

PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi  
**APPLICATION OF ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM TO  
SUPPLIER SELECTION PROBLEM**

Atakan YÜCEL\*<sup>1</sup>, Ali Fuat GÜNERİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız-İSTANBUL

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Received/Geliş: 18.05.2010 Accepted/Kabul: 16.08.2010

---

**ABSTRACT**

Supplier selection is a key factor for firms in achieving its goals in supply chain management. To build effective relationships and gain competitive advantage, firms should select best supplier(s) according to its needs by applying proper methods and appropriate criteria. Supplier selection problem includes tangible and intangible factors such as quality, cost, relationship closeness and delivery in practice. This issue makes the problem as a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) problem. In this paper, an approach that based on neural network and fuzzy logic named as Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) is presented for supplier selection problem. The proposed model takes the learning advantage of neural networks and integrates this with fuzzy logic that represents human reasoning mechanism effectively. The basics of ANFIS are illustrated and an algorithm based on the method is proposed for supplier selection problems in the paper.

**Keywords:** Supplier Selection, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System.

**TEDARİKÇİ SEÇİMİ PROBLEMİNE ADAPTİF AĞ YAPISINA DAYALI BULANIK ÇIKARIM  
SİSTEMİNİN UYGULANMASI**

**ÖZET**

Firmaların tedarik zinciri yönetimindeki amaçlarını gerçekleştirmesinde tedarikçi seçim problemi temel bir faktör teşkil etmektedir. Firmalar etkili ilişkiler kurmak ve rekabet avantajı sağlama adına uygun yöntem ve kriterler uygulayarak ihtiyaçlarını en uygun tedarikçi veya tedarikçileri seçmemidir. Pratikte, tedarikçi seçim problemi kalite, maliyet, ilişki yakınlığı ve teslimat gibi maddi olarak ifade edilebilen veya edilemeyen faktörler içerir. Bu husus problemi Çok Kriterli Bir Karar Verme Problemi'ne (ÇKKV) çevirir. Bu çalışmada tedarikçi seçim problemi için sinirsel ağ ve bulanık mantığa dayanan bir yaklaşım olan Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) sunulmaktadır. Ortaya konulan model sinirsel ağların öğrenme avantajını alır ve bunu insanın nedenselleştirme mekanizmasını etkili bir şekilde sunabilen bulanık mantık ile birleştirir. Çalışmada ANFIS'in temelleri ortaya konulmakta ve tedarikçi seçim problemine yönelik yapısı sunulmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Tedarikçi Seçimi, Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi.

---

\*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: atayucel@gmail.com, tel: (212) 340 85 52

## 1. GİRİŞ

Günümüz rekabete dayalı ve küreselleşen dünyasında rakiplerinin bir adım önüne geçebilme adına firmaların etkili stratejiler ortaya koyup bunları uygulaması gerekmektedir. Son yıllarda satınalma fonksiyonunun önemi artmakta, bu da konuya ayrı bir önem verilmesine neden olmaktadır. Birçok endüstride hammadde malzemeleri ve bileşen parçaları ürün maliyetinin ana kalemini oluşturmakta, bazı durumlarda ise bu oran %70'e kadar çıkabilmektedir. İleri teknoloji firmalarında ise satın alınan malzemeler ve hizmet toplamı toplam ürün maliyetinin %80'ine kadar ulaşabilmektedir [1].

Tedarikçi seçim süreci, temel anlamda önceden belirlenmiş kriterlere bağlı kalarak çeşitli alternatif tedarikçilerden en iyi veya en iyilerinin seçimine dayanan bir süreçtir. Temel aşamalarını problemin tanımı, kriterlerin düzenlenmesi, potansiyel tedarikçilerin belirlenmesi ve seçim şeklinde ifade etmek mümkündür. Bu süreci yönetme adına literatürde birçok kriter ve yöntem ortaya konmuştur.

Tedarikçi seçim kriterlerinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen bir çalışmada Dickson [2], Kanada ve Amerika'da yer alan satınalma firması ve yöneticilerine anket göndermiştir. Gerçekleştirilen çalışma neticesinde 50 kriter arasından kalite, teslimat ve performans geçmiş en önemli üç kriter olmak üzere toplam 23 ortak kullanılan tedarikçi seçim kriteri tespit edilmiştir. Ayrıca Dickson [2] belirlediği bu 23 kriteri önem derecelerine göre dört farklı grupta toplamıştır. Bu çalışmadan sonraki süreçteki değişimi anlama adına Weber ve diğ. [3], ilgili 23 kriteri esas alarak 1966 yılından beri çıkan 74 makaleyi incelemiştir. Çalışma sonucunda fiyat, teslimat ve kalite kriterleri en çok kullanılan ilk üç kriter olarak ortaya çıkmıştır. İlgili kriterler sırasıyla makalelerin %80, %58 ve %53'ünde ele alınmıştır. Ayrıca çalışmanın önemli neticelerinden biri de incelenen 74 makalenin 47'sinde diğer bir ifadeyle %64'ünde birden fazla seçim kriteri kullanılmasıdır. Bu da tedarikçi seçim probleminin Çok Kriterli Karar Verme Problemi (ÇKKV) özelliğini yansıtmaktadır.

Tedarikçi seçim probleminin literatürde birçok yöntem uygulanmıştır. En çok başvuru alanlardan biri de Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemidir. Tam ve Tummala [4], bir telekomünikasyon sisteminin tedarikçi seçimi için 6 aşama içeren bir AHP yöntemi uygulamıştır. Diğer bir çalışmada Bhutta ve Huq [5], tedarikçi seçim probleminin AHP ve Toplam Sahip Olma Maliyeti yöntemlerini ayrı ayrı uygulamış ve her iki yöntemi birbiri ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda AHP'nin nitel faktörlerin yanı sıra nicel faktörleri de değerlendirme becerisinin en önemli üstünlük faktörü olduğu belirtilmiştir. Levary [6], AHP yöntemini yabancı tedarikçilerin değerlendirmesinde kullanmış, üç farklı ülkede yer alan tedarikçileri ülke riski, ilgili ülkelerden teslimatı gerçekleştiren nakliyat şirketlerinin riski, tedarikçi güvenilirliği ve tedarikçinin kendi tedarikçilerinin güvenilirliği olmak üzere toplam 4 kriter çerçevesinde değerlendirmiştir. AHP yöntemi tek başına uygulanmanın yanı sıra diğer yöntemlerle entegre şekilde de kullanılmıştır. Ghodsypour ve O'Brien [7] yaptıkları çalışmada, ilk kez AHP ve LP yöntemlerini bir arada kullanarak, tedarikçi seçiminde nitel ve nicel faktörleri dikkate alan bir model ortaya koymuştur. Geliştirilen model, en iyi tedarikçinin seçimini gerçekleştirerek Toplam Satınalma Değerini maksimize edecek şekilde siparişlerin dağıtımını sağlayan bir yapı ortaya koymaktadır. Diğer bir makalede Ha ve Krishnan [8], Birleşik Tedarikçi Skoru'nu (Combined Supplier Score) hesaplamaya dayalı bir model sunmuştur. Geliştirilen yöntemde AHP alternatif tedarikçilerin nicel kriterler, Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Sinirsel Ağlar (SA) yöntemleri ise nitel kriterler çerçevesinde değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Kurulan model bir otomobil fabrikasındaki tedarikçi seçim probleminin uygulanmıştır. Gencer ve Gürpınar [9] ise tedarikçi seçim kriterlerinin birbirleri arasındaki ilişkinin bir geri bildirim sistematigi içerisinde değerlendirilmesine yönelik olarak Analitik Şebeke Prosesi (AŞP) içeren bir model ortaya koymuştur. Demirtaş ve Üstün [10], AŞP ile Çok Amaçlı Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama Yöntemi'ni bir arada kullanmıştır. Kriterler fayda, fırsat, maliyet ve risk (BOCR) olmak üzere 4 farklı kümede ele alınmıştır. Çelebi ve Bayraktar [11] ise tedarikçi seçim

problemine VZA ve SA yöntemlerini birlikte uygulamıştır. Choy ve diğ. [12], tedarikçilerin performansını sürekli takip etme ve karşılaştırma adına, Durum Tabanlı Çıkarsama (DTC) ve SA yöntemlerini bir araya getirerek akıllı bir tedarikçi yönetim aracı ortaya koymuştur.

Pratikte tedarikçi seçim problemleri içerdiği kriterler itibarıyla bulanıklık ve belirsizlik içerebilmektedir. Problemdeki bu müphemliği giderme bulanık mantık odaklı yöntemler ortaya konmuştur. Aynı zamanda çalışmanın konusu olan ANFIS yönteminde de ele alındığı üzere sözel değişkenlerle problemin ortaya konması etkili bir yapı oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Bulanık mantığın uygulandığı makalelerde öne çıkan yöntemlerden biri Bulanık Çok Amaçlı Lineer Model metodudur. Kumar ve diğ. [13], maliyetin minimize edilmesi ile kalite ve zamanında teslimatın maksimize edilmesine yönelik simetrik bir Bulanık Çok Amaçlı Tamsayı Programlama yöntemini uygulamıştır. Gerçekleştirilen uygulamada toplam dört tedarikçi değerlendirilmiş ve kapasite ile bütçe kısıtları %10'luk bir bulanıklık seviyesi ile ele alınmıştır. Simetrik yaklaşımda her bir seçim kriteri aynı ağırlığa sahiptir. Asimetrik yaklaşımda ise kriterlere farklı değerler atanabilmektedir. Amid ve diğ. [14], Bulanık Çok Amaçlı Lineer Model Yöntemi'ni kullanarak, ilk kez bir tedarikçi seçim probleminde asimetrik yaklaşımı uygulamışlardır. Benzer bir şekilde Amid ve diğ. [15] asimetrik Bulanık Çok Amaçlı Lineer Model Yöntemi'ni farklı sipariş hacimlerinde fiyat indirimi seçeneğini içerecek şekilde ortaya koymuşlardır. Her iki çalışmadaki asimetrik olarak ortaya konulan bulanık çok amaçlı lineer modellerde kriterlerin hesaplanması ile ilgili bir yapı sunulmamıştır. Literatürdeki bu açığı giderme adına Yücel ve Güneri [16], yamuk bulanık sayılar kullanarak kriterlerin ağırlıklandırılmasını probleme dahil etmiştir. Gerçekleştirilen uygulamada maliyet, kalite ve hizmet seçim kriterleri, talep de modelin oluşturulmasında bulanık bir faktör olarak ele alınmıştır. Diğer en çok ele alınan yöntemlerden biri de Bulanık TOPSIS yöntemidir. Chen ve diğ. [17], Bulanık TOPSIS yöntemini tedarikçi seçim problemine uygulamıştır. Çalışmada karar vericilerin görüşleri doğrultusunda, yamuk bulanık sayılar kullanılarak seçilen kriterlerinin önem ağırlıkları ve her bir alternatif tedarikçinin kriterlerden aldığı puanlar atanmıştır. Sonrasında kademeli bir ÇKKV modeli uygulanarak kriter ağırlıkları ve sonrasında her bir tedarikçinin puanları hesaplanmış, en yüksek puana sahip tedarikçi seçilerek problem sonlandırılmıştır. Diğer bir çalışmada, Wang ve diğ. [18] üçgen bulanık sayılar kullanarak hiyerarşik bir bulanık TOPSIS yöntemini tedarikçi seçim problemine uygulamıştır. Chen ve diğ. [17] yönteminden farklı olarak bu makalede her bir kriterin ağırlığının hesaplanmasında bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Bulanık AHP ve Bulanık AŞP de tedarikçi seçimi problemine yönelik geliştirilen bulanık odaklı yaklaşımlardan diğer ikisidir. Chan ve Kumar [19] global tedarikçi seçim problemine Bulanık Genişletilmiş AHP (FEAHP) yöntemini uygulamışlardır. Çalışmada üçgen bulanık sayılar kullanılmış olup, global tedarikçi seçimindeki kriter yapısına ayrıca değinilmiştir. Kahraman ve diğ. [20], Türkiye'de faaliyet gösteren bir beyaz eşya üreticisinin tedarikçi seçim problemine benzer şekilde Bulanık AHP yöntemini tatbik etmiştir. Lin [21], Bulanık AŞP ile Çok Amaçlı Lineer Programlama Yöntemi'ni tedarikçi seçim problemine bir arada uygulamıştır. İlk aşamada Super Decision programı kullanılarak Bulanık AŞP ile her bir tedarikçinin katsayıları hesaplanmış, ikinci aşamada ise LINGO 9.0 yazılımı kullanılarak, ilk aşamada elde edilen katsayılar amaç fonksiyonlarına dahil edilerek talep, kapasite ve maksimum kabul edilebilir kusur oranı kısıtları altında sipariş miktarı optimum olarak tedarikçiler arasında dağıtılmıştır.

ANFIS literatürde, kredi başvurularının değerlendirilmesi, diyabet hastalığının tayini, köprü riskinin değerlendirilmesi ve enjeksiyon profili tahmini gibi birçok alanda uygulanmıştır. Malhotra ve Malhotra [22] ANFIS ve Çoklu Diskriminant Analizi'ni ayrı ayrı iki yöntem olarak uygulayarak tüketici kredilerinde potansiyel borca düşecek olanların tespitini gerçekleştirmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve ANFIS ile daha iyi sonuçlara ulaşıldığı vurgulanmıştır. Polat ve Güneş [23] diyabet hastalığının tayini için Temel Bileşenler Analizi (TBA) ve ANFIS yöntemlerini bir arada uygulamıştır. İlk aşamada TBA uygulanarak veri setindeki 8 kriter 4'e indirilmiş, ikinci aşamada ise ilgili 4 kriter kullanılarak ANFIS yöntemi probleme uygulanmıştır. Elde edilen doğruluk düzeyi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında TBA

ve ANFIS birleşimi ile oluşturulan modelin en etkin yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer bir çalışmada Wang ve Elhag [24] köprü risklerin değerlendirilmesinde ANFIS yöntemini uygulamıştır. İngiliz Karayolu Ajansı'ndan elde edilmiş olan 506 adet köprü bakım projesi ile ANFIS modeli oluşturulmuştur. Ayrıca çalışmada ANFIS yöntemi ile elde edilen sonuçlar Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, ANFIS'in daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Wei ve diğ. [25] petrol alanı geliştirilmesinde enjeksiyon profillerine ait karar verme konusunda ANFIS yöntemini uygulamıştır. Fırat ve Güngör [26], Büyük Menderes Havzası'nda 1985-2000 yılları arasında toplanan 5.844 günlük data setini kullanarak nehir akımlarının tahminine yönelik ANFIS modeli geliştirmiştir. Huang ve diğ. [27], Tayvan ve Çin nüfusu baz alınarak hazırlanan verilerde ANFIS yöntemini kullanarak glokom hastalığına sahip gözlerle normal gözler arasında ayrımı sağlayacak bir sınıflandırma sistemi geliştirmiştir. Büyükközkın ve Feyzioğlu [28], belirsiz koşullar altında yeni ürün geliştirilmesi ile ilgili olarak verilen kararın kalitesini artırmaya yönelik olarak bir oyuncak firmasında ANFIS yöntemini uygulamıştır. Quah [29] DJIA (Dow Jones Industrial Average) hisse seçimi temel analizinde sinirsel ağ odaklı yöntemlerin uygulanmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmiş ve ilgili yöntemler arasında ANFIS'i de ele almıştır.

ANFIS tedarik zinciri yönetimi ile ilgili çeşitli konularda da yöntem olarak ele alınmıştır. Efendigođlu ve diğ. [30], tedarik zincirinde önemli konulardan biri olan talep tahmininde ANFIS'i kullanmış, dayanıklı tüketim endüstrisinde yer alan bir firmada uygulamayı gerçekleştirmişlerdir. Balan ve diğ. [31], talebin tedarik zincirinde aşağıdan yukarıya doğru hareketindeki değişkenliği ifade etme adına kullanılan kırbaç etkisi (bullwhip effect) kavramında ANFIS yöntemini uygulamıştır. Nassimbeni ve Battain [32] ANFIS metodunu yeni ürün geliştirilmesindeki tedarikçi katkısını ele almada kullanmıştır. Öncelikli olarak uzman görüşleri çerçevesinde 15 kriter belirlenmiştir. Sonrasında Temel Bileşenler Analizi yöntemi uygulanarak 3 temel kriter tespit edilmiştir. ANFIS modelinin ortaya konulmasında seçilen 3 kriter girdi olarak kullanılmış çıktı olarak da her bir tedarikçinin kriter ağırlıkları dikkate alınarak hesaplanan toplam skoru kullanılmıştır. Sonuç olarak elde edilen eğitim setine uygun olarak kurulan model eğitilmiştir.

Tedarikçi seçim problemine uygulanan yöntemler genel hatlarıyla ele alınmış, ANFIS yönteminin uygulandığı farkı alanlar ile ilgili örnek çalışmalara yer verilmiştir. Tedarikçi seçimi ile ilgili yöntem içerikleri incelendiği zaman sinirsel bulanık mantık odaklı uygulamaların eksikliği literatürde hissedilmektedir. Bu çerçevede çalışmada Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi'nin (ANFIS) tedarikçi seçim problemine nasıl uygulanacağı ortaya konmaktadır. Üyelik fonksiyonu seçiminin nasıl yapılacağı, kaç adet üyelik fonksiyonu seçilmesi gerektiği, modelin nasıl kurulması gerektiğine ayrı ayrı değinilecek, aynı zamanda ANFIS'in temel yapısı ortaya koyacaktır.

İkinci bölümde ANFIS yönteminin ortaya çıkışı ve içeriği sunulmaktadır. Üçüncü bölümde ANFIS'in tedarikçi seçim problemine nasıl uygulanabileceği ortaya konulmakta, son bölümde ise bundan sonraki çalışmalarda nasıl hareket edilebileceği yönünde görüşler ifade edilmektedir.

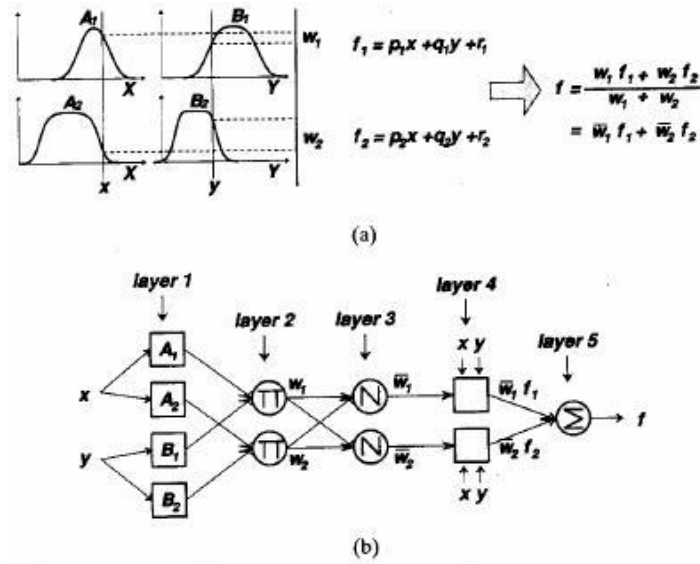
## **2. ADAPTİF AĞ YAPISINA DAYALI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS)**

ANFIS temel olarak Bulanık Çıkarım Sistemi'nin (Fuzzy Inference System) adaptif ağlara uyarlanmış halidir. Melez öğrenme algoritması ile birlikte ANFIS, bulanık eğer-ise kuralları ile insan bilgisini yansıtan girdi çıktı yapısını ortaya koymaktadır. Jang [33] ANFIS yöntemini geliştirmiş ve doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesinde, kaotik zaman serilerinin tahmininde kullanmıştır. MATLAB yazılımındaki Bulanık Mantık Modülü'nde bir Kullanıcı Arayüzü (ANFIS Editor) aracılığı ile yöntem araştırmacıların kullanımına sunulmuştur. Yöntemin çıkış noktası, insan düşünce ve bilgisini yansıtan bulanık eğer-ise kurallarının avantajı ile sinirsel ağların öğrenme yeteneklerini bir araya getirerek entegre etkili bir çözüm sunma gereksinimidir.

Bulanık eğer-ise kuralları, “Eğer A koşul ise B sonuçtur.” şeklinde ifade edilebilecek kurallar olup bulanık çıkarım sistemlerinin de temelini oluşturmaktadır. Yapıları itibarıyla, bulanık ve belirsiz ortamlarda insan düşünce ve muhakeme yeteneğini yansıtır. Bulanık çıkarım sistemi (FIS) de bulanık eğer-ise kurallarını kullanarak ve kati sayısal analizleri kullanmadan insan bilgisinin muhakeme sürecini ve nicel yönünü modelleyebilmektedir.

Adaptif ağ, çeşitli sayıda birbirine bağlanmış düğümler içeren, elde bulunan girdi ve çıktı veri setini ortaya koymaya yarayan bir ağ yapısıdır. Her bir düğüm bir işlem birimi içerir ve düğümler arası bağlantılar, birleştirilen düğümler arasındaki nedensel ilişkiyi belirler. Düğümlerin hepsi veya bir kısmı adaptiftir, bunun anlamı düğümlerin çıktısının bu düğümlerle ilişkili düzenlenebilir parametrelere dayandığıdır. Öğrenme kuralı, öngörülmesi bir hata ölçüsünü minimize etme adına bu parametrelerin nasıl güncellenmesi gerektiğini belirler. Hata ölçüsü ağına mevcut çıktısı ile beklenen çıktı arasındaki farkı belirten matematiksel bir gösterimdir.

ANFIS’in en önemli özelliği gradyent azaltım ve en küçük kareler yöntemini bir arada uygulayarak sunduğu melez öğrenme algoritmasıdır ve bu da ANFIS’in diğer yöntemlere yönelik üstünlüğünde temel teşkil etmektedir. Şekil 1’de iki kurallı ve iki girdili birinci derece Sugeno bulanık modeli ile buna karşılık gelen ANFIS yapısı yer almaktadır [34]. Düğümlerin 4. katmana kadar ileri gidişlerinde soncul parametreler en küçük kareler yöntemi ile belirlenmekte, geriye doğru gidişte ise bu sefer öncül parametreler gradyent azaltım yöntemi ile belirlenmektedir.



Şekil 1. (a) Sugeno bulanık modeli (b) Karşılık ANFIS Yapısı

Şekil 1’de de belirtildiği üzere ANFIS beş katmandan oluşmaktadır. Her bir katmanın fonksiyonları aşağıda anlatılmaktadır:

**Katman 1 :** Bu katmanda her düğüm kare olup bir düğüm fonksiyonu ile ilişkilidir.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad (1)$$

$x$  i düğümü ile ilişkili girdi,  $A_i$  ise ilgili düğüm fonksiyonu ile ilişkili sözel değişkendir (iyi, çok iyi vs.). Diğer bir ifadeyle,  $O_i^1$ ,  $A_i$ 'nin üyelik fonksiyonu olup  $x$ 'in  $A$ 'yı ne kadar karşıladığının derecesini vermektedir. Genel olarak,  $\mu_{A_i}(x)$  maksimum 1 ve minimum 0'a eşit olmak üzere çan eğrisi şeklinde seçilir:

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[ \left( \frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \quad (2)$$

veya

$$\mu_{A_i}(x) = \exp \left\{ - \left( \frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

$\{a_i, b_i, c_i\}$  parametre seti olup öncül parametreler olarak nitelendirilir. Bu aşamada çeşitli üyelik fonksiyonları kullanılabilir.

**Katman 2 :** Bu katmanda yer alan bütün düğümler ( $\prod$ ) daire şeklinde olup gelen sinyalleri çarpıp değeri dışarı çıkarır.

$$\omega_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2. \quad (4)$$

Her düğüm çıktısı, her bir kuralın ateşleme seviyesini (firing strength) gösterir.

**Katman 3 :** Bu katmanda yer alan bütün düğümler ( $N$ ) daire şeklinde olup,  $i$ . düğüm,  $i$ . kuralın ateşleme seviyesinin tüm kuralların toplam ateşleme seviyesine oranını hesaplar.

$$\bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2}, \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

Bu katmanın çıktısı normalleştirilmiş ateşleme seviyesi olarak da nitelendirilmektedir.

**Katman 4 :** Bu katmanda her düğüm kare olup bir düğüm fonksiyonu ile ilişkilidir.

$$O_i^4 = \bar{\omega}_i f_i = \bar{\omega}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (6)$$

$\bar{\omega}_i$  katman 3'ün çıktısı olup,  $\{p_i, q_i, r_i\}$  parametre seti soncul parametreler olarak nitelendirilir.

**Katman 5 :** Bu katmanda yer alan tek düğüm ( $\sum$ ) daire şeklinde olup tüm çıktıyı bütün gelen sinyallerin toplamı şeklinde hesaplar.

$$O_i^5 = \text{overall output} = \sum_i \bar{\omega}_i f_i = \frac{\sum_i \omega_i f_i}{\sum_i \omega_i}. \quad (7)$$

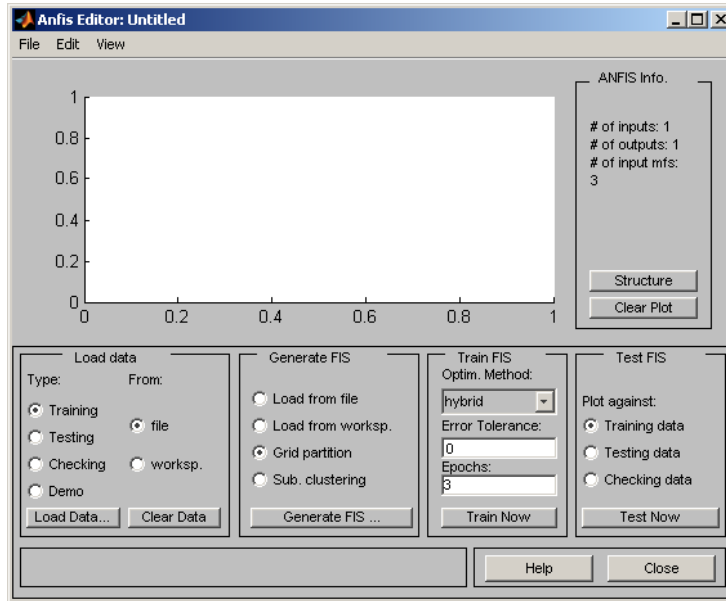
ANFIS'in genel yapısı ortaya konmuştur [33]. Bundan sonraki bölümde tedarikçi seçim probleminde ANFIS'in nasıl uygulanabileceği konusuna değinilecektir.

### 3. TEDARİKÇİ SEÇİM PROBLEMİNE ANFIS YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

ANFIS yönteminin uygulanabilmesi için elde girdi ve çıktıya dayanan bir veri setine ihtiyaç bulunmaktadır. Seçilen üyelik fonksiyon adedi ve tipine bağlı olarak kurulan model melez öğrenme algoritması kullanılarak eğitilmektedir. MATLAB'ın modüllerinden biri olan Fuzzy Logic Toolbox modülündeki Şekil 2'de yer alan ANFIS Editor kullanılarak elde bulunan girdi çıktı seti sisteme yüklenebilmekte, kurulan model eğitilmekte ve sonuç olarak etkinliği test edilebilmektedir.

Tedarikçi seçim problemi yapı itibarıyla bir ÇKKV problemidir. ANFIS yöntemi de az sayıda ve çıktıyı en çok etkileyen girdileri içeren sistemlerde etkili çözümler vermektedir. Öncelikli olarak karar vericilerin tedarikçi seçimini etkileyen kriterleri belirlemesi ve bu kriterlere karşılık tedarikçilerin performansını ölçebilecek bir çıktıyı ortaya koyması gerekmektedir. Literatürde ANFIS'in uygulandığı çalışmalarda girdi sayısı en fazla 4'e kadar çıktığı gözlemlenmektedir. Eğer elde geniş bir girdi seti diğer bir ifadeyle seçim kriteri var ise çıktıyı en çok etkileyen değişkenlerin tespitine yönelik yöntemler (Temel Bileşenler Analizi, Kümeleme Analizi, Doğrusal Diskriminant Analizi) öncelikli olarak uygulanmalıdır. Etkin girdiler ortaya konulduktan sonra elde bulunan veri setinin eğitim ve test datası olmak üzere ikiye bölünmesi gerekmektedir.

ANFIS elde bulunan girdi setine göre üyelik fonksiyonun seçiminde çeşitli seçenekler (Üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu, Gauss kombinasyon üyelik fonksiyonu, Genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu vb.) sunmaktadır. İlgili üyelik fonksiyonlarından kullanılmak istenenler seçilerek veya her bir fonksiyon tipi ayrı ayrı eğitim data setinde kullanılarak en küçük hata değerine sahip fonksiyon tipi kurulan modelin eğitilmesi için seçilir. Buradaki diğer önemli husus her bir girdi için seçilecek üye fonksiyonu adedine bağlı olarak oluşan eğitilecek parametre adedinin elde bulunan eğitim veri setinin büyüklüğünü aşmamasıdır. Aksi takdirde sistemde hata alınmakta, kurulan modelin eğitimi etkin bir şekilde gerçekleştirilememektedir. Ayrıca ilgili hususun elde bulunan veri setinin eğitim ve test datası olmak üzere ikiye bölünmesinde de göz önünde bulundurulması faydalı olacaktır.



Şekil 2. ANFIS Editör Yapısı

Üyelik fonksiyonu tipi ve adedinin seçilmesini takiben yapılması gereken elde bulunan veri setinin melez öğrenme algoritması kullanılarak eğitilmesidir. Belirlenen çevrim sayısına bağlı model eğitildikten sonra eldeki test datasına bağlı olarak kurulan modelin etkinliği test edilebilmektedir. Şekil 3'te, 3 girdi ve bu girdilere bağlı 2'şer adet üyelik fonksiyonu içeren örnek bir ANFIS modeli yer almaktadır.

Sonuç olarak tedarikçi seçim probleminde ANFIS'in uygulanması ile ilgili olarak aşağıdaki algoritma ortaya çıkmaktadır:

**Adım 1:** Karar verici ve uzmanların görüşleri çerçevesinde tedarikçi seçim kriterleri ve buna bağlı tedarikçi seçim performansını yansıtabilecek çıktı belirlenerek veri seti oluşturulur.

**Adım 2:** Eğer eldeki girdi sayısı geniş ise ANFIS modelini etkin bir şekilde uygulama adına çıktıyı en çok etkileyen girdiler belirlenen değişken seçimi yöntemi çerçevesinde tespit edilir.

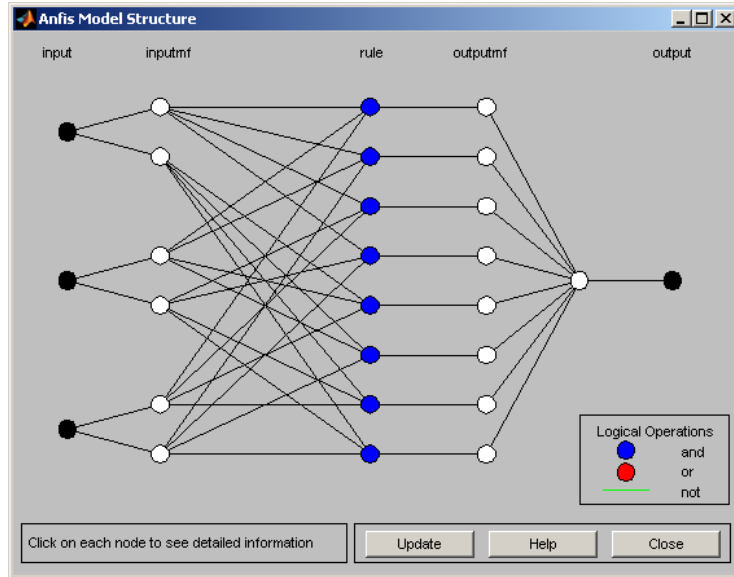
**Adım 3:** Elde bulunan veri seti eğitim ve test daseti olmak üzere ikiye bölünür.

**Adım 4:** MATLAB Bulanık Mantık Modülü'nde yer alan üyelik fonksiyon tipleri arasından en düşük hata ile eğitim dasetinin eğitilmesini sağlayan fonksiyon tipi eldeki girdi seti için seçilir.

Üyelik fonksiyonu adedinin seçiminde ise veri setinin eğitilecek parametre sayısından fazla olması kuralına dikkat edilir.

**Adım 5:** Üyelik fonksiyon tipi ve adedinin seçiminden sonra oluşturulan model eğitilir.

**Adım 6:** Eğitilen modelin etkinliği eldeki test daseti kullanılarak ölçülür.



Şekil 3. Örnek ANFIS Model Yapısı

İlgili algoritma uygulandıktan sonraki süreçte yeni satınalma kararlarında kurulan model kullanılarak belirlenen çıktıya bağlı olarak kararlar sistem tarafından otomatik olarak oluşturulup karar vericilerin değerlendirilmesine sunulabilecektir.



#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tedarikçi seçimi firmaların başarısında kritik bir faktör olarak ele alınan bir konudur. Stratejilerine ve amaçlarına uygun tedarikçi seçimini gerçekleştiren firmalar pazardaki diğer rakiplerine üstünlük sağlayabilmektedir. Bunu gerçekleştirme adına firmalar uygun kriterin yanı sıra uygun bir metod seçerek stratejik ortaklıklar kurup uzun vadeli çalışabileceği tedarikçileri tespit etmelidir.

Bu husus göz önünde bulundurularak çalışmada tedarikçi seçim problemine yönelik etkin bir çözüm sunulmaya çalışılmıştır. Ortaya konulan yapı sinirsel ağlar ve bulanık mantık kavramlarının bir arada kullanılmasını sağlamaktadır. Böylelikle sinirsel ağların öğrenme kabiliyetinin yanı sıra bulanık mantığın sözel değişkenler vasıtasıyla kişisel bakış açısını yansıtmadaki başarısı bir arada ortaya konarak etkin bir sistem sunulmaktadır.

Yöntemin uygulanmasında önemli noktalardan biri de çıktığı en çok etkileyen girdinin seçimidir. Bu bakış tedarikçi seçim problemine ANFIS yaklaşımının uygulanması çalışmalarında değişken seçimi yöntemlerinin ANFIS ile entegre bir şekilde uygulanması konusu dikkate alınmalıdır.

Tedarikçi seçim problemleri temelde tek kaynaklı (single sourcing) ve çok kaynaklı (multiple sourcing) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tek kaynaklı problemlerde tek bir tedarikçi satınalmada bulunacak firmanın tüm ihtiyaçlarını karşılayabilmekte, çok kaynaklı versiyonda ise tek bir firma, satınalmada bulunan firmanın tüm ihtiyaçlarını karşılayamamakta birden fazla firmanın seçilmesi gerekmektedir. Çeşitli kısıtların olduğu bir ortamda ANFIS'in uygulanması halinde yöntemle lineer programlama gibi farklı yöntemlerin entegre edilmesi de düşünülmelidir.

Sonuç olarak tedarikçi seçim problemine farklı bir yaklaşım makalede ele alınmıştır. Diğer bir çok alanda da uygulanan ANFIS yönteminin karar verici ve uzmanlar tarafında tedarikçi seçim probleminde de bir alternatif olarak düşünülmesi mümkündür.

#### REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Ghodsypour S. H., O'Brien C., "The Total Cost of Logistics in Supplier Selection, Under Conditions of Multiple Sourcing, Multiple Criteria and Capacity Constraint", *International Journal of Production Economics*, 73, 1, 15-27, 2001.
- [2] Dickson G. W., "An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions", *Journal of Purchasing*, 2, 1, 5-17, 1966.
- [3] Weber C. A., Current J. R., Benton W. C., "Vendor Selection Criteria and Methods, *European Journal of Operational Research*", 50, 1, 2-18, 1991.
- [4] Tam M. C. Y., Tummala V. M. R., "An Application of the AHP in Vendor Selection of a Telecommunications System", *Omega-International Journal of Management Science*, 29, 2, 171-182, 2001.
- [5] Bhutta K. S., Huq F., "Supplier Selection Problem: A Comparison of the Total Cost of Ownership and Analytic Hierarchy Process Approaches", *Supply Chain Management: An International Journal*, 7, 3, 126-135, 2002.
- [6] Levary R. R., "Using the Analytic Hierarchy Process to Rank Foreign Suppliers Based on Supply Risks", *Computers & Industrial Engineering*, 55, 535-542, 2008.
- [7] Ghodsypour S. H., O'Brien C., "A Decision Support System for Supplier Selection Using an Integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming", *International Journal of Production Economics*, 56-57, 199-212, 1998.
- [8] Ha S. H., Krishnan R., "Hybrid Approach to Supplier Selection for the Maintenance of a Competitive Supply Chain", *Expert Systems with Applications*, 34, 2, 1303-1311, 2008.
- [9] Gencer C., Gürpınar D., "Analytic Network Process in Supplier Selection: A Case Study in an Electronic Firm", *Applied Mathematical Modelling*, 31, 2475-2486, 2007.

- [10] Demirtaş E., Üstün Ö., “An Integrated Multi-Objective Decision-Making Process for Multi-Period Lot-Sizing with Supplier Selection”, 36, 4, 509-521, 2008.
- [11] Çelebi D., Bayraktar D., “An Integrated Neural Network and Data Envelopment Analysis for Supplier Evaluation Under Incomplete Information”, Expert Systems with Applications, 35, 4, 1698-1710, 2008.
- [12] Choy K. L., Lee W. B., Lo V., “An Intelligent Supplier Management Tool for Benchmarking Suppliers in Outsource Manufacturing”, Expert Systems with Applications, 22, 3, 213-224, 2002.
- [13] Kumar M., Vrat P., Shankar R., “A Fuzzy Programming Approach for Vendor Selection Problem in a Supply Chain”, International Journal of Production Economics, 101, 273-285, 2006.
- [14] Amid A., Ghodsypour S.H., O’Brien C., “Fuzzy Multi-Objective Linear Model for Supplier Selection in a Supply Chain”, International Journal of Production Economics, 104, 394-407, 2006.
- [15] Amid A., Ghodsypour S.H., O’Brien C., “A Weighted Additive Fuzzy Multi-Objective Model for the Supplier Selection Problem Under Price Breaks in a Supply Chain”, International Journal of Production Economics, In Press, Corrected Proof.
- [16] Yücel A., Güneri A. F., “A Fuzzy Programming Approach for Supplier Selection in Supply Chain”, VI. International Logistics and Supply Chain Congress, İstanbul, Kasım, 2008.
- [17] Chen T.C., Lin C.T., Huang S.F., “A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management”, International Journal of Production Economics, 102, 289-301, 2006.
- [18] Wang J. W., Cheng C. H., Cheng H. K., “Fuzzy Hierarchical TOPSIS for Supplier Selection”, Applied Soft Computing, 9, 1, 377-386, 2009.
- [19] Chan F., Kumar N., “Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-Based Approach”, Omega, 35, 417-431, 2007.
- [20] Kahraman C., Cebeci U., Ulukan Z., “Multi-Criteria Supplier Selection Using Fuzzy AHP”, Logistics Information Management, 16, 6, 382 – 394, 2003.
- [21] Lin R. H., “An Integrated FANP–MOLP for Supplier Evaluation and Order Allocation”, Applied Mathematical Modelling, 33, 6, 2730-2736, 2009.
- [22] Malhotra R., Malhotra D. K., “Differentiating Between Good Credits and Bad Credits Using Neuro-Fuzzy Systems”, European Journal of Operational Research, 136, 190-211, 2002.
- [23] Polat K., Güneş S., “An Expert System Approach Based on Principal Component Analysis and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System to Diagnosis of Diabetes Disease”, Digital Signal Processing, 17, 702-710, 2007.
- [24] Wang Y. M., Elhag T. M. S., “An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Bridge Risk Assessment”, Expert Systems with Applications, 34, 3099-3106, 2008.
- [25] Wei M., Bai B., Sung A.H., et.al., “Predicting Injection Profiles Using ANFIS”, Information Sciences, 177, 4445-4461, 2007.
- [26] Fırat M., Güngör M., “River Flow Estimation Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System”, Mathematics and Computers in Simulation, 75, 87-96, 2007.
- [27] Huang M. L., Chen H. Y., Huang J. J., “Glaucoma Detection Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System”, Expert Systems with Applications 32, 458–468, 2007.
- [28] Büyüközkan G., Feyzioğlu O., “A New Approach Based on Soft Computing to Accelerate the Selection of New Product Ideas”, Computers in Industry, 54, 2, 151-167, 2004.
- [29] Quah T.S., “DJIA Stock Selection Assisted by Neural Network”, Expert Systems with Applications, 35, 50-58, 2008.

- [30] Efindigil T., Önüt S., Kahraman C., “A Decision Support System for Demand Forecasting with Artificial Neural Networks and Neuro-Fuzzy Models: A Comparative Analysis”, *Expert Systems with Applications*, 36, 3, 6697-6707, 2009.
- [31] Balan S., Vrat P., Kumar P., “Information Distortion in a Supply Chain and its Mitigation Using Soft Computing Approach”, *Omega*, 37 (2), 282-299, 2009.
- [32] Nassimbeni G., Battain F., “Evaluation of Supplier Contribution to Product Development: Fuzzy and Neuro-Fuzzy Based Approaches”, *International Journal of Production Research*, 41, 13, 2933-2956, 2003.
- [33] Jang J.-S.R., “ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 23, 3, 665-685, 1993.
- [34] Jang J.-S.R., Sun C.-T, Mizutani E., “Neuro- Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence”, *MATLAB Curriculum Series*, Prentice Hall, New Jersey, 1997, 335-340.