Cilt: 1 Sayi: 2 sh. 13-31 Nisan 1999

DAİRESEL PLAKLARIN NÖRO-FUZZY TEKNİĞİ İLE ANALİZİ

(THE ANALYSIS OF CIRCULAR PLATES VIA NEURO - FUZZY TECHNIQUE)

Ömer CİVALEK*

*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fak. İnşaat Müh. Böl., 20017 Denizli

ÖZET / ABSTRACT

Mühendislik sistemlerinin analizi genelde sayısal tekniklere dayanmaktadır. Yüzeysel taşıyıcı sistemler günümüze kadar çeşitli sayısal metotlar ile çalışılmıştır. Bu çalışmada dairesel plakların analizi, farklı bir hesaplama tekniği olarak son yıllarda kullanılmaya başlanan mantıksal programlama tekniği ile verilmiş ve geliştirilen program yardımıyla çeşitli örnekler çözülmüştür. Yapay sinir ağını eğitmek için çok farklı eğitim seti kullanılmış ve yeterli hassasiyet sağlanmıştır. Ağın eğitimi sırasında bağlantı ağırlıklarının ve kullanılan temel değişkenlerin belirlenmesinde fuzzy küme teorisinden faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sayısal teknikler ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve mantıksal programlama tekniğinin yapı mühendisliğinde kullanılabilecek alternatif bir metot olduğu vurgulanmıştır.

The analysis of engineering systems are generally based on numerical technique. Surfaces portal systems had been studied with different numerical methods until now. In this study, the analysis of circular plates is given with logical programming technique which has been used in the recent years as a different programming technique and various examples are solved by means of developed program. Various training sets are used to train the artificial neural network and sufficient sensibility is maintained. Fuzzy set theory is used during the training of the network, evaluation of the connections weights and determination of the basic variables used in training of network. The obtained results are compared with the results of the numerical techniques and it has been emphasized that logical programming technique is an alternate method which can be used in structural engineering.

ANAHTAR KELİMELER / *KEY WORDS*

Yapay Sinir Ağları, Fuzzy Mantığı, Dairesel Plak / *Artificial Neural Networks, Fuzzy Logic, Circular Plate*

1. GİRİŞ

Mühendislik sistemlerinin analizi genel olarak sayısal hesap tekniklerine dayanmaktadır. Günümüze kadar sadece elle yapılan çeşitli analiz teknikleri geliştiren teorisyenler bu çalışmaları sırasında daha çok matematiksel analiz teknikleri kullanmışlardır. Gerek lineer ve gerekse lineer olmayan sistemlerin analizinde bu tarz hesap geniş bir kullanım sahası bulmuştur. Bunlara ilaveten lineer olmayan sistemlerin analizinde ya çözümü basitleştirici bazı kabuller yaparak çeşitli parametreler ihmal edilmekte veya doğrudan lineer kabul ile çözümlere ulaşmaktadır. Sistemlerin lineer davranıştan uzaklaştıkça lineer kabulün hesap sonuçlarına getireceği hata oranının artacağı kuşkusuzdur (Aksoğan, 1986).

İhtiyaçların farklı alanlara kayması nedeniyle, günümüz yapı mühendisliğinde yüzeysel taşıyıcı sistemlerin analizi büyük önem taşımaktadır. Dairesel plaklarda mühendisliğin çeşitli dallarında önemli bir yeri olan elemanlardır. Bu tür plaklar bir taraftan uygulamadaki önemi, diğer taraftan teorik olarak ilgi çekici olması nedeniyle pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir.

Yüzeysel taşıyıcı sistemlerin çözümü kapalı matematiksel ifadelerinin geliştirilmesi zor olduğundan daha çok sayısal teknikler ile çözülmektedir. Örneğin, kabuklar matematiksel formülasyonu ve geometrik yapısı nedeniyle karmaşık sistemler arasında olup, kapalı çözümlerin elde edildiği haller sınırlıdır (Omurtag vd, 1995).

Bilgisayar tekniğindeki gelişmelere paralel olarak denklemlerin matris formda ifade edilmesi ve bilgisayar ortamına aktarılmasındaki kolaylıklar neticesinde hesap yöntemleri sayısal analiz lehine gelişmeler göstermiştir. Hesap tekniklerindeki bu gelişmeler nedeniyle lineer kabul yerine parça parça lineerleştirerek adım adım hesaplama, ardışık yaklaşım veya bu tür sistemlerde süperposizyon metodu geçerli olmadığından (Çakıroğlu vd, 1975) ardışık yük artım metotları gibi lineer olmayan sayısal analiz yöntemleri çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde sonlu farklar, sonlu elemanlar, sınır elemanlar gibi pek çok metot mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Sonlu elemanlar metodu; geometri ve malzeme bakımından lineer olmayan problemlerdeki performansı, sınır şartlarının çözüme rahatlıkla dahil edilmesi, yükleme ve sistemin karmaşık olmasının çözümlere herhangi bir dezavantaj getirmemesi nedeniyle teorisyenler tarafından en fazla tercih edilen sayısal analiz tekniği olmuştur. Ancak sayısal çözüm tekniğinin de çeşitli olumsuz tarafları mevcuttur. Örneğin bir elastik sürekli ortamda, temas noktalarının gerçek sayısı sonsuzdur ve bu sayısal çözümün zorluğundaki temel nedenlerden biridir (Zienkiewicz, 1971). Bununla beraber sayısal teknikler uygulama potansiyelinin ve üzerinde çalışan araştırmacının fazla olması nedeniyle günümüzde kullanılan en etkili metottur.

Son elli yıldaki teknik ilerlemelerin en önemlilerinden biri hızlı sayısal bilgisayarlar olmuştur. Bu bilgisayarlar, doğuşlarına katkısından dolayı bazen büyük matematikçi Von Neumann'ın adıyla anılır. Bilgisayarlar da beyin gibi sayılar ve simgelerle işlem gördüklerinden, beyin çok komplike bir Von Neumann bilgisayarı olarak düşünülebilir. Ancak bir bilgisayarın temel birimi olan bir transistörün birkaç girişi ve çıkışı olmasına rağmen, ortalama bir nöronun bir kaç yüz ile on binler arasında girişi ve bir o kadarda akson bağlantısı vardır. Diğer yandan bilgisayarlarda işlemler ardışık iken beyinde işlemler koşuttur. Örneğin her bir gözden beyne giden bir milyon kadar aksonun hepsi aynı anda çalışmaktadır. Beynin, buna benzer pek çok üstünlüğü pek çok teorisyenin ilgisini çekmiştir. Bu nedenle yapay zekanın bir alt kolu olarak gelişen yapay sinir ağları günümüze kadar pek çok bilimsel laboratuvar ve ülke tarafından çok büyük ödenekler ile desteklenmiştir. Bu konudaki gelişmeler başlangıçta çok kısıtlı bir kesimi ilgilendirse de günümüzde hemen bütün disiplinlerde yapay zeka uygulamaları ağırlığını hissettirmekte, bilim, endüstri, tıp ve askeri alanlarda bu konuya büyük ödenekler ayrılmaktadır.

Bu çalışmada dairesel plakların yapay sinir ağları ve fuzzy küme teorisi kullanılarak analizi verilmiş ve geliştirilen program yardımıyla çeşitli yük ve mesnet şartlarına sahip örnekler çözülmüştür.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI VE FUZZY (BULANIK) KÜME TEORİSİ

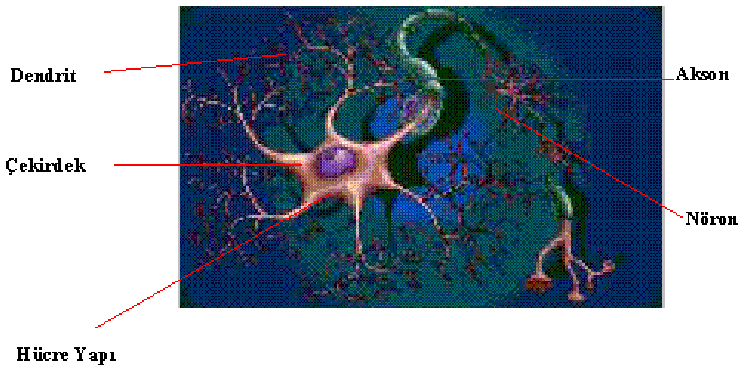
Canlı hücrelerin en önemli özelliği, kimyevi potansiyel enerjiyi kendi organize yapılarını korumak için gerekli diğer enerji şekillerine çevirebilmeleridir. Her hücre entropisinin artmasına yani dağılmasına mani olmak için enerji sarf etmek zorundadır. Çevredeki değişiklikleri, bunların kendi üzerine tesir derecesini, yani, düzenini, dengesini, biyolojik deyimiyle homeostasis' ini ne dereceye kadar bozabileceğini bilmesi, gerekli ayarlamaları yapması, bu ayarlamaların da ne dereceye kadar hedefe uygun olduğunu ölçmesi ve gereken düzeltmelerde bulunması, kısaca çevreye uyumunu sağlaması, canlılığını devam ettirebilmesi için bir "Haber Alma- Karar Verme- İcra" sistemine ihtiyaç vardır. İşte sinir sistemi denilen fevkalade farklılaşmış canlı doku bu önemli vazifeyi yerine getirmektedir.

Bu nedenlerle bilim adamları beynin yaptığı bu işlemleri yapabilecek bilgisayarlar ve neticede robotlar yapmak için yapay zeka konusunda çalışmaya başlamışlardır. Bilgisayar teknolojisinin günümüze kadar ki aşamalarında da görülen hep daha mükemmele ulaşma arzusudur. Bilim adamları vardıkları mükemmeliyetin son noktasını hep tabiatta bulmuş ve kendilerine tabiatta var olanları örnek olarak seçmişlerdir. İşte bilgisayar teknolojisinde de ulaşılmak istenen nokta insan beyninin gerçekleştirdiği fonksiyonları ve işlevleri yerine getirebilen bir yazılım ortaya koymaktır. Bunun başlıca nedeni insan beyninin; düşünme, var olan bilgi ve tecrübelerden sonuç çıkarma, karar verme gibi işlemleri yerine getirebilmesi ve bunları mili hatta nano saniyeler mertebesinde gerçekleştirme becerisidir.

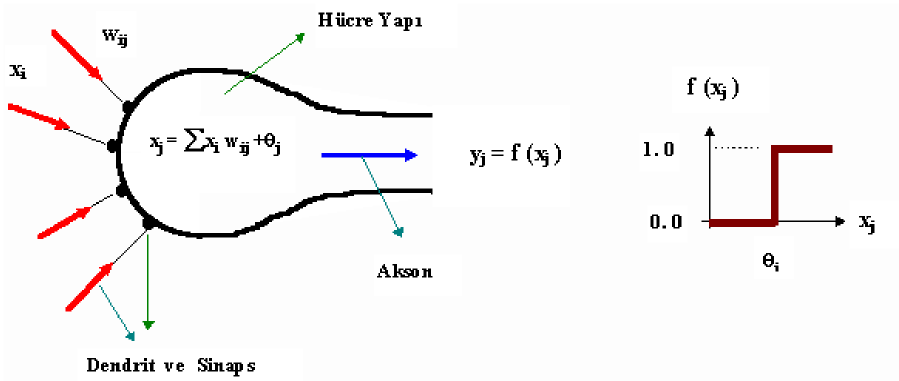
Yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma mekanizması taklit edilerek geliştirilen ve biyolojik olarak insan beyninin yaptığı temel işlemleri belirli bir yazılımla gerçekleştirmeyi amaçlayan bir mantıksal programlama tekniğidir (Civalek,1998). Bilgisayar ortamında, beynin yaptığı işlemleri yapabilen, kara veren, sonuç çıkaran, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden,öğrenen,hatırlayan bir algoritma kısaca "Yapay Sinir Ağları" olarak adlandırılır. Kohonen; yapay nöral ağların adaptif elemanların yoğun bir şekilde paralel olarak bağlanmasıyla oluşan ve gerçek dünyadaki cisimlerle aynen biyolojik sinir sisteminin yaptığı gibi ilişkide bulunabilmeleri için hiyerarşik organizasyonları düzenlenmiş yapılar olduğuna dikkat çeker (Kohonen, 1980).

Yapay sinir ağlarındaki işleme elemanları biyolojik olarak insan beynindeki nöronlara karşılık gelmektedir (Şekil 1). Dendrit olarak adlandırılan yapı, diğer hücrelerden bilgiyi alan nöron girişleri olarak görev yapar. Diğer hücrelere bilgiyi transfer eden eleman aksonlardır. Dolayısıyla aksonlar nöron çıkışları olarak görev yaparlar. Akson ile dendrit arasındaki bağlantı ise sinapslar tarafından gerçekleştirilir.

Yapay sinir ağlarının işleyişi de buna benzer olarak gelişmektedir. 1940 yılında McCulloch ve Pitts nöronun, mantık sistemlerinde basit eş değer yapısıyla modellenebileceğini ortaya atmışlardır. Bu amaçla yaptıkları çalışmalar sonunda Şekil 2'de görüldüğü gibi bir yapay nöron modeli geliştirmişlerdir. Bu modele göre, bir nöron N tane ağırlıklandırılmış girişi toplamakta, bir eşik değeri bu toplamdan çıkartıp sonucu lineer olmayan bir fonksiyondan geçirmektedir (Ghaboussi, vd.,1991).



Şekil 1. Biyolojik bir nöron ve elemanları



Şekil 2. Mcculloch-Pits Yapay nöron modeli

Bir yapay sinir ağında herhangi bir katmandaki j. birime gelen toplam giriş, önceki katmandaki birimlerin y_i çıkışlarının (ilk katman için girişlerin) bağlantılar üzerindeki w_{ij} ağırlıkları ile hesaplanmış ağırlıklı toplamıdır ve,

$$x_j = \sum_i w_{ij} y_i \quad \text{.................................(1)}$$

şeklinde ifade edilir. Birimin çıkışı, bu toplam girişi lineer olmayan bir fonksiyondan geçirerek belirlenir. Bu amaçla pek çok fonksiyon kullanılmasına rağmen geri yayılma ağında en fazla tercih edilen, yakınsama şartını çoğunlukla sağladığından sigmoid fonksiyondur. Sigmoid fonksiyon monotonik sınırlı bir fonksiyondur ve lineer olmayan çıkışlar üretir (Zurada,1992). Bu fonksiyon,

$$y_j = \frac{1}{1 + e^{-x_j}} \quad \text{.................................(2)}$$

şeklindedir.

2.1 Geri-Yayılma Sinir Ağları

Bu yöntem uygulamada getirdiği kolaylıklar nedeniyle günümüzde hemen bütün disiplinlerde kullanılan bir yöntemdir. Geriye yayılım ifadesi esasında yapay sinir ağları için özel bir öğrenme tekniğidir. Ancak genel olarak geri yayılma algoritması kullanılan ağın topolojisi olarak bilinir. Geriye Yayılma Algoritması, günümüzde pek çok disiplinde, özellikle mühendislikte en çok kullanılan öğrenme algoritmasıdır. Bunun en büyük nedeni öğrenme kapasitesinin yüksek ve algoritmasının basit olmasıdır. İlk olarak Werbos tarafından 1974 yılında geliştirildiği bilinen bu teknik ancak 1986 yılında Rumelhart tarafından bilim dünyasına tanıtılmış ve bu metot sayesinde yapay sinir ağı çalışmaları hızlanmıştır(Simpson,1991).

Geri yayılma ağlarında kullanılan eşik fonksiyonu (sigmoid fonksiyon) yakınsama şartını çoğunlukla sağlamaktadır. Sigmoid fonksiyon j_j çıkışını 0 ile 1 değeri arasında sınırlamaktadır. Geriye yayılma ağında, öncelikle ilk katmana bir giriş vektörü uygulanır. Daha sonra giriş ve 1. katman arasındaki ağırlıklar yardımıyla 1. Katmandaki her birim'in aldığı toplam giriş belirlenir. Her birim girişini lineer olmayan bir fonksiyondan geçirerek bir sonraki katmana göndereceği çıkışı belirler. Bir katmandaki tüm birimlerin durumları paralel olarak belirlenir. Bu işlem çıkış katmanındaki birimlerin durumları belirleninceye kadar sırayla tekrar edilir.

Geriye yayılma algoritması, gerçek çıkış (ağ çıktısı) **y** ile istenen çıkış **d** arasındaki karesel hatayı minimum yapmak için gradyen azalma (gradyen descent algorithm) algoritmasını kullanır. **k.** örnek yada **k.** adım için karesel hata **E(k)** ve **c.** çevrimde tüm örnek çiftleri için toplam karesel hata **E (c),** (Zurada,1992);

$$E(k) = \sum_{i=1}^{M}\left(d_i(k) - y_i(k)\right)^2 = \left\|d(k) - y(k)\right\|^2 \qquad \text{.................................(3)}$$

$$E(c) = \sum_{k=1}^{p}\left\|d(k) - y(k)\right\|^2 \qquad \text{.................................(4)}$$

olarak yazılabilir. Esas olarak geriye yayılma algoritması, bir iterasyon da yapılan hatayı minimize eder (grup uyarlamalı öğrenme). Öğrenme oranı yeterince küçükse **E(k)'** yı minimize etmekle (veri uyarlamalı öğrenme) E **(c)'** nin de minimize edildiğini Rumelhart göstermiştir.

3. FUZZY KÜME KURAMI

Çağımızda bilginin yönetimi, işlenmesi ve geliştirilmesi önemli bir olaydır. Bilginin insanlar tarafından değerlendirilmesi en genel haliyle iki aşamada incelenebilir. Dünyadaki karakterleri bilmek ve sonra bilginin kendisinin karakterini bilmek (Ross, 1992). İkinci düşünce aşaması birincinin başarısızlığından doğmuştur. Bu ikinci tarz düşüncenin oluşumu, bilginin mümkün olmasının içinde yapılan ve mümkün olmanın limiti (sınırları) içinde olan bir araştırmadır.

Bilginin evrimi içindeki diğer bir aşama ise onun değerlendirilmesi ve sistematik olarak sınıflandırılmasıdır. Bilginin sınıflandırılması ise bir hayli teorik bir mesele olup ve uzmanlık gerektirmektedir. Buna ilaveten bilgi teriminin farklı disiplinlerde farklı anlamları olup değerlendirilmesinde buna dikkat edilir. Bu işlem süresinde hassasiyet yine her disiplin için farklı farklı anlamlardadır. Yani bilginin anlamı izafidir. Örnek olarak 25^{o} C sıcaklık bilgisinin bir meteoroloji uzmanında uyandırdığı etki ile bir mühendis de ve bir hekimde uyandırdığı etki farklı farklıdır. Bu bilgi, yani 25 ^{o} C sıcaklık ifadesi kimyasal bir işlem için çok hassas bir kontrol gerektirse de örneğin inşaat mühendisliği eğitiminde bu değer o kadar hassas bir ölçüm gerektirmemektedir. Çünkü bir yapı elemanının dayanımını kaybettiği sıcaklık derecesi on binler mertebesinde bir hassasiyet gerektirmez. Oysa sıcaklığa duyarlı hassas bir on/of devresinde sıcaklığın kontrolü çok hassas bir ölçüm gerektirebilir. Yani sıcaklık bilgisinin değerlendirilmesi ve işlenmesi onun kullanım alanı ile de direkt ilgili olmaktadır.

Tabiattaki hadiselerin biri birine göre rölatif (izafi) değişimler göstermesi bilginin değerlendirilmesinde göz önüne alınması gereken bir kriterdir. Bununla birlikte tabiatta yani gerçek dünyada var olan olaylar biri birinden çok kesin çizgilerle ayrılmamakta ve bir sebep-sonuç ilişkisi içinde gelişmektedir. Bu ilişki pek çok parametreyi içermektedir. Yani tabiattaki olaylar kesin çizgileri olmayan kompleks sistemlerdir. Bir başka ifadeyle gerçek dünya esnektir.

3.1 Klasik küme teorisi

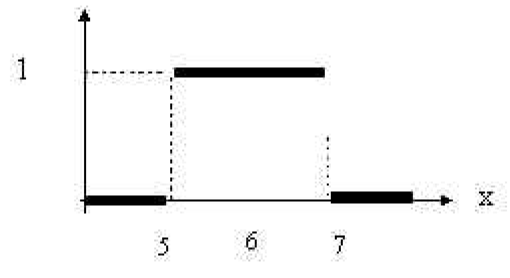
Matematikten bilineceği üzere küme veya cümle, ayırt edilebilen belirli nesnelerin bütünüyle idrak edilmiş veya kavranmış topluluğu olarak tarif edilir. Bir başka ifadeyle, sözü edilen kümeye neyin ait olduğu ve neyin ait olmadığı konusunda herhangi bir şüphenin olmadığı, kümeye ait olan elemanların tamamen belirlenebildiği topluluktur. İşte bahsedilen bu topluluğa veya nesnelere bu kümenin elemanları denir. Örneğin bir A kümesi ve onun elemanları,

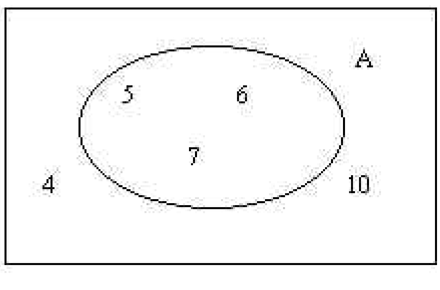
A = {5,6,7 }

şeklinde gösterilsin. Bu gösterim kümenin liste yöntemiyle gösterimidir. Buna göre A kümesi üç elemanlı bir küme olup 5,6 ve 7 bu kümenin elemanlarıdır. Bu kümeyi şartlı bir fonksiyon şeklinde de göstermemiz mümkündür. Buna göre

A = { x | x ³ 5 ve x £ 7 }

olur. Yani göz önüne alınan bir eleman bir kural ile verilmiş kümenin ya elemanıdır(1) veya elemanı değildir(0) denir. Bu ifadenin grafiksel gösterimi Şekil 3.a'da verilmiştir. Böylece 5, 6 ve 7 elemanları A kümesinin elemanı olup, kümeye ait olma dereceleri 1 iken bunun dışında kalan tamsayılar A kümesinin elemanı değildir ve 0 üyelik derecesine sahiptir denilir.





Şekil 3. Keskin A kümesinin gösterimi

A kümesinin bir başka gösterimi de Şekil 3.b'de verilmiştir. Görüldüğü gibi A kümesinin sınırları kesin olarak belirlenmiş ve 4 ile 10 elemanları A kümesinin dışında kalmış yani 0 üyelik derecesine sahip olmuşlardır.

Elemanların bu şekilde mevcut bir kümeye dahil edilip edilmemesi konusunda kesin bir sınırın bulunduğu klasik küme teorisi uygulamada esnek olmamaktadır. 1960' lı yıllarda teorisi oluşturulan yeni bir küme kuramı tabiattaki uygulamalar için daha esnek olmuştur. İlk defa L. A. Zadeh tarafından ortaya atılan ve geliştirilen bu yeni teknik Fuzzy (Bulanık) küme teorisi olarak bilinmektedir. Ancak, Fuzzy mantığı olarak bilinen bu teknik sadece küme işlemleri ile ilgilenmemektedir. Teoride ve uygulamada (İstatistik, Endüstri, Askeri uygulamalar, Mühendislik, Tıp, Matematik vb.) pek çok disipline adapte edilmiş pek çok teorisi ve uygulaması mevcuttur.

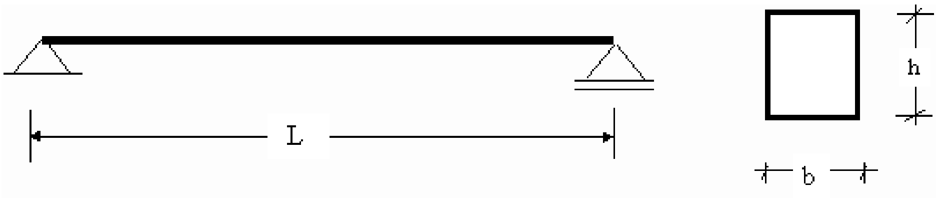
3.2 Fuzzy Küme Teorisi ve Fuzzy Mantığı

Bulanık küme teorisi, klasik küme teorisine alternatif olarak L.A. Zadeh (Zadeh, 1964) tarafından ortaya atılmıştır. Zadeh bu çalışmasında klasik küme teorisinin tanımlayamadığı kümelerden hareket ederek, bu tanımlara ulaşmanın yollarını aramıştır. Zadeh' e göre gerçek dünyada bir kümenin (uzayın) elemanları arasındaki ilişkiler kesin olarak tanımlanamamaktadır. Bundan dolayı, sözü edilen kümede ortaya atılan problemler kolaylıkla çözülememektedir. Klasik küme teorisinden kaynaklanan bu problem, klasik mantığın kabulü olan var - yok çiftinin ara değerlerini tanımlamakla yok edilebilir. Bulanık küme teorisinin ortaya atılmasından sonra, Zadeh 1973' de yayınladığı çalışmalarında, bulanık küme teorisinin, en büyük yaklaşıklıkla insanın karar verme sistemini modelleyebilecek yeterlilikte olduğu fikrini ortaya atmıştır.

Keskin küme veya klasik küme teorisinde, bir karakteristik fonksiyon göz önüne alınan bir evrensel küme içinde herhangi bir elemanın 0 veya 1 değeriyle kümeye ait olup olmadığını belirlemekte, böylece küme elemanları ile elemanı olmayanlar arasında kesin bir ayrım bulunmaktadır. Bu fonksiyon evrensel kümedeki elemanların gerçekte bu kümeye ait olabilme şiddetiyle veya yoğunluğuyla orantılı olarak genelleştirilebilir. Böylece elemanlar aldıkları üyelik dereceleriyle kümeye ait olurlar. Böyle fonksiyonlara üyelik fonksiyonları ve bu kümelere de Fuzzy (Bulanık) kümeleri denir. X bir evrensel kümeyi tarif etmek üzere, A_f Fuzzy kümesinin üyelik fonksiyonu m_A ile gösterilir ve

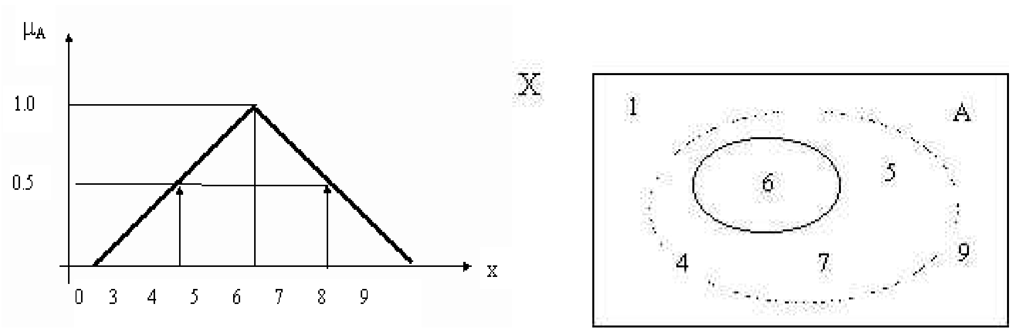
m_A : X ® [0, 1]

şeklinde tanımlanır. Örnek olarak klasik küme teorisinde tanımlanmış olan A kümesini dikkate alalım. Yeni kümemiz A_f olacaktır. Şekil 3' de verilen grafikler yeni tanımlamamıza göre farklı olacaktır. Ancak bu tanımlama üyelik fonksiyonu olarak adlandıracağımız ve x değişkenine bağlı olarak koşutlayacağımız fonksiyonun yapısına göre olacaktır. Yani getireceğimiz esnekliğin sınırları tarafımızdan ancak belirli bir gerçeğe dayandırılarak yapılacaktır. Örneğimizde ele alınan değerler metre olarak uzunluk göstersinler. Varsayalım ki bu değerler tek açıklıklı bir kirişin uzunluğunu göstersin. Deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında bu kirişi boyutlandıracağımızı varsayalım(Şekil 4). Bu amaçla kirişin boyu belirli bir değeri geçince veya belirli bir değerden küçük kalınca boyutlandırmada kesme kuvvetinin etkisini dikkate alıp almayacağımıza karar vereceğimizi düşünelim.



Şekil 4. Açıklığı ve boyutları verilmiş basit kiriş

Bu amaçla kiriş boyu L için bir üyelik fonksiyonu belirleyerek A_f kümesini teşkil edersek Şekil 3' de verilmiş olan gösterimler bulanık küme için aşağıdaki şekilde (Şekil 5) olabilecektir. Ancak bu gösterim belirli bir üyelik fonksiyonu verilmediğinden sadece şeklen çizilmiştir. Uygulamada bu çizim belirli bir üyelik derecesine uygun çizilmelidir. Şekil 5.a'da görüleceği üzere 5, 6 ve 7 haricindeki elemanlar da kısmen kümenin elemanı olabilmektedir. Uygulamada üçgen, yamuk ve lineer olmayan üyelik fonksiyonları mevcuttur. Klasik küme gösterimine benzer olarak burada da kümenin elemanları ve sınırları Venn diyagramında gösterilebilir (Şekil 5.b)



a b

Şekil 5. A kümesinin fuzzy gösterimi a. Üyelik dereceleri b.Venn diyagramı

3.3 Fuzzy Küme Teorisinin Özellikleri

Klasik kümede mevcut olan özelliklerin hepsi Fuzzy küme teorisinde tanımlanmıştır. Kümeler üzerine olan birleşim, kesişim, fark vb. özelliklerin bulanık küme kuramındaki tanımları farklıdır. Bu özelliklerin kullanılmasıyla pek çok mühendislik problemi çözülebilmektedir. Herhangi bir A Fuzzy kümesinde x_i bu kümenin dayanak elemanı olsun. m_i 'de A_f Fuzzy kümesinde üyelik derecesi olmak üzere,

$A_f = m_1 / x_1 + m_2 / x_2 +$ ....+ m_n / x_n ....(5)

ile verilir. Böylece

$A_f = \sum_{i=1}^{n} \mu_i / x_i$ ....(6)

şeklinde verilir. Eğer x reel sayılar aralığında ise,

$A_f = \int_x \mu_A(x)/x$ ....(7)

olur. X evrensel kümesinde A_f, B_f ve C_f gibi üç bulanık küme tanımlayalım. Bu kümeler için temel özellikler,

Birleşim m $_{(AÈ\,B)f}$(x) = max[m $_A$(x), m $_B$ (x)]

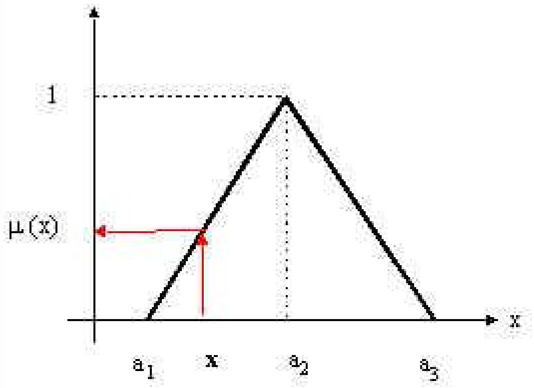
Kesişim m $_{(AÇ\,B)f}$(x) = min[m $_A$(x), m $_B$ (x)]

Tamamlayıcı m $_{A^-}$ (x) = 1- m $_A$ (x) olarak tanımlanır. Burada yapılan işlemelerin hepsi üyelik derecelerine bağlı olarak yapılmaktadır.

3.3.1 Üçgen Üyelik Fonksiyonları

Bulanık küme kavramında belirli bir çerçeve ile sınırlandırılmış bir küme içindeki elemanların çeşitli üyelik dereceleri ile kümeye ait olabileceğini biliyoruz. Bu üyelik derecelerinin belirlenmesinde pek çok formülasyon ve teknik kullanılmaktadır. Bunlar lineer ve lineer olmayan fonksiyonlar olabileceği gibi üçgen ve çan eğrisi olarak adlandırılabilecek bilinen şekillerde de olabilmektedir. Bu çalışmada kalınlıkların normalize edilmesinde üçgen üyelik fonksiyonu kullanılacaktır. Üçgen üyelik fonksiyonu matematik ifadeyle (Adeli ve Yeh, 1992);

$$\mu_j(x) = \begin{cases} 0, & x \langle a_1 \quad için \\ \dfrac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \langle a_2 \quad için \\ 1, & x = a_2 \quad için \\ \dfrac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \langle x \leq a_3 \quad için \\ 0, & x \rangle a_3 \quad için \end{cases}$$



Şekil 6. Üçgen üyelik foksiyonu

olarak tanımlanır. Yine bu ifade grafik olarak Şekil 6.'daki gibi tanımlanabilir.

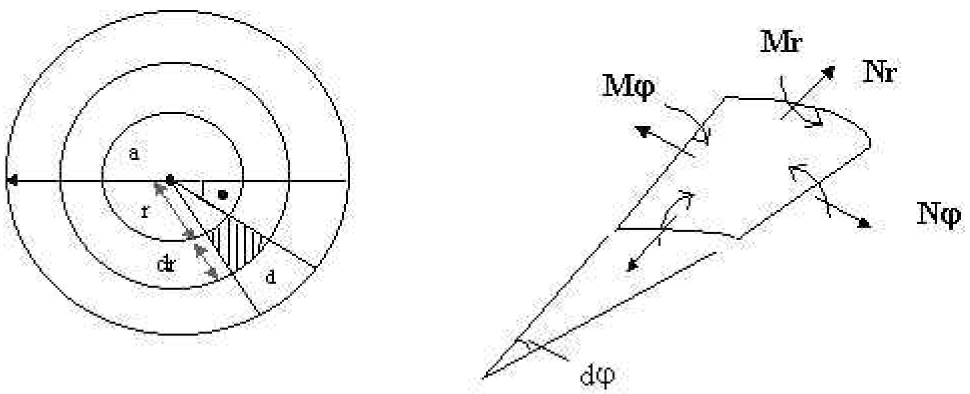
4. TEKNİĞİN İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANIM POTANSİYELİ

Geçen on yıl içerisinde yapay sinir ağları yapı sistemlerinin analizine başarıyla uygulanmıştır. Yapılardaki hasarların belirlenmesi konusunda yapılan çalışmada (Szewezyk ve Hajela, 1992) yapay sinir ağları uygulaması hayli ümit verici olmuştur. Yapay sinir ağları boyutlandırma problemlerine başarıyla uygulanmış, (Kang ve Yoon, 1994) elde edilen sonuçların klasik optimisazyon teknikleri kullanılarak elde edilen sonuçlardan daha elverişli olduğu gösterilmiştir. Yine betonun farklı yüklemeler altındaki gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının belirlenmesine (Ghaboussi et.al., 1991) başarıyla uygulanmış ve çalışmada malzeme davranışı ile ilgili herhangi bir kabul yapılmamıştır. Yapılan başka bir çalışmada (Vanluchene ve Roufei, 1990) köprülerin dinamik analizinde aynı tekniği kullanmışlardır. Yapay sinir ağları tekniği betonarme elemanlardaki zamana bağlı etkilerin analizine (Civalek, 1997a) başarıyla uygulanmış elde edilen sonuçlar çeşitli yazarlar tarafından verilen teorik ve deneysel sonuçlara çok yakın çıkmıştır. Yine Adeli ve Yeh tarafından yapılan çalışmada (Adeli ve Yeh,1989) mühendislik sistemlerinin analizinde tekniğin kullanım esasları ve çeşitli örnekler sunulmuştur. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve yapıların dinamik analizinde metot başarıyla uygulanmış (Civalek, 1997b)ve sonuçlar çok sağlıklı bulunmuştur.

Ülkemizde bir kaç yıllık bir geçmişi olan bu konuda her geçen gün yeni bir çalışma yapılmakta, metodun kullanılabilirliği ve üstünlüğü zaman zaman kendisini göstermektedir. Ayrıca, deney sonuçları ile ağın eğitilmesi deneysel çalışmalar ile birlikte kullanılması halinde sonuçların bir hayli sağlıklı olacağını düşündürmektedir. Halen gelişmekte olan tekniğin klasik programlamadan üstün olacağını söylemek ise her zaman mümkün değildir. Ancak klasik programlama tekniği ile veya sayısal analiz metotları ile çok uzun sürede çözülebilecek problemler daha hızlı ve eğitim tamamlandıktan sonra daha seri bir şekilde çözülebilir. Bu çalışmada daha önce yazar tarafından geliştirilen *civalek* (problem solving in *civ*IL ENGINEERING BY ARTIFICI*al* N*e*URAL NETWOR*k*) programı kullanılmıştır.

5. AĞIN EĞİTİLMESİ

Bu çalışmada dairesel plakların radyal ve teğetsel doğrultudaki momentleri hesaplanmıştır. Bir dairesel plak geometrisi ve diferansiyel elemandaki kesit tesirleri Şekil 7' de verilmiştir (Çetmeli ,1990). Sabit mesnet ve ankastre mesnet durumları göz önüne alınarak nöral ağ tekil yük ve ünüform yayılı yük için ayrı ayrı eğitilmiştir. Tekil yük plağın orta noktasına etkimektedir..



Şekil 7: Dairesel Plak ve Kesit Tesirlerinin Pozitif Yönleri

Dairesel plakların eğitim setinde momentler için

$$M_r = \frac{q \cdot a^2}{m_r}, \quad M_\varphi = \frac{q \cdot a^2}{m_\varphi}$$

ve deplasman için

$$\delta_{max} = \frac{q\,a^4}{kE\,h^3}$$

bağıntıları kullanılmıştır. Yine eğitim için çizelgelerde **r/a** oranına bağlı olarak verilen $\mathbf{m_r}$, **mj** , **k** değerleri kullanılarak istenildiği kadar moment ve deplasman elde edilmektedir. Formüllerde;

a = Dairesel plağın yarıçapı

r = Bir kesitin plak merkezine uzaklığı

j = Dairesel plağın merkez açısı

M_r = Radyal doğrultudaki eğilme momenti

Mj = Teğetsel doğrultudaki eğilme momentini

göstermektedir. Radyal ve teğetsel doğrultudaki momentler için kullanılan ağ topolojisi Şekil 8'de verilmiştir. Burada da yine girdi vektörü elemanları eğitim setindeki ilgili elemanların 0 ile 1 aralığında olacak şekilde ilgili sayılara bölünerek normalize edilmiştir.

6. DELTA ÖĞRENME KURALI

Bu çalışmada ağın eğitiminde delta öğrenme kuralı kullanılmıştır. Delta öğrenme kuralı, tek katmanlı genlikte sürekli algılayıcı tipi ağlar için geliştirilen bir öğrenme kuralıdır. Türetilebilir fonksiyonlara sahip olan ağlara uygulanabilen denetimli bir öğrenme algoritmasıdır. İleri yön işlemleri vektör-skaler formda N girişli ve M çıkışlı bir ağ için

$s_i = \mathbf{w_i}^T x + b_i$ (i = 1,2, ...M) ....(8)

$y_i = f(s_i)$ ....(9)

şeklinde yazılır. Denklem matris-vektör formda

$s = \mathbf{W}\,x + b$

$y = F(s)$

olarak yazılır. Delta öğrenme kuralı istenen çıkış d ile ağın çıkışı arasındaki denklem 4 ile verilen karesel hatayı minimum yapan bir metot dur. Karesel hatayı minimum yapmak için gradyen azalma algoritması kullanılır. Karesel hata fonksiyonunun w' ya ve b'ye göre gradyeni nin negatif doğrultusunda hareket edilerek hata azaltılır. Kural ağırlıklar için çıkartılıp eşik için yazılacaktır. Buna göre herhangi bir ağırlık için değişim şu şekilde tanımlanır;

$\Delta w_{ij} = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}$ ....(10)

şeklinde tanımlanır. Zincir kuralı kullanılarak bu ifadenin sağ tarafındaki ikinci terim

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial s_i}\frac{\partial s_i}{\partial w_{ij}}$$ ....(11)

olarak yazılır. Bu eşitlikte çarpımın ilk terimi d hata terimi olarak adlandırılır ve

$$\delta_i = \frac{\partial E}{\partial s_i}$$ ....(12)

olarak tanımlanır.(11) denkleminin ikinci terimi kullanılarak

$$\frac{\partial s_i}{\partial w_{ij}} = x_j$$ ....(13)

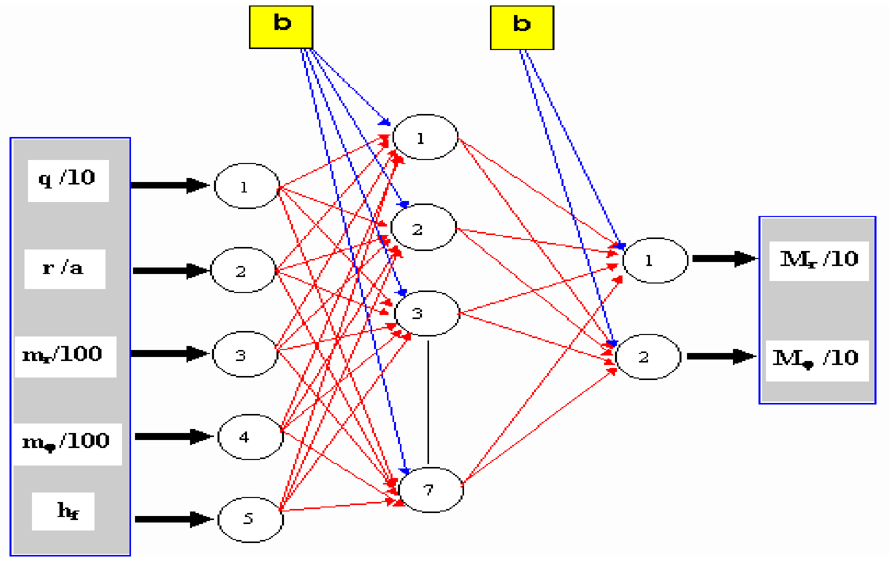
şeklinde yazılır. Bu durumda (11) denklemi

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = -\delta_i x_j$$ ....(14)

olur. Ağırlık değişim formülü (10) ise

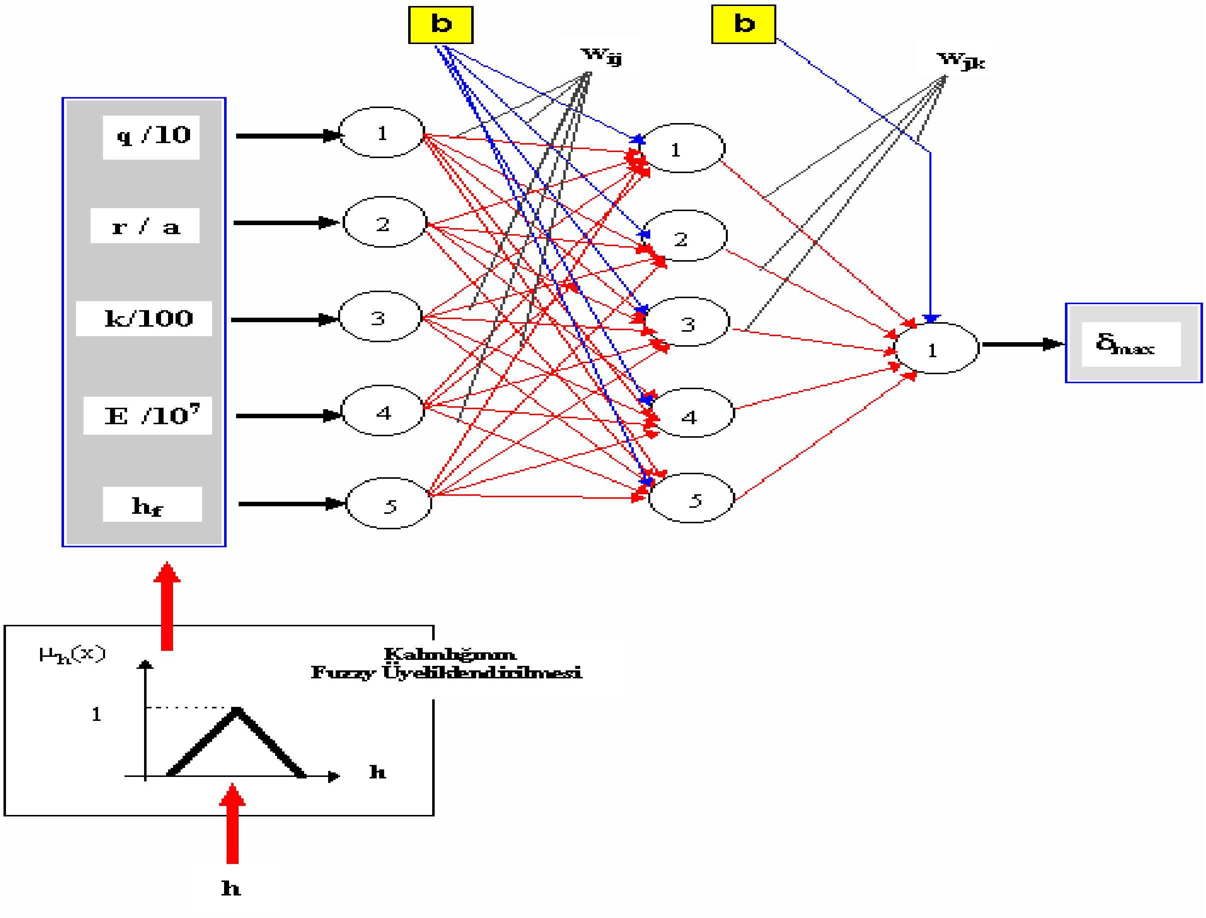
$$\Delta w_{ij} = \alpha \delta_i x_j$$ ....(15)

olarak yazılır.



Şekil 8: Dairesel Plak Momentleri İçin Kullanılan Ağ Mimarisi

Plak orta nokta deplasmanı için hazırlanan geri yayılma ağ mimarisi Şekil 9'da görülmektedir. Plak kalınlığı fuzzy küme teorisi kullanılarak normalize edilmiştir. Girdi vektörü elemanlarının normalize edilme işleminde her bir girdi kümesinde bulunan maksimum değer baz alınarak bütün elemanlar 0 ile 1 arasında olacak şekilde bir tam sayıya bölünmüştür. Yani girdi vektörü normalize edilirken aynı zamanda boyutsuzlaştırılmıştır.



Şekil 9: Dairesel Plak Deplasmanı İçin Kullanılan Ağ Mimarisi ve Kalınlığın Üyeliklendirilmesi

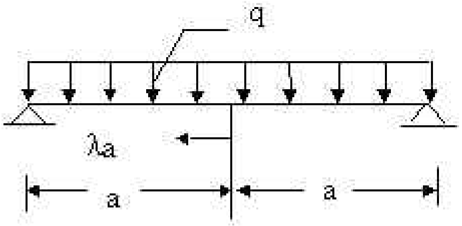
7. SAYISAL UYGULAMALAR

Dairesel plak'ın q = 2.0 kg/cm^2 ünüform yayılı yük etkisinde olduğu düşünülmüştür. Çözümlerde kullanılan sayısal değerler; Kalınlık h = 10 cm ve malzeme için elastisite modülü ,E = 2× 10^6 kg / cm^2 dir. Eğitimde l = r/a oranı dikkate alınarak elde edilen momentler vasıtasıyla ağ yeter hassasiyete eğitilmiştir.

Elde edilen sonuçlar çizelge ve grafik halinde, her bir durum yük ve mesnet şartı için verilmiştir. Çizelge halinde verilen değerlerin grafik format'ında tekrar verilmesinin sebebi klasik çözüm ile yapay zeka tekniği sonuçlarının daha rahat karşılaştırılabilmesi ve momentler için elde edilen sonuçların daha iyi yakınsadığını görmek içindir.

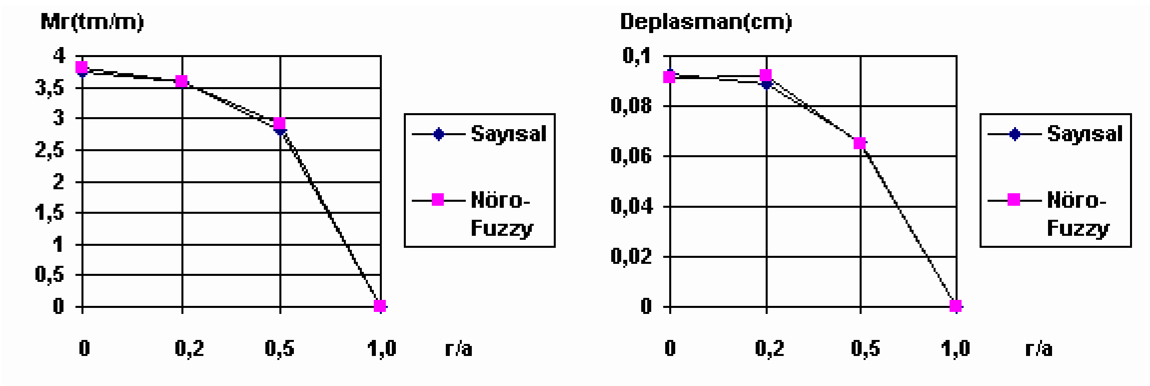
Elde edilen değerlerin gerçek değerlere alttan veya üsten yakınsayıp yakınsamadığı; mantıksal programlama tekniğinin sayısal metotlara benzer bir yaklaşımı olmadığından verilememiştir. Ancak genel olarak ağın yakınsaması(genel minimuma) iyi olduğundan sonuçlar yeterli hassasiyete sahiptir.

1. Durum : Sabit mesnet, ünüform yayılı yük hali.



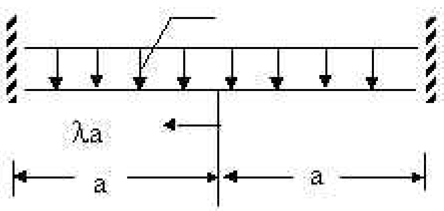
Çizelge 1: Sabit Mesnetlere Oturmuş Ünüform Yayılı Yük Etkisindeki Dairesel Plağın Radyal ve Teğetsel Doğrultudaki Moment ve Deplasmanları

	Klasik Çözüm (Çetmeli,1987)			Nöro- Fuzzy Sonuçları		
r /a	**Mj (tm/m)**	**M_r (tm/m)**	**d_{max} (cm)**	**Mj (tm/m)**	**M_r (tm/m)**	**d (cm)**
0	3.75	3.75	0.093	3.80	3.80	0.092
0.2	3.69	3.59	0.089	3.725	3.60	0.092
0.5	3.43	2.81	0.066	3.33	2.92	0.065
1.0	2.5	0	0	2.5	0.001	0.001



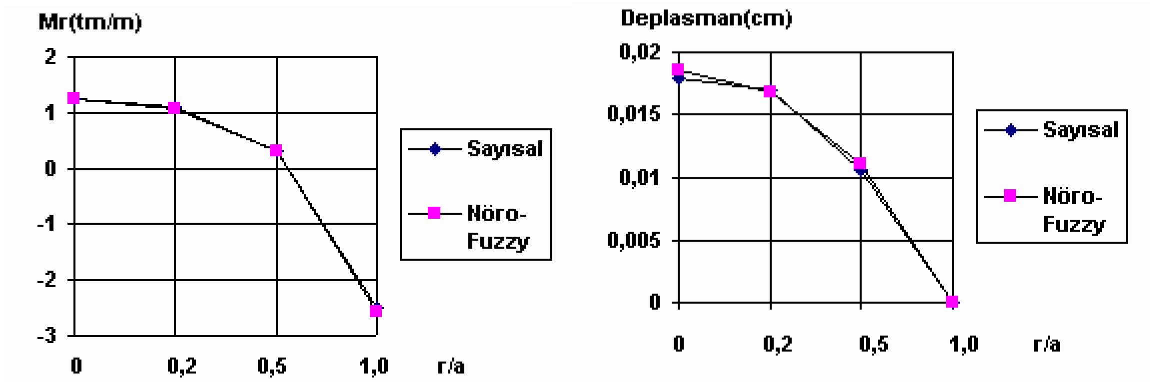
Şekil 10: Dairesel Plak İçin Radyal Doğrultudaki Moment ve Deplasmanın r/a ile Değişimi (Basit Mesnet, Ünüform Yayılı Yük)

2. Durum : Ankastre mesnetli ünüform yayılı yük etkisindeki dairesel plak.



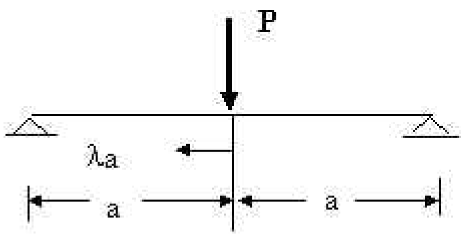
Çizelge 2: Ankastre Mesnetlere Oturmuş Ünüform Yayılı Yük Etkisindeki Dairesel Plağın Radyal ve Teğetsel Doğrultudaki Moment ve Deplasmanları

	Klasik Çözüm (Çetmeli, 1987)			Nöro- Fuzzy Sonuçları		
r /a	Mj (tm/m)	M_r (tm/m)	d_{max} (cm)	Mj (tm/m)	M_r (tm/m)	d (cm)
0	1.25	1.25	0.018	1.25	1.25	0.0185
0.2	1.19	1.09	0.017	1.20	1.085	0.0168
0.5	0.93	0.312	0.0105	0.925	0.325	0.0110
1.0	0	-2.5	0	0	-2.6	0



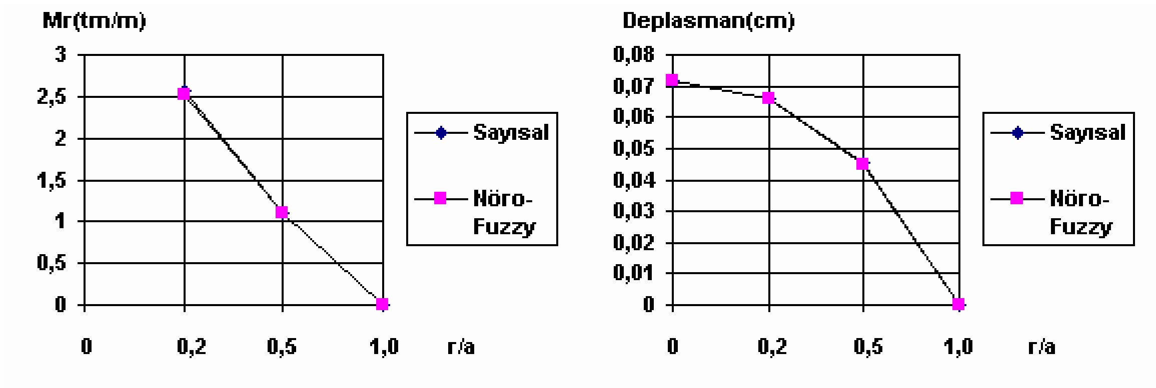
Şekil 11: Dairesel Plak İçin Radyal Doğrultudaki Moment ve Deplasmanın r/a ile Değişimi (Ankastre Mesnet, Ünüform Yayılı Yük)

3. Durum : Basit mesnet ve merkezi tekil yük durumunun incelenmesi.



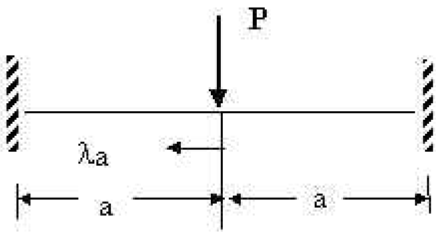
Çizelge 3: Sabit Mesnetlere Oturmuş Tekil Yük Etkisindeki Dairesel Plağın Radyal ve Teğetsel Doğrultudaki Moment ve Deplasmanları

	Klasik Çözüm (Çetmeli,1987)			Nöro- Fuzzy Sonuçları		
r /a	Mj (tm/m)	M_r (tm/m)	d_{max} (cm)	Mj (tm/m)	M_r (tm/m)	d (cm)
0	¥	¥	0.0714	-	-	0.072
0.2	4.149	2.56	0.0657	4.15	2.525	0.066
0.5	2.695	1.104	0.0454	2.70	1.1125	0.045
1.0	1.587	0	0	1.585	0	0.0001



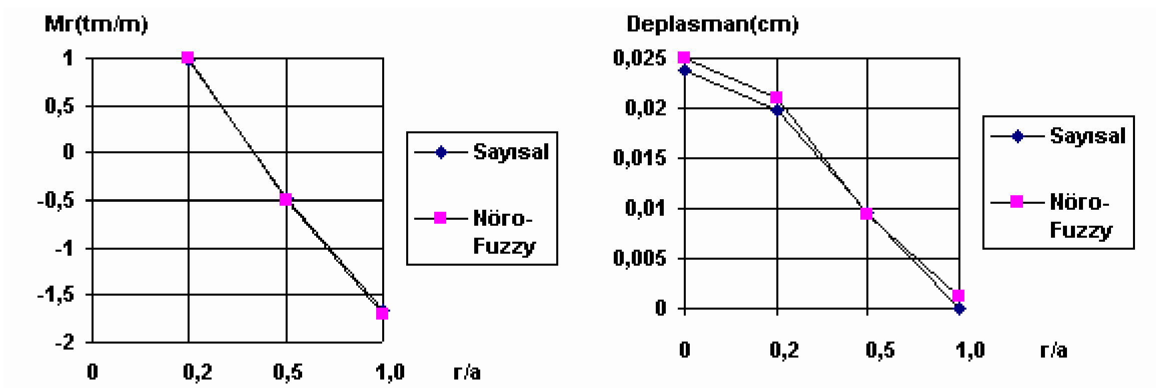
Şekil 12: Dairesel Plak İçin Radyal Doğrultudaki Moment ve Deplasmanın r/a ile Değişimi (Sabit Mesnet, Merkezi Tekil Yük)

4 Durum : Ankastre mesnet ve merkezi tekil yük olması durumu.



Çizelge 4:. Ankastre Mesnetlere Oturmuş Tekil Yük Etkisindeki Dairesel Plağın Radyal ve Teğetsel Doğrultudaki Moment ve Deplasmanları

	Klasik Çözüm (Çetmeli,1987)			**Nöro- Fuzzy Sonuçları**		
r /a	**Mj (tm/m)**	**M_r (tm/m)**	**d $_{max}$ (cm)**	**Mj (tm/m)**	**M_r (tm/m)**	**d (cm)**
0	¥	¥	0.0238	-	-	0.024
0.2	-2.56	0.97	0.0198	-2.61	1.0	0.02
0.5	-1.10	-0.487	0.0096	-1.12	-0.49	0.0094
1.0	0	-1.666	0	0	-1.70	0.0015



Şekil 13: Dairesel Plak İçin Radyal Doğrultudaki Moment ve Deplasmanın r/a ile Değişimi (Ankastre Mesnet, Merkezi Tekil Yük)

8. SONUÇ

Çalışmada, son yıllarda büyük bir gelişme gösteren ve yapay zeka uygulamalarının bir alt kolu olan yapay sinir ağları ve fuzzy küme teorisi kullanılarak dairesel plakların çözümü sunulmuştur. Bu amaçla yazar tarafından geliştirilmiş olan editör program kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda dikkate alınarak söylenebilir ki yapay zeka tekniği, yapı mühendisliğinde kullanılabilecek alternatif bir metot olma yolundadır. Gerek sonuçlarının hassasiyeti ve gerekse ağın eğitimi hariç yapılan işlemlerin klasik programlamaya göre daha basit oluşu tekniğin avantajıdır. Ancak kullanım potansiyeli ve uygulama alanının geniş olması nedeniyle klasik programlama halen pek çok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır.

Buna karşın yapay zeka veya bunun alt kolları olan uygulamalarda programa sonradan veri girişi yapılarak veya küçük değişiklikler ile farklı karakterde örnekler çözmek mümkündür. Bununla beraber sayıların sadece mühendise fikir vermek için var olduğunu düşünürsek elde edilen sonuçların değerlendirilmesi daha da önem kazanmaktadır. Yani bilginin elde edilmesi kadar kullanılması da önemlidir.

9. KAYNAKLAR

ADELI, H.; YEH, C.(1989) : Perceptron Learning in Engineering Design, "Microcomp. In Civ. Eng"., 4, pp. 247-256,

ADELI, H.; HUNG, S. L. (1995): "Machine Learning- Neural Networks, Genetic Algorithms and Fuzzy Systems". John Wiley & Sons, Inc.

AKSOĞAN, O. (1986): Nonlineer Yapı Analizi, Yapı Mekaniğinde Son Gelişmeler, 227-233, Trabzon

CİVALEK , Ö., (1997): The Analysis of Time Dependent Deformation in RC Members by Artificial Neural Network, Journal of Engineering Science., Vol. 3 –2, pp. 331-335

CİVALEK, Ö., (1997): Nöro- Fuzzy Tekniği Kullanılarak Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 4. Ulusal Deprem Konferansı, 17-19 Eylül, ODTÜ, Ankara , ss-431-439

CİVALEK, Ö.(1998): Nöro- Fuzzy Tekniği ile Dikdörtgen Plakların Analizi, III. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı, İ.T.Ü, İstanbul

ÇAKIROĞLU, A.; ÖZMEN, G.; ÖZDEN, E. (1974): "Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları", Cilt I-II, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul

ÇETMELİ, E. (1987): "Plaklar", İ.T.Ü yayınları, Yayın No:19

GHABOUSSI, J.; GARRETT, J. H.; WU, X. (1991): Knowledge - Based Modeling of Material Behavior with Neural Networks, ASCE, Jour. Of Eng. Mech., Vol. 117, No:1, pp. 132-153

KANG, H.Y.; YOON, C. J.(1994): Neural Network Approaches to Aid Simple Truss Design Problems Micro Comp. In Civil Eng. 9 pp. 211-218

KOHONEN, T. (1980): “Content Addressable Memories”, Springer Verlag, Newyork

OMURTAG, M.H.; ÜNLÜ, M.A; AKÖZ, A.Y.(1995): Takviyeli Silindirik Kabuklar İçin Geliştirilmiş Daha Uyumlu Bir Karışık Sonlu Eleman Modeli ile Delikli, Düzgün Değişken Kesitli Problemlere Uygulamalar, İMO Teknik Dergi, 993-1006

ROSS, T. J., (1995): “Fuzzy Logic With Engineering Applications”, McGraw-Hill, Inc

SIMPSON, P. K. (1991): Neural Network Paradigm, AGARD, 179, pp. 2(1-33)

SZEWEZYK, Z.P.; HAJELA, P. (1992): Neural Networks Based Damage Detection in Structures, In Procc. of eight Conf. on Computing in Civil Eng., pp. 1163-1170, Texas

VANLUCHENE, R. D.; ROUFEI, S.(1990): Neural Network in Structural Engineering, Micro Comp. In Civil Eng. 5, pp. 207-215

ZADEH, L. A., (1965): Fuzzy Set, Information Control , Vol.8-1, pp. 338-353

ZIENKIEWICZ, O.C. (1971) : The Finite Element Method in Engineering Science”, McGraw- Hill,

ZURADA, J. M., (1992): “Introduction to Artificial Neural Networks”,West Publishing Com.

Ek 1 . Program Genel Editörü

Aşağıda, hazırlanmış olan programın genel editörü ile ilgili menü görülmektedir.