of computing in civil engineering*, 12(2), 111-119.
- [23] Elenas, A., Vrochidou, E., Alvanitopoulos, P., & Andreadis, I. (2013). Classification of seismic damages in buildings using fuzzy logic procedures. In *Computational Methods in Stochastic Dynamics* (pp. 335-344). Springer, Dordrecht.
- [24] Cukaric, A., Camagic, I., Dutina, V., Milkic, Z., & Jovic, S. (2019). Parameters ranking based on influence on dynamical strength of ultra-high performance concrete by neuro fuzzy logic. *Struct Concr*, 433, 1-7.
- [25] Govardhan, P., Kalapatapu, P., & Pasupuleti, V. D. K. (2021, August). Identification of Multiple Cracks on Beam using Fuzzy Logic. In *2021 International Conference on Emerging Techniques in Computational Intelligence (ICETCI)* (pp. 165-169). IEEE.
- [26] Khoshnoudian, F., & Molavi-Tabrizi, A. (2012). Responses of isolated building with MR Dampers and Fuzzy Logic. *International Journal of Civil Engineering*, 10(3).
- [27] Zabihi-Samani, M., & Ghanooni-Bagha, M. (2019). Optimal semi-active structural control with a wavelet-based cuckoo-search fuzzy logic controller. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 43(4), 619-634.
- [28] Elbeltagi, E., Hosny, O. A., Elhakeem, A., Abd-Elrazek, M. E., & Abdullah, A. (2011). Selection of slab formwork system using fuzzy logic. *Construction Management and Economics*, 29(7), 659-670.
- [29] Sung, Y. C., & Su, C. K. (2010). Fuzzy genetic optimization on performance-based seismic design of reinforced concrete bridge piers with single-column type. *Optimization and Engineering*, 11(3), 471-496.

- [30] Zadeh, L. A. (1965). Information and control. Fuzzy Sets, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- [31] Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics, (1), 28-44. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575>
- [32] Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. Information Sciences, 9(1), 43-80. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)
- [33] Mamdani, E. H. and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies, 7(1), 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2)
- [34] Mamdani, E. H. (1976). Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. International Journal of Man-Machine Studies, 8(6), 669-678. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(76\)80028-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(76)80028-4)
- [35] Öztekin, E. (2021). Fuzzy inverse logic: part-1. introduction and bases. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi , 11 (3) , 675-691 . DOI: 10.17714/gumusfenbil.894674
- [36] Öztekin, E. (2021). Fuzzy inverse logic: part-2. validation and evaluation of the method. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi , 11 (3) , 768-791 . DOI: 10.17714/gumusfenbil.894879
- [37] Dong, W. M., & Wong, F. S. (1987). Fuzzy weighted averages and implementation of the extension principle. Fuzzy sets and systems, 21(2), 183-199.
- [38] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 2018. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara