

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MÜHENDİSLİK TASARIM SÜRECİNDE
BULANIK MANTIK VE BULANIK YAPAY SİNİR AĞI
KULLANIMI**

DOKTORA TEZİ

Fatih KESKİNKILIÇ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Alper GÖKSU

KASIM 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MÜHENDİSLİK TASARIM SÜRECİNDE
BULANIK MANTIK VE BULANIK YAPAY SİNİR AĞI
KULLANIMI**

DOKTORA TEZİ

Fatih KESKİNKILIÇ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez / /20.... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



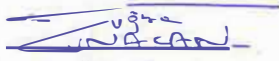
**Dr. Öğr. Üyesi
Alper GÖKSU
Jüri Başkanı**



**Prof. Dr.
İ. Hakkı CEDİMOĞLU
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi
M. Rıza ADALI
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi
Tuğba TUNACAN
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi
M. Ahmet Beyazıt OCAKTAN
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fatih KESKİNKILIÇ

20,11,2018

TEŞEKKÜR

Akademik hayatım için çok uğraşan doktora öğrenimim boyunca hem maddi hem de manevi olarak destekleyen çok sevdiğim babam Öğr. Gör. Kadir KESKİNKILIÇ'a ve annem Nermin KESKİNKILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım. Yine doktora öğrenimimde sıkıntılara ortak olan eşim Dr. Öğr. Üyesi Fatma KESKİNKILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Alper GÖKSU Hoca'ma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bundan önceki danışmanlıklarımı yaparak tezimin oluşmasında değerli fikirlerinden yararlandığım Prof. Dr. Tarık ÇAKAR Hoca'ma, Prof. Dr. Orhan TORKUL Hoca'ma, Prof. Dr. İ. Hakkı CEDİMOĞLU Hoca'ma ve Dr. Öğr. Üyesi M. Rıza ADALI Hoca'ma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam için gerekli olanakları sunan Ali ÇETİN Bey'e, Türkyılmaz DUMAN Bey'e teşekkür ederim. Tezin düzenlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Murat AKBAYIR Bey'e de teşekkürlerimi sunarım

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Mühendislik Tasarımı ve Süreci Tanımı.....	2
1.2. Tezin Amacı.....	11
1.3. Tezin Organizasyonu.....	12
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	13
2.1. Mühendislik Tasarım Süreci Teknikleri	13
2.2. Mühendislik Tasarım Sürecine İlişkin Tekniklerin İncelenmesi	23
BÖLÜM 3.	
MÜHENDİLİK TASARIM SÜRECİ İÇİN ÖNERİLEN BULANIK MANTIK VE BULANIK YAPAY SİNİR AĞI YAKLAŞIMI	28
3.1. Bulanık Mantık Modeli	29
3.1.1. Model yapısı ve parametreler.....	31
3.2. Bulanık Yapay Sinir Ağı Modeli	34
3.2.1. Model yapısı ve parametreler.....	34

BÖLÜM 4.

ÖNERİLEN MODELLERİN GERÇEK ÜRETİM ORTAMINDA UYGULANMASI.....	38
4.1. Bulanık Mantık Modeli	39
4.2. Bulanık Yapay Sinir Ağı Modeli	41

BÖLÜM 5.

ARAŞTIRMA BULGULARI	48
5.1. Bulanık Mantık ile Kullanılacak Dökme Demirin Standardının Belirlenmesi	48
5.2. Bulanık Yapay Sinir Ağı ile Parametre Tahmini	71

BÖLÜM 6.

TARTIŞMA VE SONUÇ	92
KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	111

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
AFS	: Aksiyomatik Bulanık Küme
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
APCS	: Aksiyomatik Ürün Kavramsallaştırma Sistemi
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BM	: Bulanık Mantık
BOM	: Malzeme Listesi
BP	: Geri Yayılım Algoritması
BS	: İngiliz Standardı
BSA	: Bulanık Sinir Ağı
DFA	: Montaj için Tasarım
DFE	: Çevre için Tasarım
DFM	: Üretim için Tasarım
DFX	: X için Tasarım
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
ELECTRE	: Elemination and Choice Translating Reality English
EN	: Avrupa Standartları
ERP	: Kurumsal Kaynak Planlaması
FGGA	: Bulanık Gruplama Genetik Algoritması
FMKC	: Fonksiyonel Mikro Bilgi Hücresi
Fuzzy ANP	: Bulanık Analitik Ağ Modeli
GA	: Genetik Algoritmalar
GGA	: Grup Genetik Algoritması
JIS	: Japon Endüstri Standardı
KFG	: Kalite Fonksiyon Göçerimi
MIMO	: Çok Girişli Çok Çıkışlı

MS-IGA	: Çok Aşamalı Bir Interaktif Genetik Algoritma
NF	: Fransa Standardı
PIM	: Plastik Enjeksiyon Kalıplama
PROMETHEE	: Zenginleştirme Değerlendirmesi için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
SMA	: Shape Memory Alloys
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TS	: Technical Specification
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
VIKOR	: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
YSA	: Yapay Sinir Ağı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Cross'un dört aşamalı basit tasarım süreci modeli [13].....	4
Şekil 1.2. Taşkın ve Adalı mühendislik tasarım aşamaları [8].	5
Şekil 1.3. Archer üç aşamalı mühendislik tasarım süreci modeli [14].....	6
Şekil 1.4. French'in mühendislik tasarım süreci modeli [15].....	7
Şekil 1.5. Arora mühendislik tasarım süreci modeli [16].	8
Şekil 1.6. Budynas ve Nispet mühendislik tasarım süreci modeli [17].	9
Şekil 1.7. Hurst mühendislik tasarım sürecini modeli [11].....	10
Şekil 1.8. Dieter ve Schmidt mühendislik tasarım süreci modeli [18].....	11
Şekil 3.1. Bulanık sistem genel gösterimi [131].	30
Şekil 3.2. Yapay bir sinir (düğüm) [137].	35
Şekil 3.3. Yamakawa bulanık sinir ağı yapısı [139].	36
Şekil 3.4 Bulanık yapay sinir ağı modeli örneği.	37
Şekil 5.1. Bulanık mantık standart belirleme modeli.	49
Şekil 5.2. Çekme dayanımı girişi için üyelik fonksiyonu.	50
Şekil 5.3. Sertlik girişi için üyelik fonksiyonu.....	50
Şekil 5.4. Bükülme Mukavemeti girişi için üyelik fonksiyonu.	51
Şekil 5.5. Basma dayanımı girişi için üyelik fonksiyonu.....	51
Şekil 5.6. Elastisite Modülü girişi için üyelik fonksiyonu.	52
Şekil 5.7. Standart çıkışını gösteren üyelik fonksiyonu.	52
Şekil 5.8. Bulanık mantık kural tabanı.	55
Şekil 5.9. Kural ve netleştirme görünümü.	55
Şekil 5.10. Çekme dayanımının malzeme standardı seçimi üzerine etkisi.	56
Şekil 5.11. Sertliğin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi.	57
Şekil 5.12. Bükülme mukavemetinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi.	57
Şekil 5.13. Basma dayanımının malzeme standardı seçimi üzerine etkisi.....	58
Şekil 5.14. Elastisite modülünün malzeme standardı seçimi üzerine etkisi.....	59

Şekil 5.15. Bulanık mantık modeli sertlik ve çekme dayanımının malzeme standardı üzerine etkisi.	60
Şekil 5.16. Bulanık mantık modeli bükülme mukavemeti ve çekme dayanımının malzeme standardı üzerine etkisi.	61
Şekil 5.17. Bulanık mantık modeli basma dayanımı ve çekme dayanımının malzeme standardı üzerine etkisi.	62
Şekil 5.18. Bulanık mantık modeli elastisite modülü ve çekme dayanımının malzeme standardı üzerine etkisi.	63
Şekil 5.19. Bulanık mantık modeli bükülme mukavemeti ve sertliğin malzeme standardı üzerine etkisi.	64
Şekil 5.20. Bulanık mantık modeli basma dayanımı ve sertliğin malzeme standardı üzerine etkisi.	65
Şekil 5.21. Bulanık mantık modeli elastisite modülü ve sertliğin malzeme standardı üzerine etkisi.	66
Şekil 5.22. Bulanık mantık modeli basma dayanımı ve bükülme mukavemetinin malzeme standardı üzerine etkisi.	67
Şekil 5.23. Bulanık mantık modeli elastisite modülü ve bükülme mukavemetinin malzeme standardı üzerine etkisi.	68
Şekil 5.24. Bulanık mantık modeli elastisite modülü ve basma dayanımı mukavemetinin malzeme standardı üzerine etkisi.	69
Şekil 5.25. Yüzde karbon miktarı üyelik derecesi.	74
Şekil 5.26. Yüzde silisyum miktarı üyelik derecesi.	75
Şekil 5.27. Yüzde mangan miktarı üyelik derecesi.	76
Şekil 5.28. Yüzde fosfor miktarı üyelik derecesi.	77
Şekil 5.29. Yüzde kükürt miktarı üyelik derecesi.	78
Şekil 5.30. Yüzde krom miktarı üyelik derecesi.	79
Şekil 5.31. Yüzde bakır miktarı üyelik derecesi.	80
Şekil 5.32. Yüzde kalay miktarı üyelik derecesi.	81
Şekil 5.33. Döküm sıcaklığı üyelik derecesi.	82
Şekil 5.34. Döküm süresi üyelik derecesi.	83
Şekil 5.35. Sertlik üyelik derecesi.	84
Şekil 5.36 Bulanık sinir ağı mimarisi şekilsel gösterimi.	87

Şekil 5.37. Bulanık yapay sinir ağı modeli öğrenme eğrisi.	88
Şekil 5.38. Bulanık yapay sinir ağı modeli R grafiği.	88



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Bazı üyelik fonksiyonları.....	32
Tablo 4.1. Dökme demirin tipik özellikleri [140], [141].	40
Tablo 4.2. Bulanık sinir ağı tipleri [48].....	42
Tablo 4.3. Literatürde kullanılan ve ölçülebilen girdi parametreleri.	44
Tablo 4.4. Literatürde kullanılan çıktı parametreleri.	45
Tablo 4.5. BSA Örneklerinin istatistiği.....	46
Tablo 5.1. Bulanık mantık üyelik dereceleri.....	53
Tablo 5.2 Bulanık mantık modeli kural tabanı tablosu.....	54
Tablo 5.3. Bulanık mantık ve uzman görüşü karşılaştırılması tablosu.....	70
Tablo 5.4. İstenen parametre aralıkları.	72
Tablo 5.5. Bulanık nitelikler.	73
Tablo 5.6. Denene bulanık yapay sinir ağı mimarileri.....	85
Tablo 5.7. BSA test sonuçları.	90

ÖZET

Anahtar kelimeler: Mühendislik tasarım süreci, süreç iyileştirme, meta-sezgisel algoritmalar, yapay zekâ, bulanık yapay sinir ağı, bulanık mantık, esnek hesaplama yöntemleri, parametre tasarımı, bilgi toplama

Üretim yöntemlerinin teknoloji ile hızla gelişmesi ürünlerin yaşam döngülerini kısaltmıştır. Bu durum yeni ürünlerin tasarım süreçlerinin daha doğru daha hızlı ve daha az maliyetli olmasını mecbur kılmaktadır. Bu tez çalışmasında mühendislik tasarım süreçlerini hızlandıran katı hesaplama teknikleri ve esnek hesaplama teknikleri araştırılmıştır. Katı hesaplama teknikleri ve esnek hesaplama tekniklerinin mühendislik tasarım sürecinin hangi aşamalarında kullanıldığı incelenmiştir. Ayrıca iki farklı mühendislik tasarım süreci için iki farklı esnek hesaplama tekniği geliştirilerek bir döküm sektöründe kullanılmıştır.

Birinci uygulamada mühendislik tasarım sürecinin bir alt süreci olan bilgi toplama sürecinde bulanık mantık uygulaması yapılmıştır. Bu uygulamada belli standartlara göre üretilen dökme demirlerin seçiminde bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Bulanık mantık uygulamasının sonucunda oluşturulan modelin verdiği sonuçlar ile uzmanların sonuçları karşılaştırılmıştır.

İkinci uygulamada ise yine mühendislik tasarım sürecinin alt süreci olan parametrik tasarım sürecinde bulanık yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Bulanık yapay sinir ağı modeli döküm parametrelerinin sertlik çıktısına etkisinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Her bir parametre üçgensel bulanık sayılara çevrilerek yapay sinir ağına girdi olarak verilmiştir. Oluşturulan modelin sonuçları sistemin parametrelerini temsil edip etmediği istatistiksel olarak test edilmiştir. Bu tez çalışmasının yapılan çalışmalara rağmen döküm sektöründe mühendislik tasarımı süreçlerinin hızlandırılmasında alternatif yöntemlerin araştırılmasına katkı sunacağı düşünülmektedir.

FUZZY LOGIC AND FUZZY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK USE IN ENGINEERING DESIGN PROCESS

SUMMARY

Keywords: Engineering design process, process improvement, meta-heuristic algorithms, artificial intelligence, fuzzy artificial neural network, fuzzy logic, soft computing methods, parameter design, gather information

Rapid development of production methods with technology has shortened product life cycle of products. This makes it necessary for the design process of new products to be faster and less costly. In this thesis, classical techniques and soft-computing techniques that accelerate engineering design processes have been investigated. It is examined at which stages of the engineering design process these techniques were used. In addition, two different soft-computing techniques were developed for two different engineering design processes and used in a foundry industry.

In the first application, fuzzy logic is applied in the process of gathering information which is a sub process of engineering design process. In this application, fuzzy logic model has been formed in selection of cast irons produced according to certain standards. The results of the fuzzy logic application and the results of the model were compared with the results of the experts.

In the second application, fuzzy artificial neural network model is developed in parametric design process which is the sub process of engineering design process. Fuzzy artificial neural network model is used to determine the effect of casting parameters on hardness output. Each parameter is translated into triangular fuzzy numbers and entered the artificial neural network. The results of the generated model were statistically tested whether the system represents the parameters. It is thought that this thesis will contribute to the research of alternative methods in accelerating engineering design processes in the casting sector despite the studies.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüz rekabet ortamında müşteri talepleri daha hızlı gelişirken ürünlerin yaşam döngüsü de aynı oranda kısalmaktadır. Bu durumda; yeni ürünleri geliştirirken zaman, maliyet vb. kaynakları daha az kullanmak gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Mühendislik, günümüzde üretim toplumlarında insanların toplumsal ve ekonomik ihtiyaçlarının karşılanması için sanayi devrimiyle gelişen bilimi ve teknolojiyi farklı şekillerde kullanmaktadır [1].

Tasarım sürecinde; geliştirme, maliyet, güvenilirlik, güvenlik, yaşam süresi, sürdürülebilirlik vb. olmak üzere çeşitli parametreler dikkate alınır. Bu parametrelerin her biri tasarım sürecinin başarısı için önemlidir. Tasarım sürecinde yapılan hatalar pahalıdır ve sonuçta belirli bir sistemdeki başarı seviyesini etkiler [2]. Tasarımcılar, yeni ürün tasarımı yaparken hem ürünün beklenen amacını yerine getirmesini hem de ürünün üretim aşamasına geçmeden önce gerekli ekonomik kısıtları sağlamasını göz önünde bulundurmalarıdır.

Tasarım, mühendisliğin temel bir unsurdur. Tüm mühendisler bir çeşit tasarım işlevi yerine getirirler. Bir üretim süreci geliştirmek, yazılım geliştirmek, bir proje planlamak ya da yeni bir materyal yaratmak tasarım örnekleridir [3].

Yeni ürün ve hizmet sunmanın; maliyetli, uzun ve kalifiye eleman gerektiren bir süreç olduğu göz ardı edilemez. Bu süreç aynı zamanda firmalar için de oldukça kritiktir. Süreç sonunda elde edilen ürün veya hizmet müşteri tarafından tercih edilebilir olması gerektiği kadar gelecekteki müşterileri için de uygun olmalıdır. Bu durum ürün tasarımının önemini göz önüne sermektedir. Bu çalışmada olduğu gibi tasarım sürecine

mühendislik bakış açısıyla, teknolojik yaklaşımlarla sistematik olarak bakmak gerekmektedir.

1.1. Mühendislik Tasarımı ve Süreci Tanımı

Temelde mühendislik tasarım süreci, geleneksel ve yenilikçi süreç modelleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu bölümde ilk olarak mühendislik tasarım süreci modelleri açıklanacak ve bu modellerle ilgili temel kavramlar sunulacaktır.

Tasarım, mühendislik bakış açısı ile ele alındığında sistematik bir süreç olduğu aşikardır [7]. Sınai Mülkiyet Kanununa göre tasarım “ürünün tümü veya bir parçasının ya da üzerindeki süslemenin çizgi, şekil, biçim, renk, malzeme veya yüzey dokusu gibi özelliklerinden kaynaklanan görünümüdür.” olarak açıklanmaktadır [4]. Fındık tarafından tasarım; parçaların bir amaca yönelik olarak düzenli bir biçimde bir araya getirilmesi olarak tanımlanmaktadır [5]. Özden ve Ercan tarafından tasarım; bir ürünün estetik, görünüm, kalite ve işlevleriyle pazardaki başarısını; teknolojisi, parça sayısı, kurgusu, üretim süreci, toleransları, donanım araçları ve maliyetiyle üretimdeki başarısını ve üretim verimliliğini etkileyen bir etkinlik olarak görülmektedir [6].

Mühendislik açısından tasarım kavramı, mühendislik bilgisiyle sistematik olarak ele alınmalıdır. Böylece mühendislik tasarım süreci ortaya çıkmaktadır.

Bu bölümde; çeşitli bilim insanlarının mühendislik tasarım süreci tanımları, oluşturdukları mühendislik tasarım süreci modelleri ve alt süreçleri sırasıyla açıklanmaktadır.

Literatürde araştırmacılar tarafından birçok farklı tanım yapılmakta ve oluşturdukları modellerde mühendislik tasarım sürecini göstermeye çalışmaktadırlar. Bu tanımlar ve modeller incelendiğinde her bir tanım ve model farklı gibi görünse de genelde yapılması gerekli işlerin ve alt süreçlerin benzer olduğu görülmektedir.

Taşkın ve Adalı tarafından mühendislik tasarımı, karmaşık bir yaratıcılık süreci olarak tanımlanmaktadır. Mühendislik tasarım süreci; problemin tanımlanması, kavramsal tasarım ve detaylandırılmış tasarım olarak üç adımda incelemiştir [8].

Cürgül ve arkadaşları tarafından mühendislik tasarımı; herhangi teknik bir sistemde yapılması gereken işlerin kesin olarak belirtilmesi, uygulanacak fiziksel prensiplerin saptanması, bu prensipleri sağlayan öğelerin seçimi, bunların montaj ve parça resimlerinin hazırlanmasına kadar geçen bütün işlemler olarak tanımlamaktadır [9].

Karagözoğlu'na göre mühendislik tasarımı; teknolojinin topluma göre şekillendirilmesi, mevcut teknik ve düzenlerin topluma uyarlanıp hayat standardını yükseltmek için gerekli çözümleri sunmaktır [10].

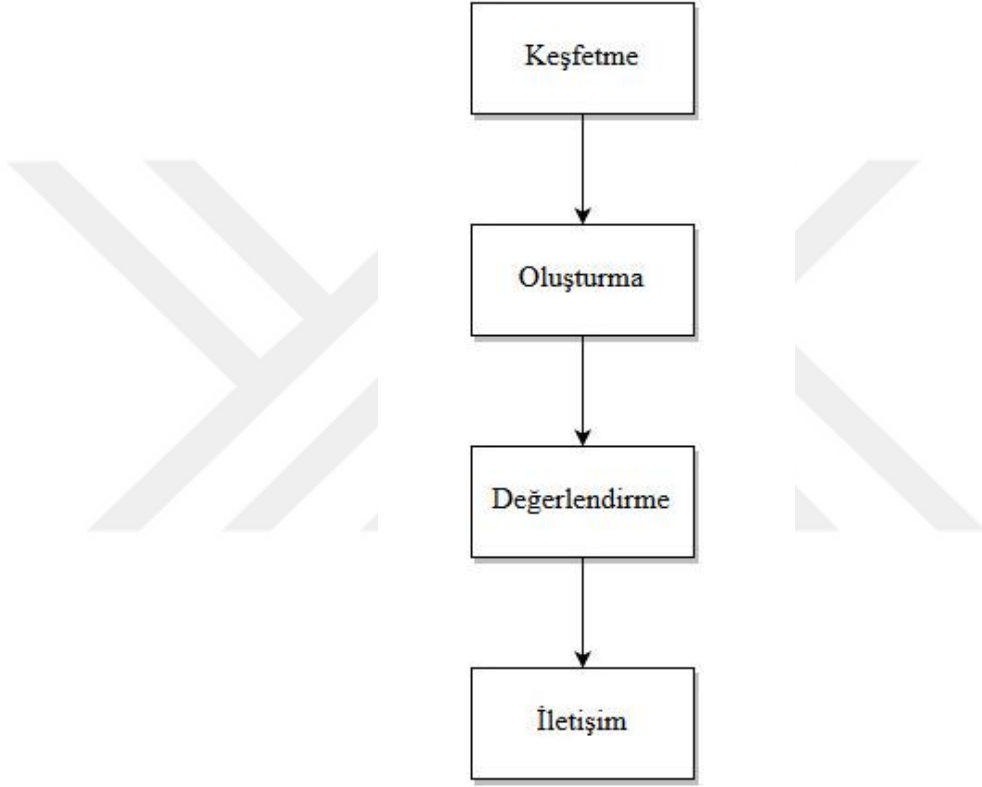
Hurst tarafından, önceden çözümlenmemiş problemlere çözüm üretmek için ya da önceden başka yollarla çözümlenmiş problemlere yeni çözümler getirmek için gerekli olan çalışmaların tamamıdır olarak tanımlamaktadır [11].

Mühendislik tasarım süreci, mühendislerin ürün geliştirmelerine yardımcı olmak için kullandıkları bir süreçtir ve mühendislik tasarımı süreci en basit haliyle, tasarım sırasında ortaya çıkan sorunları çözmede uygulanabilecek genel bir problem çözme sürecidir [12].

Araştırmacılar, mühendislik tasarım sürecinin sistematik bir şekilde uygulanması için model haline getirmişler ve belli bir akış oluşturmuşlardır. Bu modeller bu kısımda en basitten en karmaşığına doğru sıralanmıştır. Sıralanan modellerdeki süreçler kavramsal tasarım ve somut tasarımdan oluşan, bunların genişletildiğı, birbirlerinin elemanlarının değıştirildiğı ama sonuçta aynı yere çıkan ve aynı işleri yapan süreçler olduğu görölmektedir.

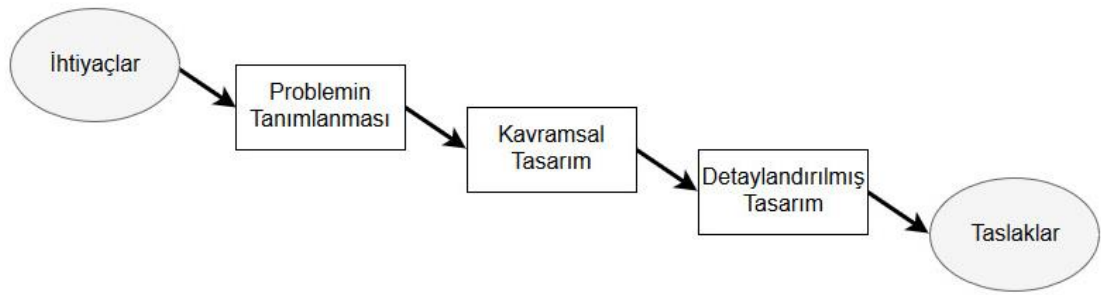
Mühendislik tasarım süreci en genel anlamda Cross tarafından keşfetme, oluşturma, değerlendirme ve iletişim süreci olarak Şekil 1.1.'deki gibi tanımlanmaktadır [13]. Keşfetme aşaması, tasarım sürecinin başlangıcında bulunmaktadır. Tasarımcı genellikle çok kötü tanımlanmış bir problemle karşı karşıyadır. Buna rağmen iyi

tanımlanmış bir çözüm bulmak zorundadır. Oluşturma aşaması, çözüm kavramlarının oluşturulmasından önce analitik çalışmaların yapıldığı aşamadır. Bu aşamada, tasarım sorununun tam olarak anlaşıldığından emin olunmalı, hiçbir önemli unsur göz ardı edilmemelidir. Değerlendirme aşamasında nihai bir tasarım iletişimi beklenir; ancak çoğu zaman üretim aşamasına kadar oluşturma aşaması ile yinelemeli bir geri bildirim döngüsü gösterir. İletişim aşaması süreç sonunda çıktı olarak bulunan çözümdür [13].



Şekil 1.1. Cross'un dört aşamalı basit tasarım süreci modeli [13].

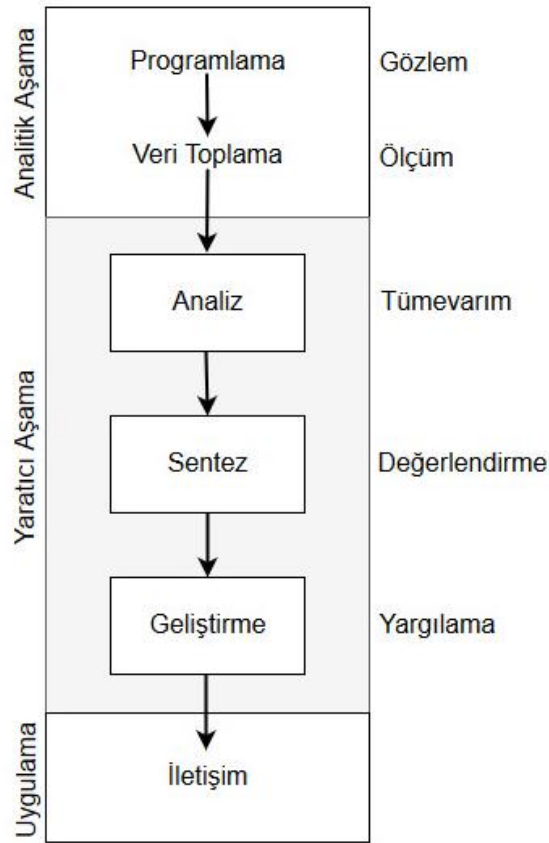
Taşkın ve Adalı mühendislik tasarım sürecini biraz daha ayrıntılı olarak Şekil 1.2.'deki gibi genişletmişlerdir [8]. Bu modelde tasarım ihtiyaçları sürece girdi olarak girmekte problemin tanımlanması aşamasından sonra kavramsal tasarım aşaması ve ardından detaylandırılmış tasarım aşaması gelmektedir. Detaylandırılmış tasarım aşamasının sonucunda belirlenen tasarımın taslakları sürecin çıktısını oluşturmaktadır.



Şekil 1.2. Taşkın ve Adalı mühendislik tasarım aşamaları [8].

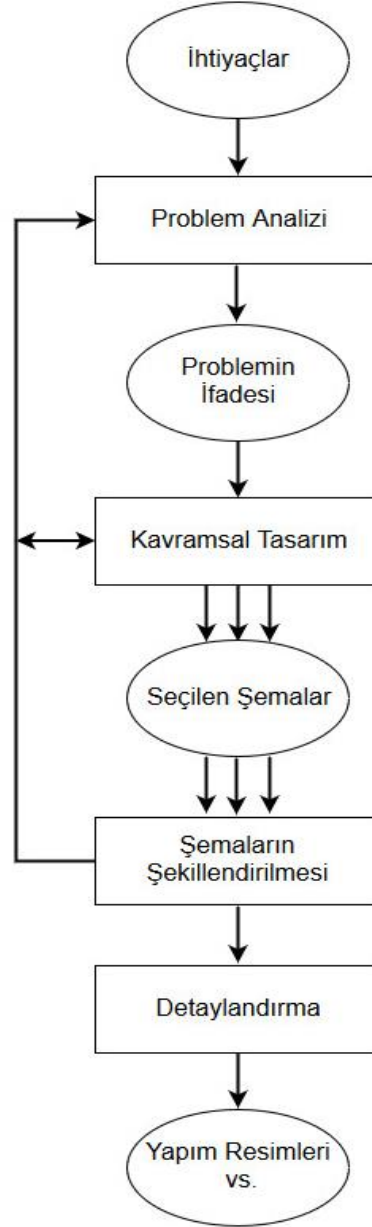
Kavramsal tasarım aşamasında proje ekibinin temel hedeflerini ve bu ana hedeflerin gerçekleştirilmesi için gerekli stratejileri, proje yönetim süreçlerini ve faaliyetlerini belirlenir [169]. Genel olarak süreçlerin veya faaliyetlerin nasıl sonuçlandırılması gerektiğini açıklamayacaktır ancak genel bir yol göstericidir. Detaylandırılmış tasarım aşamasında dayanıklılık, malzeme seçimi, boyut, şekil ve mekânsal uyumluluk gibi kararların verildiği aşamadır [18].

Archer, yine genel ve basitleştirilmiş bakış açısıyla analitik aşama, yaratıcı aşama ve uygulama aşamasından oluşan üç aşamalı tasarım sürecini Şekil 1.3.'te görüldüğü gibi tanımlamıştır [14]. Archer'ın modelinde analitik aşamada; gözlemlerle bir program oluşturulur ardından ölçüm yöntemleriyle tasarım verileri toplanır. Yaratıcı aşamada tümevarım yöntemiyle analiz yapılır ve tümevarım yönteminden sonra yapılan değerlendirme sentez aşamasını oluştururken eldeki kavramlar ve veriler değerlendirilir. Bu aşamadan sonra, son aşama olan uygulama aşamasına geçilir.



Şekil 1.3. Archer üç aşamalı mühendislik tasarım süreci modeli [14].

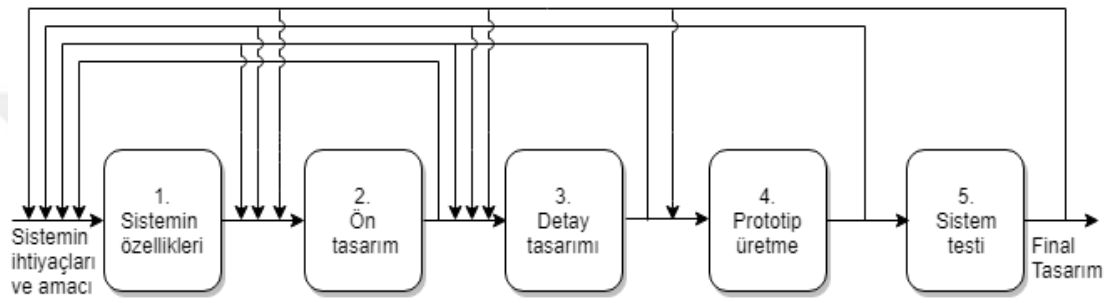
French, mühendislik tasarım sürecini; problem analizi, kavramsal tasarım, şematik şekillendirme, detaylandırma olmak üzere dört aşamaya bölerek Şekil 1.4.'teki gibi göstermiştir [15]. French modelinde elipslerle gösterilen aşamalar (ihtiyaçlar, problemin ifadesi, seçilen şemalar ve teknik resimler) elde edilen çıktıyı, dikdörtgenlerle gösterilen aşamalar (problemin analizi, kavramsal tasarım, şemaların şekillendirilmesi, detaylandırma) ise faaliyetleri göstermiştir. French'in modelinde ihtiyaçlar öncelikle belirlenerek problem analizi faaliyetine girdi olarak sunulmaktadır [15]. Problem analizinin çıktısı olarak problemin ifadesi görülmektedir. Bu da kavramsal tasarım faaliyetine girdi olmaktadır. Kavramsal tasarım faaliyetinden sonra şemaların şekillendirilmesi ve detaylandırma faaliyetleri gelmektedir. Detaylandırma faaliyeti, tasarım sürecinin son faaliyeti olmakta, tasarım sonunda üretilecek ürünün yapım resimleri ve ürün özellikleri çıktı olarak gelmektedir.



Şekil 1.4. French'in mühendislik tasarım süreci modeli [15].

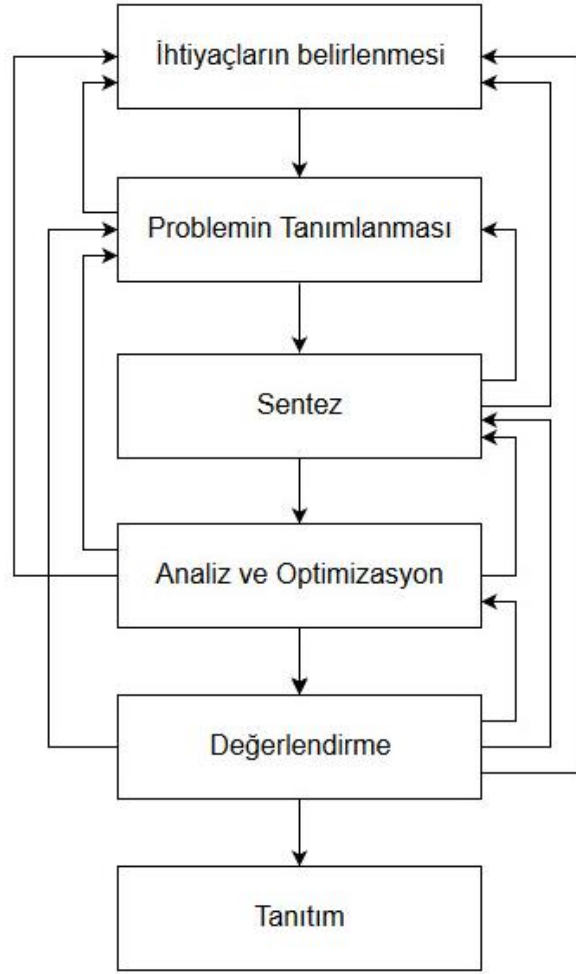
Mühendislik tasarım süreci Arora tarafından; sistemin testini diğer aşamalardan ayrı tutan beş aşamalı bir modeli Şekil 1.5.'teki gibi ortaya konmuştur [16]. Arora'nın evrimsel bir süreç olarak baktığı yaklaşımda; ilk aşama mühendisin ve projenin sponsoru arasındaki önemli etkileşimdir. Genellikle sistem özelliklerinin ölçülmesi için gereklidir. Bunlar belirlendikten sonra, sistemin tasarlanması görevi başlayabilir. Sürecin ikinci aşamasında, sistemin bir ön tasarımını geliştirilmelidir. Bu aşamada

verilen kararlar genellikle sistemin nihai görünümünü ve performansını etkiler. Süreçteki üçüncü aşama, iteratif bir süreç kullanan tüm alt sistemler için ayrıntılı bir tasarım yapmaktır. Alt sistemler için tasarım parametreleri tanımlanmalıdır. Sistem performans gereksinimleri belirlenmeli ve karşılanmalıdır. Sürecin dördüncü ve beşinci aşaması bir prototip sistemin üretilmesini ve test edilmesini içerir. Son aşama gibi görünse de istenilen veriler elde edilmediğinde geri dönülerek yanlışların düzeltilmesi gerekir [16].



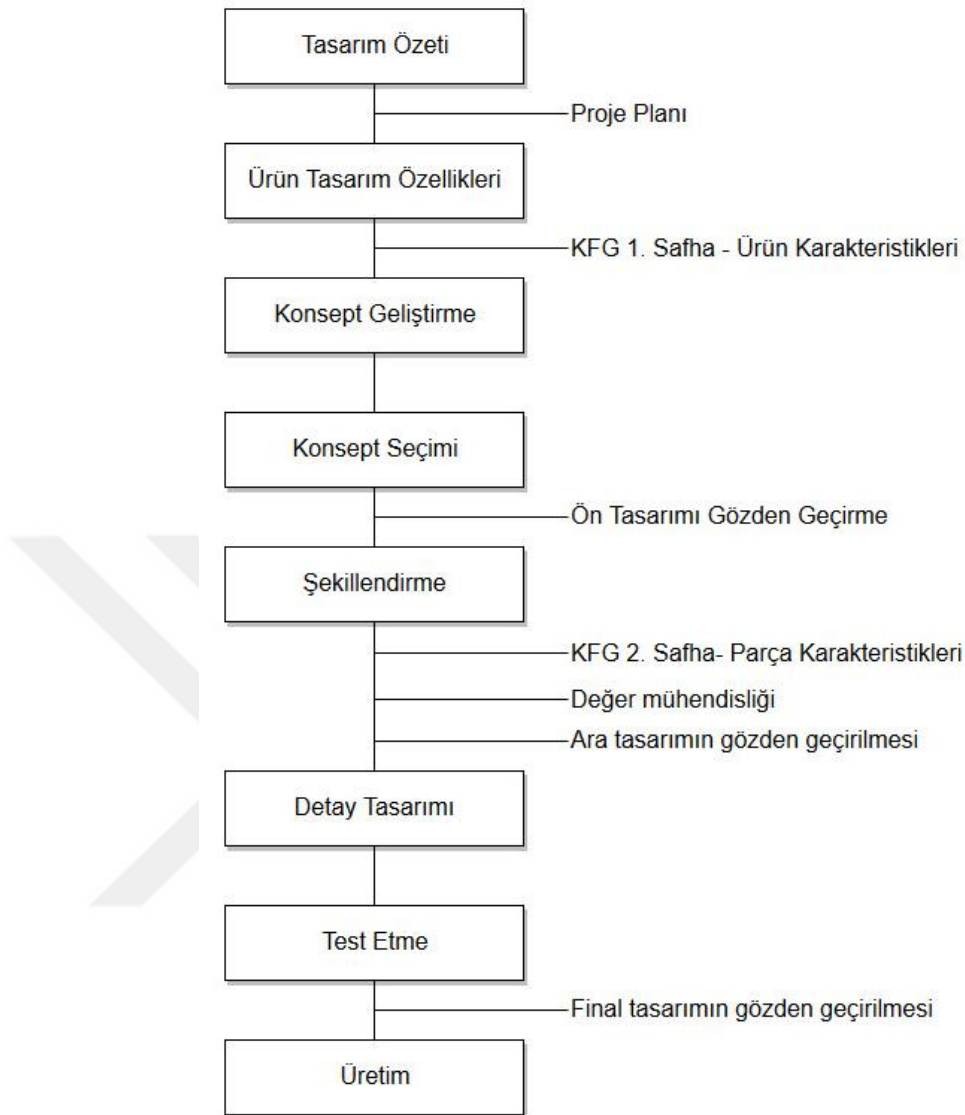
Şekil 1.5. Arora mühendislik tasarım süreci modeli [16].

Budynas ve Nispert, ihtiyaçların belirlenmesinden başlayıp tasarımın tanıtımına kadar olan süreci iterasyonlu olarak Şekil 1.6.'daki gibi modellemişlerdir. Bu modelde süreç, ihtiyaçların tanımlanması ve bu konuda bir şeyler yapma kararı ile başlar. Birçok iterasyondan sonra süreç, ihtiyacı karşılamak için planların sunumu ile sona ermektedir. Tasarım görevinin doğasına bağlı olarak, başlangıç aşamasından sonlandırmaya kadar ürünün ömrü boyunca çeşitli tasarım aşamaları tekrar edilebilir [17].



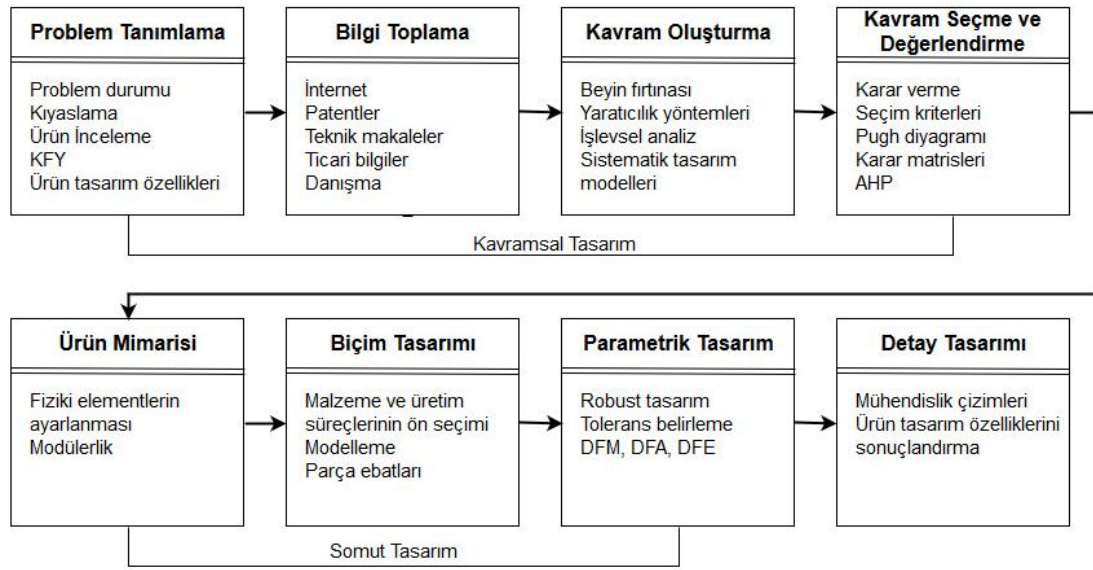
Şekil 1.6. Budynas ve Nispet mühendislik tasarım süreci modeli [17].

Hurst, mühendislik tasarım sürecini yönetim ve kontrol elemanları ile birlikte belirleyerek ana aşamalarını Şekil 1.7.’deki gibi modellemiştir. Tasarımın özetinden başlayarak üretim aşamasına kadar giden bu süreçteki kontrol elemanları proje planlama, kalite fonksiyon göçerimi (KFG), tasarım incelemeleri ve değer analizi / mühendisliği bölümlerinden oluşur [11].



Şekil 1.7. Hurst mühendislik tasarım sürecini modeli [11].

Dieter ve Schmidt, bu modellere kıyasla daha ayrıntılı her bir adımda kullanılan yöntemleri de göstererek oluşturdukları mühendislik tasarım süreci modeli Şekil 1.8.'de gösterilmiştir [18]. Bu model, tasarımın üç aşamasını oluşturan (kavramsal tasarım, uygulama tasarımı ve detay tasarımı) çeşitli etkinlikleri göstermektedir. Bu sekiz aşamalı tasarım etkinlikleri, temel tasarım sürecinin temsildir. Bu grafiğin amacı, problem tanımlamadan detay tasarımına kadar uzanan mantıksal faaliyet sırasını hatırlatmaktır. Bu tez çalışmasında, daha ayrıntılı ve açık olan Dieter ve Schmidt modeli dikkate alınmıştır.



Şekil 1.8. Dieter ve Schmidt mühendislik tasarım süreci modeli [18].

Yukarıda sırasıyla açıklanan bu modeller incelendiğinde, her çalışmada kullanılan mühendislik tasarım süreci farklı gibi görünse de genel anlamda bakıldığında yaptığı işler ve görevler olarak benzerdir. Bu süreçler kavramsal tasarım ve somut tasarımdan oluşan bunların genişletildiği birbirlerinin elemanların değiştirildiği, sonuçta aynı yere çıkan ve aynı işleri yapan süreçler ve görevlerden oluştuğu görülmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında; yeni ürün geliştirme sürecinin hızlandırılması, maliyetin azaltılması, müşteri ihtiyaçlarına en iyi şekilde karşılanması için mühendislik tasarım sürecinde kullanılan zeki yaklaşımların araştırılması, bilgi toplama ve parametre tasarımı alt süreçleri için nasıl kullanıldığı irdelenip, bu iki farklı süreç için iki farklı zeki yaklaşımın uygulanması amaçlanmaktadır.

İlk uygulamada, mühendislik tasarım sürecinin altında bulunan ve bir alt süreç olan “bilgi toplama” sürecinde standartlardan toplanan bilgilerle istenen malzemenin teknik özellikleri bulanık mantık modeliyle seçilebilecektir. İkinci uygulamada ise mühendislik tasarım sürecinin altında bulunan ve bir alt süreç olan “parametrik

tasarım” süreci için döküm parametreleri bulanık yapay sinir ağı ile modellenerek optimum süreç parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Mühendislik tasarım süreci verilen modellerde de görüldüğü üzere birçok alt süreç ve kısım içermektedir. Gelişen teknoloji ve araştırmalarla yeni teknikler ortaya çıkmakta hali hazırda tekniklerin uygulamaları artmaktadır. Bu tez çalışmasının yapılan çalışmalara rağmen döküm sektöründe mühendislik tasarımı süreçlerinin hızlandırılmasında alternatif yöntemlerin araştırılmasına katkı sunacağı düşünülmektedir.

1.3. Tezin Organizasyonu

Bu çalışma, altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, mühendislik tasarımı kavramı, mühendislik tasarım süreci modelleri ve tezin amacı açıklanmıştır. Mühendislik tasarım sürecinin aşamalarını gösteren farklı araştırmacılar tarafından belirlenen modeller, yine bu bölümde gösterilmiştir ve tezin amacı eklenmiştir. İkinci bölümde, mühendislik tasarım süreci teknikleri ile ilgili literatür araştırması ve sonuçları verilmiştir. Üçüncü bölümde, bulanık mantık ve bulanık sinir ağı yaklaşımı kullanılarak mühendislik tasarım sürecine birer model önerilmiştir. Dördüncü bölümde, belirlenen modellerin uygulanması açıklanmış ve neden bu modellerin seçildiği vurgulanmıştır. Beşinci bölümde, uygulanan modellerin araştırma bulguları sonuçları verilmiştir. Altıncı bölümde deneysel sonuçların analizi yorumlanmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Mühendislik tasarım sürecinde karşılaşılan olası problemler ve bu problemleri çözmek için önerilen yöntemler, teknikler ve bunların endüstride uygulamasında karşılaşılan problemler ve önerileri bu bölümde incelenmiştir. Öncelikle mühendislik tasarım sürecinin endüstride uygulanmasında kullanılan geleneksel yöntemler açıklanmıştır.

2.1. Mühendislik Tasarım Süreci Teknikleri

Cross tarafından yapılan çalışmada, yapay zekanın tasarım için önemi ve değeri ile ilgili yorumlar yapmıştır. Bunun yanında tasarım yapan makinelerin (yapay zekâ) amacının insan yeteneklerini taklit etmek yerine, tasarım yeteneğinin doğal zekasını anlama konusunda yardımcı olması gerektiğini önermektedir [19].

Baykasoğlu ve Dereli, mühendislik tasarım sürecinin problem analizi kısmını sürecin asıl girdisi olarak görmekte müşteri istek ve ihtiyaçlarının belirlenmesi için pazar araştırmaları kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır [20]. Toktaş ve Aktürk, kavramsal tasarımın şartname aşamasında And/Or ağaçlarını ihtiyaçlar, fonksiyonların belirlenmesi ve birbirleri arasındaki etkileşimin temsili için kullanmışlardır [21]. Bouchereau ve Rowlands; yapay sinir ağları, bulanık mantık ve Taguchi yöntemi ile KFG'nin limitlerini ve dezavantajlarını nasıl ortadan kaldırılacağı ile ilgili genel bir çalışma yapmıştır [22]. Gülçiçek ve Sofyalıoğlu tarafından yapılan çalışmada, kalite fonksiyon yayılımında kullanılan sözel verileri bulanık sayılara çevrilerek analiz etmiş; KFG analizi sonucunda ortaya çıkan ve önem derecelerine göre sıralanan teknik karakteristiklerin karşılanamaması halinde ortaya çıkacak riskleri analiz etmek için hata türü ve etkileri analizi kullanmışlardır [23]. Ferreira ve Gil yaptıkları çalışmada, ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli ile erken tasarım aşamasında sezgisel anlayışlar

sunarak tasarımcıların kararlarının kalitesini artırmak için kullanıcı dostu bir yazılım aracı önerilmişlerdir [24]. Fan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, makine yapımı bir kum üretim şirketine aksiyomatik tasarıma dayanan bir KFG yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada, aksiyomatik bir kalite evi geliştirilmiştir ve tasarım öğeleri arasındaki ilişkiyi ifade etmek için kullanılmıştır [25]. Evers ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ürün geliştirme süreçlerinin belirsiz doğası ile başa çıkmak için, hem (hata türleri ve etkileri analizi) FMEA hem de KFG için bulanık yaklaşımlar kullanılmışlardır [26]. Bolar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, şehir alt yapısı kullanan müşterilerin dinamik beklentilerini değerlendirmek için gizli Markov modelini (HMM) kullanan bir KFG modeli kullanılmıştır [27]. Murata yaptığı çalışmada, yeni ürün geliştirme sürecini analiz etmiş ve KFG modeli ile müşteri ihtiyaçlarına yönelik ürün spesifikasyonlarını dikkate almıştır [28]. Moldovan tarafından yapılan çalışmada, bir maden suyu şirketine yeni ürün tasarımı için uygun özellikleri ve “ağırlıkları” seçmek amacıyla müşteri ihtiyaçlarını anlamak için KFG yaklaşımı ve bilgi yönetimi uygulanmıştır [29].

Durmuşoğlu patentlerle ilgili bir çalışma yapmış, çalışmasında tasarım ile ilgili eğilim değişiklikleri tespit etmek için bulanık mantık tabanlı bir eğilim arama mekanizmasına sahip Patent Alarm Sistemi geliştirmiştir [30]. Li ve arkadaşları, kavramsal tasarım süreci elde edilen ve oluşturulan bilginin tasarım süreci boyunca kullanımını kolaylaştırmak ve tutarlı bir şekilde sunmak amacıyla yapay zekâ temelli fonksiyonel mikro bilgi hücresi (FMKC) modeli oluşturmuşlardır [31]. Akay ve Kurt çalışmalarında; ürün tasarım özellikleri ile müşterinin duygusal tepkileri arasındaki haritalama ilişkisine, tasarımcıların anlayabileceği şekilde sistematik bir yaklaşım geliştirmek için “IF THEN” tipi bilgi tabanını elde etmek amacıyla sinirsel-bulanık mantık tabanlı bir sistem önermişlerdir [32]. Hsiao ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, yeni ürün tasarım sürecinde ürün stillerine tüketici tepkilerini ölçmek için Kansei Mühendisliği kullanılmışlar ve her ürün stiline özellik verileri değerlendirilip, müşteri tarafından hayal edilene en yakın ürün tarzını genetik algoritmalar yoluyla seçimin yapılması sağlanmıştır [33]. Relich ve Muszyński yapay zekâ destekli veri madenciliği yardımıyla kurumsal kaynak planlaması (ERP) içinde bulunan verilerin ürün tasarımda kullanılması üzerine çalışmıştır [34]. Yan ve arkadaşları, ürün konsept geliştirme

talebini karşılamak için bir aksiyomatik ürün kavramsallaştırma sistemi (APCS) geliştirilmiştir. Önerdikleri sistemde merdivenleme tekniğini kullanan bilgi sağlama modülü; tasarım bilgisi hiyerarşisini kullanan bilgi temsili modülü ve kısıtlanmış Coulomb enerji sinir ağını kullanan bilgi sentezi modülü bulunmaktadır [35]. Chen ve arkadaşları, müşteri / pazar analizi ve müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesi için merdivenleme tekniği ve ART2 sinir ağları ile iki farklı model oluşturarak bir ürün üzerinde uygulamasını yapmışlardır [36]. Wang ve Wang yaptıkları çalışmada, müşteri tercihlerini ve müşteri algılarını ürün geliştirme karar verme sürecine niceliksel olarak dahil etmek için piyasa odaklı bir yaklaşım sunmuşlardır. Bunu yaparken bulanık AHP metodu ve bulanık Kano metodu kullanarak akıllı kamera tasarımında uygulamışlardır [37]. Dou ve arkadaşları, kavramsal tasarımının gelişim sürecindeki gürültüyü azaltmak için çok aşamalı bir interaktif genetik algoritma (MS-IGA) önermiştir [38]. Dbouk tarafından yapılan çalışmada, en iyi ısı transfer sistemlerini tasarlamak için son 15-20 yıl boyunca geliştirilen yapısal optimizasyon (YO) tasarım yöntemleri hakkında bir literatür taraması sunulmuştur. Çalışmanın sonucunda YO'nun, termal sistemlerin en uygun tasarımlarını bulmak için henüz sağlam bir sayısal tasarım tekniği olmadığı belirtilmiştir [39].

Bozdemir ve Mendi yaptıkları çalışmada, karmaşık mekanik sistemlerin sistematik tasarımı sırasında kullanılacak bir tasarım süreci modeline ait bir program geliştirmiştir [40]. Bu programda; uzman sistem destekli şartname hazırlama, karar verme, şekillendirme ve doküman hazırlama aşamaları bulunmaktadır. Hsiao ve Huang çalışmalarında, üç boyutlu ürün formlarının bulunduğu veri tabanını yapay sinir ağlarına öğretmiş; bu sayede müşteri isteklerine göre farklı formlar ve konseptler oluşturma sürecini hızlandırmışlardır [41]. Lee ve arkadaşları, benzer bir yöntemi yeni ürün tasarımı için değil de yeni hizmet tasarımı için yapmışlardır. Çalışmada, Morfolojik analiz ve genetik algoritmaya dayalı olarak yeni hizmet kavramları üretilmesine yönelik sistematik bir yaklaşım önerilmektedir. Yapılan çalışmanın konsept yaratmanın uzun zaman alması gibi baskıları da azaltabileceği vurgulanmıştır [42]. Kim ve Yoon, yine hizmet sektöründe hizmet konsepti üretimi üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışma, firmaların çeşitli müşteri tepkilerinin ve hizmet konsept stratejilerinin gelecekteki eğilimlerini ajan tabanlı simülasyon kullanarak daha

doğru bir kavram üreterek değerlendirmektedir [43]. Augustine ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada ürün konsepti oluşturma aşamasında başlangıç kavramını tanımlanmış karar kriterlerine göre değerlendirmek için bir bulanık çıkarım süreci kullanmışlardır. Bu sayede verilen maliyet ve teknolojik kısıtlar altında en uygun yapılabilir konsepti seçmek için hibrit konseptler üretilmektedir [44]. Fung ve arkadaşları, farklı tasarım modellerinde tüketici algısının alt ve üst yaklaşımlarını belirlemek için kural madenciliğine çok amaçlı bir genetik algoritma (GA) yaklaşımı önermiştir [45]. Lin ve arkadaşları, yapay sinir ağları ve genetik algoritmayı tasarım alternatifleri geliştirmekte bir model olarak kullanmışlardır. Oluşturdukları modeli elektrikli fan tasarımı modelinde uygulamışlardır [46]. Liu ve Lu tarafından yapılan çalışmada, analiz sentez alternatifleşmesi (ASA) yaklaşımı olarak adlandırılan yeni bir kavram oluşturma yöntemi sunulmaktadır. Çalışmada, kavram oluşumu aşamasını iki aşamalı bir teklif verme süreci olarak ele almışlardır. Yeni yöntemin, tasarımcıya sistematik olarak tasarım konseptleri üretme konusunda rehberlik ettiği ve beyin fırtınasından işlevsel olarak daha iyi olduğu belirtilmiştir [47]. Liu ve Lu tarafından yapılan diğer bir çalışmada, kavramsal tasarımda konsept oluşturmaya desteklemek için çevrimiçi müşteri yorumlarını kullanan bir kitle kaynaklı tasarım çerçevesi sunulmuştur. Yapılan deneyde acemi tasarımcıların düşünce etkinliğini önemli ölçüde artırdığını ve yenilikçi tasarım düşüncesini geliştirdiği belirlenmiştir [48]. Yan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ürün alternatiflerini oluşturma ve seçme konusunda ürün tasarımcılarına yardımcı olmak için bir ürün konsept oluşturma ve seçim yaklaşımı önermişlerdir. Önerdikleri yaklaşımda bulanık kümeleme modelini; tasarım seçeneklerini kümelemek, tercih edilen ürün kavramlarını seçmek ve tasarım alternatiflerini üretim stratejisiyle bütünleştirmek için kullanmışlardır [49]. Wang ve Shih tarafından yapılan çalışmada, müşteri tercihlerini ürün geliştirme sürecine dahil etmek için konjoint / birleştirme analizi (CA) ile KFG entegre bir hibrit çerçeve sunulmuştur. Ek olarak potansiyel prototipleri müşteri ihtiyaçları açısından değerlendirmek için TOPSIS kullanmışlardır [50]. Dragomir ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, ürün özellikleri ile müşteri ihtiyaçları arasında mümkün olan en iyi eşleşmeyi sağlamak ve dayanıklılık açısından geliştirme süresini kısaltmak amacıyla morfolojik grafiklerin bir uygulaması sunulmuştur [51].

Jiao ve Tseng çalışmalarında, kavram değerlendirme için bir bulanık sıralama metodoloji kullanmışlardır. Çalışmada somut ve somut olmayan kriterlerin kombinasyonları modellemek için bulanık sayılar ve dilsel terimler kullanmışlardır [52]. Akay ve arkadaşları, mühendislik tasarım sürecinin önemli adımlarından biri olan kavram seçme sürecinde aralıklı tip-2 bulanık mantık yöntemini kullanmışlardır. Aralıklı bulanık mantık kümelerini birleştirmek için de bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımı kullanmışlardır [53]. Shidpour ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada tasarım konseptlerini sıralamak için aralık bazlı bir yakınlık indeksi geliştirmişlerdir. Tasarım konsepti sıralama problemindeki belirsizlikle başa çıkmak için kaba küme ve bulanık küme teorilerini kullanmışlardır [54]. Ayağ ve Özdemir çalışmalarında, yeni ürün geliştirme sürecinde müşterilerin ihtiyaçlarını ve beklentilerini en iyi şekilde karşılayan kavramsal tasarım alternatiflerini belirlemek için bulanık analitik ağ modeli (Fuzzy ANP) oluşturmuşlardır [55]. Liu ve Ren, kavram sınıflandırması ve özellik seçiminde bulanık mantık operatörlerin seçiminin belirli bir algoritmaya dayandığı Aksiyomatik Bulanık Küme (AFS) yöntemi kullanmışlardır [56]. Moulianitis ve arkadaşları, konsept değerlendirme sürecinde bulanık küme teorisine dayanan değerlendirme puanının hesaplanmasının matematiksel bir modeli sunmuş, oluşturdukları modeli robot kumaş tutucuların tasarında uygulamışlardır [57]. Huang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, çeşitli tasarım fonksiyonlarının gerçekleştirilmesi için alternatif tasarım konseptlerinin bilgisini içeren bilgi tabanı oluşturmuşlar ve bu bilgi tabanı tarafından desteklenen, tatmin edici bir grup kavramı genetik algoritma ve bir ön değerlendirme mekanizması kullanılarak üretmişlerdir. Başarılı olma olasılığı yüksek kavramların analizine dayanarak, konsept değerlendirme ve karar vermede bulanık sinir ağı kullanmışlardır [58]. Tiwari ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, tasarım kavramlarının değerlendirmesi için kaba kümelerle modifiye edilmiş VIKOR kullanılmıştır [59]. Vinodh ve Girubha yaptıkları çalışmada, sosyal, ekonomik ve doğal ölçütleri göz önünde bulundurarak en iyi sürdürülebilir tasarım kavramını seçmek için PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır [60]. Zhu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, tasarım sürecinde bireysel kararları ve tercihleri bir araya getirmek ve karar verme konusundaki belirsizliği ele almak için kaba rakamlar geliştirilmiştir. Her değerlendirme kriterinin ağırlığını belirlemek için kaba sayıya dayanan AHP modeli oluşturulmuştur. Daha sonra tasarım kavramları

alternatiflerini değerlendirmek için geliştirilmiş bir kaba sayı tabanlı VIKOR modeli önerilmiştir [61].

Saeed ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; tedarik zinciri mimarisi, ürün mimarisi ile ilgili kararların örgütsel rekabet gücünü nasıl etkilediğini incelenmiş ve deneysel olarak firmalarda incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; tedarik zinciri çevikliğinin ve ürün modülerliğinin, doğrudan yanıt verme yeteneğini artırdığını ve kuruluşların maliyeti düşürmesini sağladığını belirlemişlerdir [62]. Tseng ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, modülerliğin artırılması için tasarlanan parçaların arasındaki irtibat yoğunluklarını belirlemiş bu parçaların kümelenmesinde grup genetik algoritması (GGA) kullanılmıştır [63]. Bu sayede parça geçiş mekanizmalarının modüler tasarım ihtiyacına göre modifiye etmişlerdir. Mutingi ve arkadaşları, modüler bir ürün tasarımını değerlendirmek için bir dizi çoklu kriter oluşturmuşlar ve tasarımın bileşenlerini modüler bir şekilde gruplamak için bulanık gruplama genetik algoritması (FGGA) kullanmışlardır [64]. Li ve arkadaşları çalışmalarında, elektronik atıkların neden olduğu olumsuz çevresel etkinin azaltılması için çevre için tasarım (DFE) yaklaşımı ile bütünleşik bulanık graf teorisini kullanmışlardır. Bulanık graf yaklaşımını ürün yapısını oluşturmak için kullanmışlardır [65]. You ve Smith yaptıkları çalışmadan tasarlanan her bir modülün bir farklı tasarım hedefini karşıladığı modül yapılandırmalarını oluşturmak için atomik teori ve bulanık kümeleme kullanan yenilikçi çok amaçlı yeşil modüler tasarım yöntemi oluşturmuşlardır [66]. Chiu ve arkadaşları çalışmalarında, montaj için tasarım (DfA) yaklaşımıyla montaj yöntemleri ve montaj sıraları ile birlikte optimal bir modül organizasyonu hesaplamak için parçacık sürüsü optimizasyon (PSO) algoritması kullanmışlardır [67]. Islam ve arkadaşları, ürün mimarisi performansını müşterilerin gereksinimlerinin karşılamasını dikkate alınarak çoklu bulanık değerlendirme yöntemiyle ürün mimarisi değerlendirme modeli önermişler ve bu modeli otomatik soğutma sistemi tasarımı üzerinde uygulamışlardır [68]. Tang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ürün estetiğini değerlendirmek için yapay sinir ağları kullanarak ürün formu tasarımı için bir hesaplama yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem bir ürünün görsel etkisine ilişkin daha objektif ve bilimsel bir şekilde müşteri algısına olan etkilerini tahmin etmektir. Ayrıca, optimum ürün formu için tasarım parametrelerinin

değerlerinin belirlenmesinde genetik algoritma (GA) da dahil edilmiştir [69]. Chen ve Martinez yaptıkları çalışmada, ürün ailesinin farklı müşteri ihtiyaçlarını tatmin edecek şekilde ortaklaşa geliştirilmesine odaklanmakta ve temel bir ürün oluşturmak için genetik algoritmalar yöntemini kullanmışlardır. Yöntemi indiksiyon motoru tasarımı ve üretiminde uygulamışlardır [70]. Kristianto ve Helo tarafından yapılan çalışmada, daha çevre dostu ürün, süreç ve tedarik zincirleri oluşturmak için matematiksel modelleme ve çözüm algoritması özellikleri sunulmaktadır. Bunun için kapalı devre tedarik zincirlerinde en uygun ürün mimarisi modülerliğini belirlemek amacıyla bir karar destek sistemi tasarlamışlardır [71]. Sonego ve arkadaşları, modülerlik ve sürdürülebilir tasarım arasındaki kesişimin ürün yaşam döngüsü perspektifinden araştırmışlardır. Sonuç olarak, modülerliğin çevresel faydalarla ilişkilendirilmesine rağmen modülerleşmenin uygun bir sürdürülebilir strateji olup olmadığına karar vermek için modüler ürünlerin tüm yaşam döngüsünün ve çevresel etkilerinin daha iyi anlaşılması gerektiği belirlenmiştir [72].

Li ve Yiu çalışmalarında, yankılı ortamlarda mikrofon denetleyicisinin biçim tasarımında genetik algoritmalar kullanmıştır [73]. Dou ve arkadaşları, ürün biçim tasarımı için müşteri ile işbirlikçi iteratif genetik algoritma yazılımı kullanmışlardır [74]. İpek ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, otomotiv endüstrisi parçalarının üretiminde kullanılacak malzemelerin seçiminde kullanılacak bir uzman sistem geliştirmiştir. Bu çalışma sonucunda tampon ve volan için bir uygulama yapmışlardır [75]. Gül ve arkadaşları, otomotiv gösterge paneli malzemesinin seçimi için bulanık PROMETHEE (Zenginleştirme Değerlendirmesi için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi) yöntemini sunmuşlardır. Ayrıca yöntemin performansını ölçmek için üç farklı bulanık çok kriterli karar verme yöntemi ile (bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS ve bulanık ELEKTRE) karşılaştırmışlardır [76]. Hsiao ve Tsai yaptıkları çalışmada, otomatik bir tasarım sistemi kurmuşlardır. Bu tasarım sistemi tüketicilerin psikolojik tercihlerini karşılayan bir ürün biçimi oluşturmak için bulanık sinir ağını ve genetik algoritmayı entegre olarak çalıştırabilmektedir [77]. Girubha ve Vinodh yaptıkları çalışmada, bir otomotiv parçasında kullanılmak üzere ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), Polipropilen, SMA (Shape Memory Alloys) ve Polikarbonat malzemelerinde en uygun olanının seçiminde bulanık VIKOR ve çevresel etki analizini

birleştirmiştir [78]. Mirhedayatian ve arkadaşları yaptıkları çalışmada birleştirilmiş bulanık veri zarf analizi (DEA) ve TOPSIS ile farklı ürünler için farklı kaynak süreçlerini karşılaştıran ve değerlendiren bir model önermişlerdir [79]. Liao yaptığı çalışmada, tip 2 bulanık mantık temelli TOPSIS modeli kullanarak tasarım aşamasında malzeme seçimi üzerine çalışmış bunun yanında tip1 bulanık mantık modeline dayalı TOPSIS uygulamalarının beklenen en iyi seçimi yapamayacağı sonucuna varmıştır [80]. Bununla birlikte Liu ve arkadaşları yaptıkları literatür taramasında, malzeme seçimi ve keşfinde büyük veri ve derin öğrenme yöntemlerinin birleştirilmesinin de ileriki çalışmalar için iyi olacağını belirtmişlerdir [81]. Houria ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, döküm prosesi simülasyonu ile bir döküm alüminyum alaşımının yorulma sınırı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu simülasyonla istenen parametrelere göre döküm kalıbının tasarımı yapılmıştır [82]. Benzer bir çalışma yapan Nadot ve arkadaşları, döküm hatalarının yorulma ömrü üzerindeki etkisini doğrudan süreç simülasyonundan değerlendirmek için tam bir entegre modelleme yaklaşımı yapmışlardır [83]. Bruns ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, fiber takviyeli termoplastiklerin karmaşık geometrileri için büyük ölçekli hazırlama işlemleri gereksinimlerini karşılamak üzere sonlu eleman analizi ve deneysel testleri ile doğrulanmıştır. Çalışma, otomatik bir taşıma ve asma stratejisi sunulmaktadır [84]. Steimer ve arkadaşları, erken tasarım aşamalarında üretim sistemi planlamasının ürün geliştirme ile daha iyi bir bütünleşmesi ve üretim sistemi planlamasının disiplinlerinin koordinasyonunun iyileştirilmesi için model tabanlı sistem mühendisliğine dayanan bir model yaklaşımı sunmuş ve yaklaşımı doğrulamak için örnek bir silindir kafası üretimi modellenmiştir [85].

Rao ve arkadaşları; fırın sıcaklığı, döküm sıcaklığı, ilk aşama piston hızı, ikinci aşama piston hızı, çoğaltılmış basınç hızı parametrelerinin porosite (gözeneklilik) üzerine etkisini optimize etmek için Taguchi deney tasarımı ve genetik algoritma tabanlı bir algoritma kullanmıştır [86]. Zmak ve Fletin dökme demirlerin istenen mekanik özellikler için parametrelerinin belirlenmesinde yapay sinir ağı kullanmışlardır [87]. Behera ve arkadaşları, dökme demirin özelliklerinin tahmininde yapay sinir ağlarından yararlanmışlardır [88]. Yine Somkuwar da benzer çalışmada, düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin tahmininde yapay sinir ağı modeli kullanmıştır [89].

Özdemir yaptığı çalışmada; yapay zekâ ile programlanabilen bilgisayar destekli tasarım programı ile bir dişli kutusunun parametrik tasarımını yapmış, eğilme momenti üzerinde güç, helis açısı ve dönme yönünün etkisi istatistiksel olarak incelemiştir [90]. Rao ve Venkaiah yaptıkları çalışmada, nikel bazlı alaşımların işlenmesi sürecinde talaş kaldırma hızı ve yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin optimizasyonunda parçacık sürü optimizasyonu yöntemini kullanmışlardır [91]. Jung ve Yum yaptıkları çalışmada, Taguchi deney tasarımı yönteminin ve mevcut alternatif yaklaşımların eksikliklerinin üstesinden gelmek için yapay bir sinir ağı tabanlı dinamik parametre tasarım yaklaşımı geliştirmişlerdir [92]. Chang ve Chen tarafından yapılan çalışmada, en uygun kontrol faktörleri kombinasyonunu bulmak için dinamik parametrelerin parametre tasarımını sürekli parametrelerle optimize etmekte melez bir sinir ağı ve genetik algoritma yaklaşımı kullanmıştır [93]. Ouyang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, metanol buharı reformasyonunda optimum bir parametre tasarımı sunmaktadır [94]. Optimum parametreleri belirlemek için Taguchi yöntemini radyal temel işlevli sinir ağı ile birleştirmişlerdir. Chen ve arkadaşları araştırmalarında, çoklu girişli çok çıkışlı (MIMO) plastik enjeksiyon kalıplama sürecinin proses parametresi optimizasyonu için yapay zekâ yöntemi ile bir yaklaşım sunmaktadır. Önerdikleri yaklaşımda, Taguchi'nin parametre tasarım yöntemini, geri yayılım sinir ağlarını, genetik algoritmaları ve mühendislik optimizasyon kavramlarını süreç parametrelerini optimize etmek için bütünlendirmişlerdir [95]. Yin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, plastik enjeksiyon kalıplama (PIM) sırasında proses parametrelerinin optimize edilmesi için bir hibrit optimizasyon yöntemi sunmaktadır. Bu önerilen yöntemde, genetik algoritma (GA) ile bir geri yayılma (BP) sinir ağı yöntemini birleştirmişlerdir [96]. Tousignant ve Packer tarafından yapılan çalışmada, anahtar bağlantı parametrelerinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisinin belirlenmesi için sonlu elemanlar (FE) yöntemi kullanarak parametrik modelleme yaklaşımı sunulmuştur [97]. Gadakh ve Kumar tarafından yapılan çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı prosesi parametrelerinin, en yüksek gerilme mukavemeti, yüzde uzama, çarpma mukavemeti ve sertlik gibi çoklu kaynak kalitesi özellikleri dikkate alınarak optimize edilmesi için gri bazlı Taguchi yöntemi kullanılmıştır [98]. Wang ve Fu yaptıkları çalışmada, köpürme performansı ile asfalt köpüğün ilgili parametreleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak için nöral ağ modeli

kullanmıştır. Ayrıca, tahmin doğruluğunu arttırmak için nöral ağı başlangıç ağırlığını optimize etmek için partikül sürü optimizasyonu (PSO) kullanmıştır [99].

Wang ve arkadaşları çalışmalarında, tasarımcılara desen tasarımı yardımcı olan CreaStim adında YSA destekli bir yazılım oluşturmuşlardır. Bu yazılımda YSA gereksinimlere göre yeni desenler oluşturmaktadır [100]. Abushark ve arkadaşları, tasarım hatalarının belirlenmesi için etmen tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir [101]. Tsai ve Chang, yaptıkları çalışmada geometrik benzerliğe dayalı tasarımları araştırmak için bir Fuzzy ART ağı geliştirmiştir. Bunun yanında benzer teknolojik özelliklere sahip referans tasarımları bulmak için bulanık bir değerlendirme prosedürü geliştirmiştir [102]. Saravanan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, genetik algoritmalar kullanarak montaj fonksiyonu gereklilikleri ile sert parçaların optimum geometrik toleranslarının tasarım aşamasında belirlenmesi için tasarım çerçevesi oluşturmuşlardır [103]. Ekinci ve Alvar, sualtı akıntı türbininin ön tasarımı ve detay tasarımı genetik algoritma ve momentum kanat elemanı yöntemini birleştiren bir program kullanmışlardır [104]. Kuo ve Lin yaptıkları çalışmada, yüzey montaj teknolojisi kurulum süresini kısaltmak amacıyla sipariş kümelemesi için genetik algoritma (GA) ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmalarını hibrit olarak kullanan bir kümeleme algoritması önermektedir. Sipariş kümeleme yoluyla, aynı kümeye ait olan siparişlerin düzenlenmesi, üretim süresini ve makinenin boşa kalma süresini azaltabileceğini belirtmişlerdir [105]. Wu ve Hsu çalışmalarında, uygun malzeme listesi (BOM) konfigürasyonlarını seçme, karar problemini formüle etme ve problemi çözmek için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Problemin verimli çözümü için geliştirdikleri yöntemde, genetik algoritma ve yapay sinir ağı yaklaşımını önermişlerdir. Çalışmada YSA tekniği, BOM konfigürasyonlarını değerlendirmek için mevcut bir yöntemin işlevini etkin bir şekilde taklit etmek için kullanılırken; GA tekniği, büyük çözüm alanından yakın bir optimal BOM konfigürasyonunu etkin bir şekilde tanımlamak için kullanılmıştır [106]. Akin ve Saka tarafından yapılan çalışmada, Amerikan standart özelliklerine uygun özel sismik moment takviyeli beton çerçevelerinin optimum detaylı tasarımı uyum arama tabanlı algoritma yöntemini kullanmışlardır [107]. Manassaldi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, klimaların güç fanlarının detaya tasarımı için matematiksel bir model sunulmuştur

[108]. Modelin amaç fonksiyonu olarak toplam yatırım, yıllık maliyet ve fanın güç kullanımı kullanılmıştır. Yaici ve arkadaşları çalışmalarında, ısı ve membran tabanlı enerji geri kazanımlı vantilatörlerin tasarımında hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılmışlardır [109].

2.2. Mühendislik Tasarım Sürecine İlişkin Tekniklerin İncelenmesi

Tezin bu kısmında, literatürde kullanılan klasik ve zeki yaklaşımlar iki farklı alt başlıkta incelenerek genel bir sonuç çıkarılmıştır.

Mühendislik tasarım sürecinin başlangıç kısmı olan problem tanımlama kısmında, pazarlama araştırmaları teknikleri kullanılmakta olduğu görülmektedir. Bazı araştırmacılar problem tanımlamayı ihtiyaç analizi ile aynı görmekte [18]; bazı araştırmacılar ise ihtiyaç analizi ile mühendislik tasarımının başladığı ve problemin tanımının ardından geldiğini söylemektedirler [21, 110]. Her iki durumda da öncelikle problemin net bir şekilde tanımlanması yapılmalı ve müşteri ihtiyaçları ile tasarım ihtiyaçları belirlenmelidir [111]. KFG yöntemi müşteri memnuniyetini maksimize etmek için geliştirilmiş, müşteri odaklı bir yaklaşım olduğu için de bu alt süreç için en çok kullanılan yöntem olduğu görülmektedir [23].

Dieter'e göre tasarım sürecinde gerekli bilgi spesifik olduğu için bilgi toplama kısmında akademik çalışmalar ve ders kitapları daha az önem arz etmektedir. Bunların yerine şirket raporları, ticari dergiler, patentler, kataloglar, broşürler ve literatür çalışması sonucu çıkan teknik raporlar kullanılabilir. Bunların yanında literatürde araştırmacılar, mühendislik tasarım sürecinin bilgi toplama kısmında internet ve patentler arasından arama optimizasyonlar teknikleri ile yapısal optimizasyon teknikleri gibi teknikleri kullanmışlardır [18].

Mühendislik tasarımının kavram (konsept) oluşturma aşamasında temel tasarım kararları belirlenir bu kararlar doğrultusunda kavram alternatifleri oluşturulur. Bu alternatiflerden oluşturulan eskiz maketler ve etkileşim tasarımcılarının oluşturdukları kâğıt prototipler bir araya getirilerek ilk testler yapılır [112]. Fonksiyonel, ergonomik ve form detaylarını da içeren kavramsal tasarımlar gerçekçi görseller ile gözden

geçirilebilir [113]. Literatür araştırmasında da araştırmacılar; genellikle kavram oluşturmada morfolojik grafikleri, birleştirme analizini kullanmışlar bunun yanında da kendi kavramsal çerçevelerini oluşturmuşlardır.

Mühendislik tasarımının kavram seçme kısmında, çeşitli kavramlar belirlendikten sonra en yüksek performansı ve en düşük maliyeti veren alt kümelerden oluşan en iyi birleşim seçilir. Bu seçim ve değerlendirme süreci için yapılan çalışmalara bakıldığında literatürde genellikle ANP, AHP, VİKOR ve PROMETHEE gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir [114].

Duman ürün mimarisini işlevsel elemanların hangi fiziksel parçalar halinde düzenlendiği ve bunların arasındaki etkileşimlerin ne olacağını belirleyen bir plan olarak tanımlamıştır [115]. Reinertsen, ürün geliştirme sürecinin yalınlaştırılmasında ortaya çıkan en önemli on israfı belirlemiş ve bu israflardan kötü ürün mimarisinin en başta bulunduğunu saptamıştır [116]. Literatürde de ürün mimarisi için genellikle DFE, DFA, DFX gibi klasik tasarım yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Biçim tasarımı üretim maliyetleri, üretim süreleri ve ürün kalitesi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Biçim tasarımda yapılan boyut, şekil, yüzey kaplaması ve ekleme seçimleri; üretim prosedürünün, takım tezgahlarının, (yedek tezgahlar ve ölçüm aletleri dahil) parçaların şirket içinde mi yapılacağı yoksa dışarıdan mı alınacağının seçiminin; malzeme ve yarı malzemelerin seçiminin, kalite kontrol prosedürlerinin, belirlenmesine etki eden bir süreçtir [117]. Literatür araştırmasında biçim tasarımı sürecinde genellikle benzetim ve modelleme teknikleri kullanılmıştır. Bunun yanında parça seçimi kısmında yine çok kriterli karar verme tekniklerinden VİKOR, ELECTRE, TOPSIS gibi tekniklere başvurulduğu görülmektedir.

Bir bütünü oluşturan elemanların sahip oldukları özelliklere, parametrik tasarım değişkenleri olarak belirlenen değerlere, ihtiyaçlar doğrultusunda yeni değerlerin aktarılması işlemine parametrik tasarım denmektedir [118]. Taguchi tarafından ortaya atılan Robust Tasarım Kuramı, mühendislik tasarım sürecinin altındaki biçim tasarımı sürecinin altında bir alt süreç olarak kullanılmaktadır [119]. Parametrik tasarım

kısımında da literatürde araştırmacılar, genellikle Taguchi deney tasarımı yöntemi ile FE yöntemini kullandıkları görülmektedir.

Mühendislik tasarım sürecinin detay tasarımı kısmı tüm özel parçaların biçim, şekil, boyut ve yüzey özellikleri hakkında son açıklamalar, kesin malzeme seçimi ve üretim yöntemleri, kullanım şekli ve maliyetlerle gibi teknik bilgilerin şekillendirmesinin tamamlandığı tasarım alt sürecidir [117]. Detay tasarımında literatüre bakıldığında araştırmacılar klasik yöntemlerden akışkanlar dinamiği, matematiksel modeller ve uyum algoritması gibi yöntemler kullanmışlardır.

Mühendislik tasarım sürecinin problem tanımlama kısmı genel anlamda bir ön analiz süreci olduğu için bu sürecin literatür araştırmasında da karşımıza çıkan çalışmalarda kullanılan yöntemler genel olarak ihtiyaç analizi yapan tekniklerle (KFG, FMEA) zeki yaklaşımların (bulanık mantık, YSA) hibrit olarak kullanılmasıyla yapılmıştır. Bilgi toplama sürecinde ise yapılan literatür çalışmalarına bakıldığında genel olarak bulanık mantık modelleri, yapay sinir ağları ve genetik algoritma modelleri kullanıldığı görülmektedir. Mühendislik tasarım sürecinin kavram oluşturma kısmında yapılacak olan yeni alternatifler literatürde yapılan çalışmalarda daha çok genetik algoritmalarla geliştirilerek desteklendiği görülmektedir. Kavram seçme ve değerlendirme sürecinin özellikle kavram seçme kısmı ise birçok kriterli karar verme süreci olduğu için bu süreç üzerine yapılan çalışmalarda en çok bulanık mantık modeli ve bulanık mantık modeliyle hibrit çalışan çok kriterli karar verme teknikleri kullanıldığı görülmüştür. Ürün mimarisi kısmı kavram oluşturma süreci gibi alternatif oluşturma sürecidir. Bu süreç için yapılan çalışmalarda da genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu benzeri modeller kullanıldığı görülmektedir. Mühendislik tasarım sürecinin biçim tasarımı kısmında yapılan çalışmalarda genellikle TOPSIS, VIKOR gibi çok kriterli karar verme algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir. Yalnız bu çok kriterli karar verme algoritmaları son 10-20 yılda uzman sistemler ve bulanık mantıkla hibrit bir şekilde uygulandığı da belli olmaktadır. Bununla birlikte Liu ve arkadaşları yaptıkları literatür taramasında malzeme seçimi ve keşfinde büyük veri ve derin öğrenme yöntemlerinin birleştirilmesinin de ileriki çalışmalar için iyi olacağını belirtmişlerdir [120]. Parametrik tasarımda, Taguchi deney tasarımı etkinliği ve iyi sonuç vermesi nedeniyle çokça kullanılmıştır fakat tek başına Taguchi deney tasarımı yöntemi

karmaşıklılaşan ürün tasarımlarının parametre optimizasyonunda yetersiz kaldığı belirtilmektedir [93, 95]. Yapay Zeka tekniklerinin gelişmesinin ardından parametrik tasarımda Taguchi deney tasarımı yöntemiyle birlikte bu yapay zekâ teknikleriyle hem birlikte hibrit olarak kullanılmış hem de Taguchi'nin yerine kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Detay tasarımı konusunda literatürde yapılan çalışmalarda da genel olarak bulanık mantık, yapay sinir ağları, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritmaların kullanıldığı görülmektedir.

Mühendislik tasarım sürecinin kavramsal tasarım kısmında en çok hatalı tasarım yapılmaması için gerekli önlemlerin alınmasına yönelik çalışmaların literatürde bulunduğu görülmektedir. Kavramsal tasarım sürecinin alt süreçleri olan problem tanımlama, bilgi toplama, kavram oluşturma, kavram seçme ve değerlendirme süreçleri üzerinde çalışma yapan araştırmacılar yapay zekâ tekniklerinin geleneksel yöntemlere göre daha iyi olduğunu belirtmekte ve yeni çalışmalarda önerildiği de görülmektedir.

Mühendislik tasarım sürecinin kavramsal tasarım sürecinden sonra gelen süreç somut tasarım sürecidir. Tasarım kavramının fiziksel formlarla yaratıldığı ete kemiğe büründüğü olarak da bilinir [18]. Bu süreç hem kullanıcı dostu hem de çevreye zarar vermeyen bir tasarım elde etmek için oldukça önemlidir. Somut tasarım sürecinde de araştırmacıların yapay zekâ yöntemlerine ve bunlarla yapılan hibrit çalışmalara başvurduğu görülmektedir.

Genel olarak mühendislik tasarım süreci önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi bilgi isteyen, zaman isteyen ve maliyetli bir süreçtir. Bu süreçte yapılacak hatalar ilerde yeniden tasarım yapılmasına bu süreçte kullanılan bilgi, zaman ve paranın heba olmasına sebep olabildiği yapılan çalışmalarda da anlatılmıştır.

Literatür çalışmasına genel olarak bakıldığında görülecektir ki kalifiye elemanların yerini alabilecek ya da istenilen derecede kalifiye olmayan elemanlara yardımcı olacağı düşünülen zeki yaklaşımlar kullanılmıştır. Bunun yanında zaman kısıtı ve maliyet kısıtı gibi kısıtları en aza indirmeyi amaçlayan çalışmaların yapıldığı da başarı ile yapıldığı görülmektedir.

Literatür araştırmasında görüldüğü üzere bilgi toplama süreci için çok fazla çalışma yapılmadığı yapılan çalışmalarda katı hesaplama tekniklerine yoğunlaştığı görülmektedir. Bunların yanında literatürde araştırmacılar, mühendislik tasarım sürecinin bilgi toplama kısmında internet ve patentler arasından arama optimizasyonlar teknikleri ile yapısal optimizasyon teknikleri gibi teknikleri kullanmak amacıyla stratejiler oluşturduğu görülmektedir. Bulanık mantıkla standartların belirlenmesi modeli bu açıdan önemlidir. İkinci modelin kullanıldığı parametre tasarımı kısmında döküm sektöründe yapılan benzer çalışmalar da genellikle döküm hatalarının giderilmesi üzerine olduğu görülmektedir. Ayrıca sertlik parametresinin ayarlanmasında bulanık yapay sinir ağı yöntemi ve benzer parametreleri kullanan çalışma da bulunmamaktadır.

BÖLÜM 3. MÜHENDİLİK TASARIM SÜRECİ İÇİN ÖNERİLEN BULANIK MANTIK VE BULANIK YAPAY SİNİR AĞI YAKLAŞIMI

Mühendislik tasarım süreci, eksik veya kesin olmayan bilgilerin daha kesin bilgilerle değiştirildiği ve sonuçta ortaya çıkan tasarımın kesin bir tanımıyla sona eren bir süreç olarak düşünülebilir [122]. Sürecin nerdeyse tüm aşamaları çok karmaşık ve anlaşılması zordur.

Tasarımın ilk aşamalarında hali hazırda elde bulunan ve yeni elde edilen bilgiler eksik, belirsiz ve bulanıktır [123]. Çünkü ön tasarım aşamaları sırasında tasarım alternatifleri genellikle yaklaşık olarak tanımlanır. Ürün geometrisi, malzeme özellikleri, üretim süreçleri vb. belirtilmemiş veya bilinmemektedir. Daha bu aşamada iken bile çeşitli tasarım çözümlerinin oluşturulması ve doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve seçilmesi gerekmektedir [124].

Mühendislik tasarımında belirsizliğin en önemli nedenleri bilgi eksikliği, gereksiz bilgi bolluğu ve belirsizliktir. Mühendislik tasarım süreci bilgi eksikliği ile başlar. Tasarımın erken aşamalarında, sadece müşteri tercihleri ve kısmen teknik özellikler mevcuttur. Mühendisler için eldeki mevcut bilgiler kesin ve belirleyici ise, mühendislik tasarım süreci de hızlı ve basit olacaktır. Buna rağmen genellikle mevcut bilgi ağırlıklı olarak dilseldir veya sayısal olsa bile sadece kısmen ayarlanmış ya da aralıklıdır. Mühendislik tasarım süreci problemlerinin çözümü için en uygun olan yöntemler belirsizlik teorileri, küme veya aralık değerli ve dilbilimsel bilgilerin bir karışımı ile ilgilenenlerdir [122].

Literatür taramasından da anlaşılabacağı üzere geleneksel yaklaşımların başarısız olduğu veya kötü performans gösterdiği durumlarda, çeşitli yapay zekâ tekniklerinin iyi bir

problem çözme aracı olarak kullanılabilir. Yapay zeka tekniklerinin önceki bölümlerde bahsettiğimiz bu potansiyelini göstermek için kendine özgü özellikleri ve gereksinimleri nedeniyle mühendislik tasarımı alanı mükemmel bir örnektir [121].

Bu tez çalışmasında döküm sektöründe mühendislik tasarım sürecinin hızlandırılması, maliyetin azaltılması ve müşteri ihtiyaçlarına en iyi şekilde karşılanması için yapay zekâ teknikleri kullanılarak iki farklı model oluşturulmuştur. Tezin bu kısmında uygulanan yapay zekâ tekniklerinden bulanık mantık ve bulanık yapay sinir ağıları yaklaşımlarına genel olarak değinilmiştir.

3.1. Bulanık Mantık Modeli

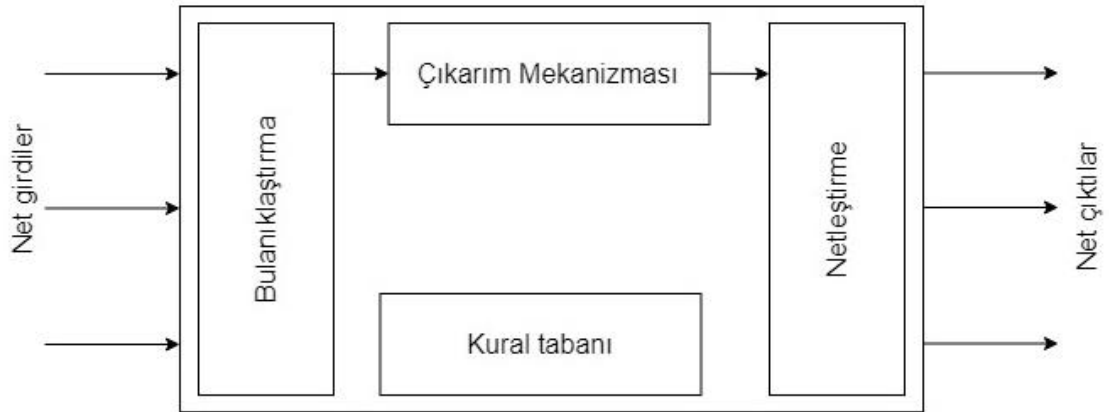
Mantık, insan oğlunun akıl yürütme yöntemlerini ve ilkelerini inceler. Genel uygulama olarak klasik mantık, doğru ya da yanlış olan önermelerle ilgilenir. Lotfi Asker Zadeh bilimsel bir disiplin olarak bulanık mantığın kurulmasında önemli ilerlemeler sağlamıştır [126].

Bulanık mantığın problem çözmede birçok avantajı vardır. Bulanık mantık modellerinin insanların düşünme tarzına yakın bir sistemi vardır. Matematiksel bir modele de ihtiyaç duymazlar, bulanıklığı anlamak kolaydır çünkü insanoğlu hayatında kullanmaktadır, diğer tekniklere göre üyelik derecelerinden dolayı daha esnek, sadece uzman kişiler yardımı ile de bulanık mantık modeli oluşturulabilir [127].

Bulanık mantık, gerçek dünyadaki analog değerleri alıp bilgisayar sistemlerinin ayrı dünyasında yönetilebilir hale getirmek için ideal bir yoldur. Net değerler ve semantikleri ile uğraşmak yerine, değer sisteminin semantiğini temsil eden kümeler halinde üyelikle uğraşır. Bu şekilde, bulanık üyelik fonksiyonlarında üyelik derecelerini kullanarak koşullu ifadeler alanında çalışabilir [128]. Bulanık mantığın çözüm sürecindeki hassas olmayan toleransı, karmaşık durumlarda bile etkili problem çözme için mümkün kılar. Bulanık mantık uygulamasının güçlü olduğu yer burasıdır [129].

Bulanık sistemler bilgi tabanlı veya kural tabanlı sistemlerdir. Bulanık bir sistem, bulanık IF-THEN kurallarından oluşan bir bilgi tabanıdır. Bulanık IF-THEN kuralı, bazı kelimelerin sürekli üyelik fonksiyonları ile karakterize edildiği bir IF-THEN ifadesidir [130].

Bulanık mantık sistemi genel olarak Şekil 3.1.'de de gösterildiği gibi bulanıklaştırma birimi, çıkarım mekanizması, kural tabanı ve netleştirme birimi olarak 4 birimden oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Bulanık sistem genel gösterimi [131].

Bulanık bir sistem, girdileri ve çıktıları arasında statik doğrusal olmayan bir haritalamadır. Girdiler ve çıktılar “net” dir, yani gerçek sayılardır, bulanık kümeler değildir. Bulanıklaştırma (Fuzzification) bloğu net girişleri bulanık kümelere dönüştürür, çıkarım mekanizması bulanık sonuçlara ulaşmak için kural tabanındaki bulanık kuralları kullanır ve netleştirme (Defuzzification) bloğu bu bulanık sonuçları net çıktılara dönüştürür [131].

3.1.1. Model yapısı ve parametreler

Klasik küme mantığında bir eleman, o kümenin ya elemanıdır ya da değildir denir. Bulanık küme mantığında ise eleman için üyelik derecesinden bahsedilir. Üyelik derecesi 0 ile 1 arasında herhangi bir değer alabilir.

X uzayı içinde tanımlanan bir A Bulanık kümesi için $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu denklem 3.1'deki gibi gösterilir.

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]; \mu_A(x) \in [0,1] \quad (3.1)$$

Bulanık kümeler mantığında da klasik kümelerdeki gibi işlemler yapılabilmektedir. X uzayındaki A ve B bulanık kümeleri için birleşim özelliği denklem 3.2'de gösterilmiştir.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.2)$$

Burada $\mu_A(x)$ A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonunu, $\mu_B(x)$ B bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu ve bu iki kümenin kesişimi $\mu_{A \cup B}(x)$ ile göstermektedir.

X uzayındaki A ve B bulanık kümeleri için kesişim özelliği denklem 3.3'de gösterilmiştir.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.3)$$

Burada A ve B bulanık kümelerinin kesişimi $\mu_{A \cap B}(x)$ ile göstermektedir.

A kümesinin tümleyeninin üyelik fonksiyonu olan $\mu_{\bar{A}}(x)$ kümesi denklem 3.4 'teki gibi gösterilmektedir.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.4)$$

Bulanık tabanlı bir sistemi oluşturmak için giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürerek bulanıklaştırma işlemi yapılır. Bulanıklaştırma

yapılırken üyelik fonksiyonlarından yararlanılır. Çok sayıda üyelik fonksiyonu tipi olmakla beraber uygulamada en çok kullanılanları üçgen, yamuk, çan eğrisi, gaussian ve sigmoidal fonksiyonlardır [132]. Bulanık tabanlı sistemlerin düzgün çalışması için bu fonksiyonlardan biri veya birkaçı seçilebilir. Tablo 3.1.'de bazı şekillerin fonksiyonları ve denklemleri 3.5, 3.6, 3.7 verilmiştir.

Tablo 3.1. Bazı üyelik fonksiyonları.

Üyelik fonksiyonu tipi	Fonksiyonu	Notasyonlar
Üçgen	$\mu A(x) = \begin{cases} \propto \left(\frac{x-a}{c-a} \right), & a \leq x \leq c \\ \propto \left(\frac{b-x}{b-c} \right), & c \leq x \leq b \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$	(a, 0) üçgenin başlangıç noktası (c, a) üçgenin tepe noktası (3,5) (b, 0) üçgenin bitiş noktası
Yamuk	$\mu A(x) = \begin{cases} \propto \left(\frac{x-a}{c-a} \right), & a \leq x \leq c \\ \propto & c \leq x \leq d \\ \propto \left(\frac{b-x}{b-d} \right), & d \leq x \leq b \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$	(a, 0) yamuğun başlangıç noktası (c, a) ve (d, a) yamuğun tepe doğrusu (3,6) (b, 0) yamuğun bitiş noktası
Gauss	$\mu A(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}$	c gauss eğrisinin merkezi σ gauss eğrisinin genişliği (3,7)

Giriş ve çıkış parametrelerinin belirlenmesinden ve bulanıklaştırılmasından sonra bulanık mantığın kural tabanının oluşturulması gerekmektedir. Bulanık sistemler bilgi tabanlı veya kural tabanlı sistemlerdir. Bulanık bir sistemin kalbi, bulanık IF-THEN kurallarından oluşan bir bilgi tabanıdır. Bulanık IF-THEN kuralı, bazı kelimelerin sürekli üyelik fonksiyonları ile karakterize edildiği bir IF-THEN ifadesidir [130]. Giriş

ve çıkış parametreleri kural tabanı ile birbirine bağlanır. Örnek olarak A ve B girişleri için C çıkışının ifade edildiği bir bulanık sistemde kural tabanı belirlenirken K_i (i ninci kural için);

K_i : Eğer x A ise VE y B ise O HALDE z C,

Şeklinde ifade edilir. A ve B girişlerinin değerine göre C bulanık çıkışının değeri belirlenir.

Bulanıklaştırılmış girişler için tüm kurallar belirlenip kural tabanına yazıldıktan sonra çıkarım mekanizması tüm girişleri ve kuralları işleyerek bir bulanık çıkış üretir. Çıkarım mekanizmasının farklı yöntemleri vardır ve bulanık araştırmacıların adlarıyla anılmaktadır. En çok kullanılan çıkarım mekanizması yöntemleri Mamdani ve Takagi-Sugeno yöntemleridir. Bu yöntemlerin kullandıkları operatörler denklem 3.8 ve denklem 3.9'da sırasıyla gösterilmiştir.

$$Z_i = (\mu A_i(x) \cap \mu B_i(y)) \cap \mu C_i(z) \quad (3.8)$$

$$Z_i = (\mu A_i(x), \mu B_i(y)) = f(a, b) \quad (3.9)$$

Burada μA ve μB giriş üyelik fonksiyonlarını ifade ederken $\mu C(x)$ çıkış üyelik fonksiyonunu ifade etmektedir. Z_i i ninci kurala göre çıkarım sonucunu ifade etmektedir. Denklemlerde görüldüğü gibi Mamdani yönteminde direk bulanık bir çıktı elde ederken Takagi-Sugeno yönteminde bir fonksiyon kullanılmaktadır. Çıkarım mekanizmasının sonucunda tüm Z_i 'ler istenen çıktıya göre birleştirilir.

Çıkarım mekanizmasının sonucunda bulunan bulanık değer gerçek hayatta kullanılmak üzere kesin bir sayıya dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu kısımda durulama (netleştirme) mekanizması devreye girer. Netleştirme işlemi için birçok metot vardır. Yaygın olarak kullanılanları alan merkezi metodu, maksimum, maksimumların ortalaması, maksimumların en küçüğü ve maksimumların en büyüğüdür.

3.2. Bulanık Yapay Sinir Ağı Modeli

Bulanık mantığın dilsel bilgiyi işleme ve uzman bilgisi sağlama gibi kolaylıkları ile yapay sinir ağlarının öğrenme ve optimum sonuca yakın sonuçlar bulma yeteneği birleştirilmiş ve hibrit bulanık yapay sinir ağ yapısı fikri ortaya çıkmıştır [133]. Yapay sinir ağlarının bulanık mantık tarafından kontrol edildiği sistem, bulanık sinir ağları olarak adlandırılmaktadır. [134].

Bir sistemde karmaşıklık ne kadar fazla ise ve yeterli veri bulunamazsa bulanıklık o kadar etkili olur. Karmaşık sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında, bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinde bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımları yapılabilmektedir [135].

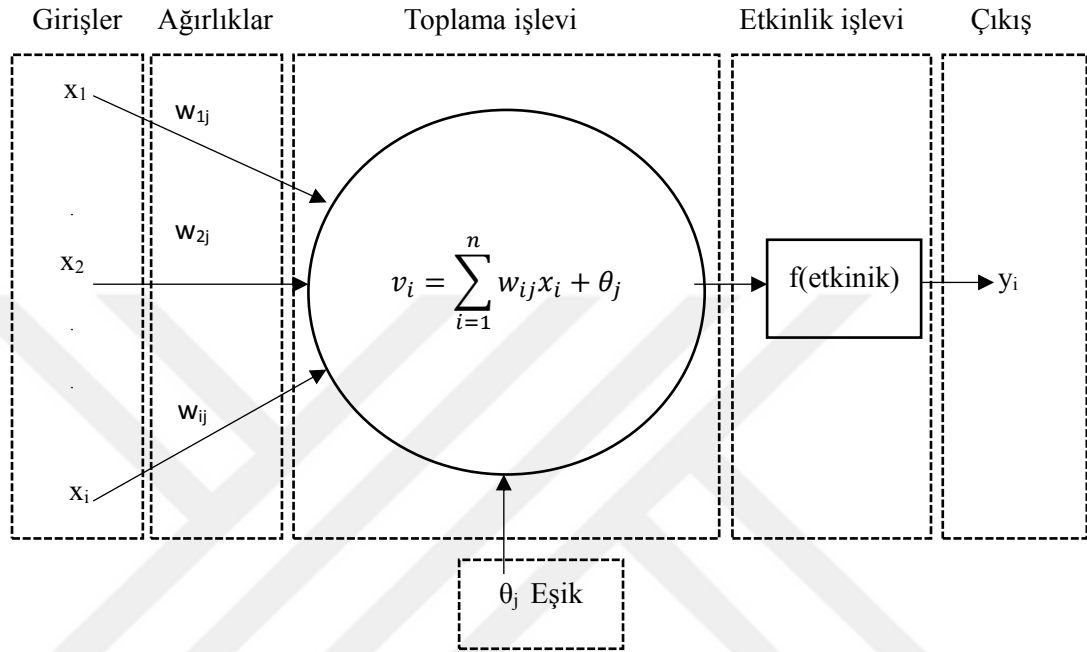
Fuller, bulanık sinir ağını “bulanık sinyaller ve / veya bulanık ağırlıklar, sigmoidal transfer fonksiyonu ve tüm operasyonlar Zadeh'in uzatma prensibiyle tanımlanmış bir sinir ağı olarak tanımlamıştır [136].

Tüm zeki yöntemler, sadece belirli problemler için uygun belirli hesaplama özelliklerine (örneğin, öğrenbilme, kararların açıklanması) sahiptir. Yapay sinir ağları örneklerden öğrenme konusunda iyi olmakla birlikte, kararlarına nasıl ulaştıklarını açıklamakta iyi değildirler. Bulanık mantık sistemleri, kararlarını açıklamakta iyidir; ancak bu kararları almak için kullandıkları kuralları otomatik olarak elde edemezler. Bu sınırlamalar, iki ya da daha fazla tekniğin birlikte hibrit olarak kullanılmasına yönlendirmiştir [136].

Bu model için gerekli olan çelik standartları ve her bir standardın kendine özgün özellikleri ve standartların parametreleri ve modelin yapısının anlatılacağı bir sonraki kısımda verilmiştir.

3.2.1. Model yapısı ve parametreler

Yapay sinir ağıları perceptron denilen Şekil 3.2.'de gösterilen temel bir yapay sinirden üretilmektedir. Öğrenme yetenekleri de ağılardaki ağırlıkların uygun bir şekilde ayarlanmasıyla kazanırlar [137]. Yapay sinir ağıları Hebb öğrenme kuralına uyarlar, her doğru karar alındığında bunlara ait sinirsel yollar (ağırlıklar) pekişir [138].



Şekil 3.2. Yapay bir sinir (düğüm) [137].

Bir yapay düğümde x ile ifade edilen girişler parametreleri n elemanlı sütun vektörü olarak (denklem 3.10) gösterilir.

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Yapay sinir ağında eğitimle beraber değişen ağırlıklar da w ile p elemanlı satır matrisi olarak (denklem 3.11) gösterilir.

$$w = [w_1 \quad w_2 \quad \cdot \quad \cdot \quad w_n] \quad (3.11)$$

Bir yapay sinirin düğümünde toplama işlevi gerçekleştirilir. Toplama işlevi öncesinde her bir giriş kendisiyle ilişkili ağırlıkla çarpılır daha sonra çıkan her bir sonuç toplanır.

Ardından eşik değeri (bias θ) ile toplanır. Bu işlem denklem 3.12’de gösterilmiştir [169].

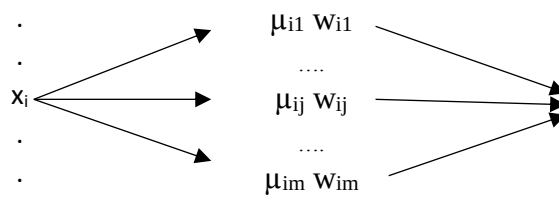
$$v_i = \sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + \theta_j \quad (3.12)$$

Bu işlemin sonucunda bulunan değer çıkış parametresinin (y) belirlenmesi için bir etkinlik işlevinden (aktivasyon fonksiyonu) geçer (denklem 3.13).

$$y_i = f(v_i) \quad (3.13)$$

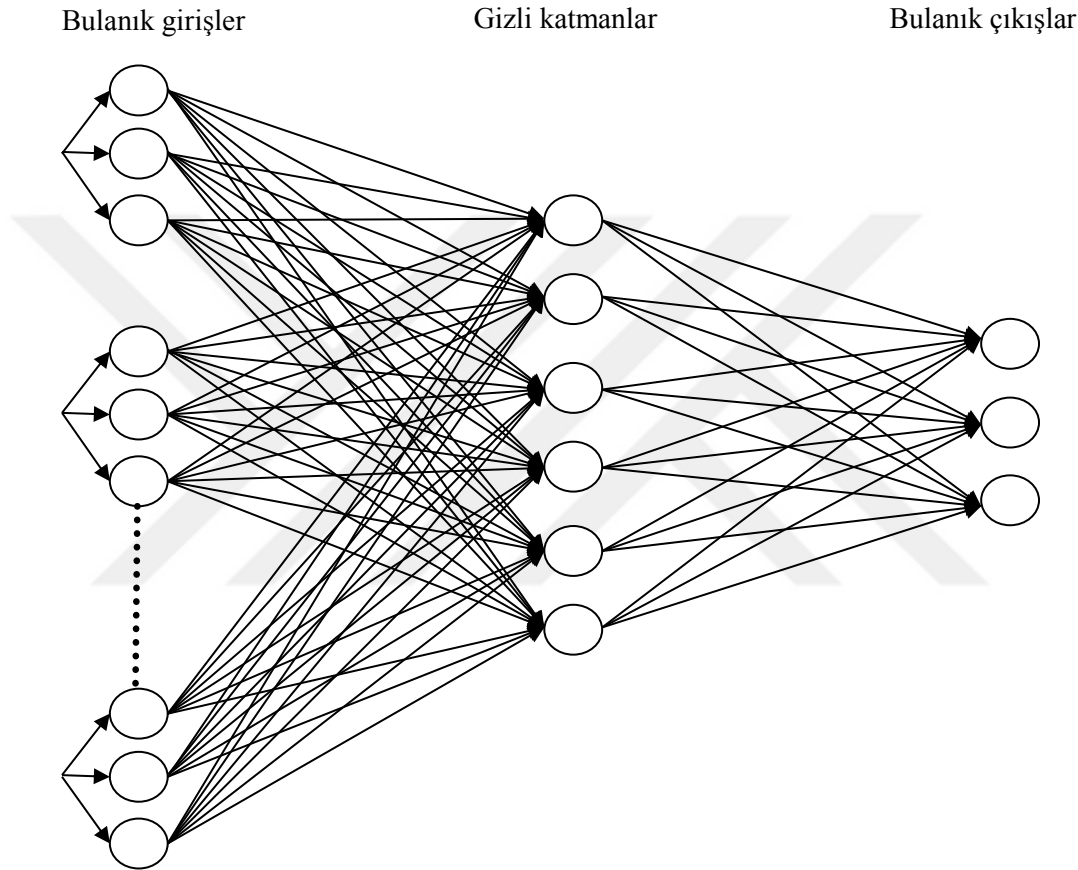
Çok sayıda aktivasyon fonksiyonu tipi olmakla beraber uygulamada en çok kullanılanları doğrusal (ADALINE), basamak, sigmoid, tanjant hiperbolik fonksiyonlarıdır.

Bulanık sinir ağı ile bulanık bilgi işleme yeteneğine sahip yapay sinir ağı ifade edilmektedir. Bulanık sinir ağlarında bulanık mantık kavramları, klasik sinir ağlarının bilgi sunum yeteneklerini güçlendirmek için kullanılır. Yamakawa ve arkadaşları tarafından geliştirilen bulanık sinir ağlarında her x_i girdisi için tek bir ağırlık yerine ağırlıklar dizisine ($w_{ij} j=1,2,\dots,m$) sahiptir. Bunların da her biri üçgensel bulanık sayı (μ_{ij}) ile ilişkilidir ve aşağıdaki Şekil 3.3.’teki gibi gösterilir [139].



Şekil 3.3. Yamakawa bulanık sinir ağı yapısı [139].

Bulanık yapay sinir ağının genel olarak modeli şekil 3.4.'teki gibi görülmektedir. İlk önce bulanıklaşabilir girişler bulanıklaştıktan sonra gizli katman veya katmanlarla bağlantı kurar. Bu bağlantılar Şekil 3.3.'te gösterildiği şekilde her bir düğüm ile bir sonraki katmandaki her bir düğüm arasında olmaktadır. Gizli katmandan sonra yine aynı şekilde bulanık çıkış katmanı ve bunlarla olan bağlantılar bulunmaktadır.



Şekil 3.4 Bulanık yapay sinir ağı modeli örneği.

BÖLÜM 4. ÖNERİLEN MODELLERİN GERÇEK ÜRETİM ORTAMINDA UYGULANMASI

Bu tez çalışmasında iki farklı model oluşturulmuştur bu modeller için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilki bulanık mantık yöntemi ikincisi ise bulanık yapay sinir ağı yöntemidir.

Tam anlamıyla kendi alanları değilse tasarımcılar ve mühendisler istedikleri ürün özelliklerini karşılayacak döküm standartlarını ya tam olarak bilmemekte ya da hiç bilmemektedirler. Bu sebeple üretimi yapacak olan üretim mühendislerine ya da dışarıdan üretim yapılacaksa dışarıdaki mühendislere isteklerini anlatamamaktadırlar. Gri dökme demir için oluşturulan ve ilk model olan bulanık mantık modeli sayesinde mühendislik tasarım sürecinin bilgi toplama alt süreci hızlandırılarak üretimi yapılacak ürünün istenen özelliklerine göre hangi standarda uygun üretim yapılacağı kısa sürede belirlenecektir.

Aran'a göre döküm sektöründe tasarımcılar, tasarladıkları parçalarda sadece öngördükleri işlevi yerine getirmeyi dikkate almakla kalmamalı aynı zamanda ekonomik olmasına ve parçanın döküme uygun olmasına da dikkat etmelidirler. Burada malzemenin seçimi önem arz etmektedir [141]. Bu sebeple tasarımcıların dökümcülerle iş birliği yapması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Tez çalışmasının ikinci modelinde zaman alan ve kalifiye eleman gerektiren sürecin hızlandırılması için bulanık yapay sinir modeli oluşturulmuştur.

4.1. Bulanık Mantık Modeli

İlk modelde, Mühendislik tasarımın alt süreçlerinden olan problemi tanıma ve bilgi toplama sürecinde elde edilen bilgilerle parametre tasarıma direk bilgi aktararak ürün tasarım sürecinin hızlanması ve müşteriye daha çabuk dönülmesi amaçlanmaktadır.

Bulanık mantığın insan düşünce tarzına yakın olması, uygulananın matematiksel modele ihtiyaç duymaması, yazılımının basit olması dolayısıyla ucuza mal olması, eksik tanımlı problemlerin çözümüne uygun olması ve uygulanması kolaylığı bu problem çözümünde bulanık mantık kullanmasının en önemli nedenlerindendir.

Model için erken tasarım sürecinde elden edilen;

- ürün ile ilgili bütün gerçekler,
- müşteriler tarafından konan bütün şartlar,
- gerçekçi sınırlamalar,
- standart ve şartnamelerde bulunan bilgiler,

kullanılarak ve dökme demirin çeşidi ve döküm parametreleri standartlar doğrultusunda bulanık mantık yardımıyla belirlenmiştir. Tablo 4.1.'de her bir ülkenin kendi standartlarına göre dökme demir standartları verilmiştir. Her bir ülkede dökme demirin özelliklerine göre dökümü yapılacak demir farklı standart isimleriyle adlandırılmaktadır.

Tablo 4.1. 'de de görüldüğü üzere her bir standardın mekanik özelliklerinin (Çekme dayanımı, sertlik, eğilme-bükülme mukavemeti, basma dayanımı ve elastisite modülü) değerleri bir sonraki ve bir önceki standartla birbirine geçmiş girift bir yapıdadır. Bu durumda uzmanlar bile kendileri arasında farklı tespitler yapabilmekte ve tasarımcıları kendi yorumlarına göre farklı farklı yönlendirebilmektedir.

Tablo 4.1. Dökme demirin tipik özellikleri [140], [141].

DÖKME DEMİR ÖZELLİKLERİ								
TÜRKİYE – TSE TS – 552			DDL – 10	DDL – 15	DDL – 20	DDL – 25	DDL – 30	DDL – 35
EU – EN 1561				GJL 150	GJL 200	GJL 250	GJL 300	GJL 350
ALMANYA – DIN 1691			GG 10	GG 15	GG 20	GG 25	GG 30	GG 35
USA – ASTM A 4876				Class 20B	Class 25B	Class 35B	Class 50B	Class 55B
İNGİLTERE – BS 1452				Grade 150	Grade 220	Grade 250	Grade 300	Grade 350
FRANSA – NF A32 – 101				Ft 15 D	Ft 20 D	Ft 25 D	Ft 30 D	Ft 35 D
İTALYA – UNI 5007			GG 10	GG 15	GG 20	GG 25	GG 30	GG 35
JAPONYA – JIS G 5501				FC 150	FC 200	FC 250	FC 300	FC 350
Tipik Özellikler	Gösterim	Birim						
Çekme Dayanımı	R _m	N/mm ²	100-180	150-250	200-300	250-350	300-400	350-450
Sertlik	HB		100-150	125-205	150-230	180-250	200-275	220-290
Eğilme- Bükülme Mukavemeti	bB	N/mm ²	200-250	250-300	290-360	325-420	390-480	455-540
Basma Dayanımı	dB	N/mm ²	500-600	550-700	600-830	700-1000	800-1200	950-1240
Elastisite Modülü	E _o	kN/mm ²	50-90	78-103	88-113	103-118	108-127	123-143
Kimyasal Bileşim		%	C	3,60-3,80	3,40-3,60	3,20-3,40	3,00-3,25	2,95-3,10
			Si	2,40-2,60	2,30-2,50	2,10-2,30	1,85-2,10	1,70-2,00
			Mn	0,50-0,80	0,50-0,80	0,50-0,80	0,40-0,70	0,40-0,70
			S	0,12Max.	0,12 Max.	0,12 Max.	0,12 Max.	0,12 Max.
			P	0,50Max.	0,50 Max.	0,50 Max.	0,50 Max.	0,50 Max.

Oluşturulacak bulanık mantık modeli ile Tablo 4.1.'de her bir standart malzeme için verilmiş mekanik özellikleri (Çekme dayanımı, sertlik, eğilme-bükülme mukavemeti, basma dayanımı ve elastisite modülü) modelimize girdi olarak alınacaktır. Oluşturulan bulanık mantık modeli tasarımcıların istediği mekanik özelliklere göre hangi standart malzemeyi seçmesi gerektiğini belirleyecektir.

4.2. Bulanık Yapay Sinir Ağı Modeli

Yeni ürün geliştirme prosesinde özellikle döküm sektöründe deney maliyetleri oldukça yüksektir. Çünkü deneme için dökülmesi gereken bileşimi belli ürünün dökülmesinde kullanılacak ocak ve potalar sürekli üretimin bir parçasıdır, bu sebeple deneme için üretimin durması gerekmekte deneme sonucunda çıkan istenilen özellikleri göstermeyen parçalar da hurdaya ayrılmaktadır. Bunun yanında deneme sonucu çıkan parçanın muayenesi içinde kalifiye elemanların kullanılması ve yine yapılan muayenelerin tahribatlı olması maliyeti arttırmaktadır. Bu sebeple asgari deney sayısı ile başarılı analiz sonuçlarını elde etmek gerekmektedir.

Döküm sektöründe bilgi ve deneyimle üretim hatalarından kurtulmaya çalışılır fakat bu yaklaşım hem zaman yönünden uzun hem de maliyetlidir [170]. Bu geleneksel yaklaşımın yerine, daha iyi istatistik kullanımı, yapay zeka teknikleri ve veri madenciliği araçları kullanarak, zaman ve maliyet minimizasyonu sağlanabilir [171].

Bu modelde, istenen sertlik miktarına göre dökümün ürün ve proses tasarımının hesaplanabilmesi için bulanık yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur.

İnsan beyni, öğrenme kapasitesine sahip en güçlü ve verimli hesaplama makinesidir. Sıradan PC'nin çözemediği gerçek sorunları çözebilir. Yapay Sinir Ağları da insan beyninin öğrenme özelliğinin bilgisayara aktaran bir tekniktir [142].

Yapay sinir ağlarının klasik sistemlere göre hata toleransı, eğitilme, öğrenme, genelleştirme ve bellek gibi üstünlüklerini vardır. Bu özelliklerle bulanık mantığın

dilsel bilgi işleme ve matematik modele ihtiyaç duymaması gibi özelliklerinin birleştiği bulanık yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. [143] [144];

Yapay sinir ağlarında kullanılan verilerin ilişkileri gerçekleşen örnekler üzerinde kendiliğinden hesaba katılmaktadır. Bu yüzden verilerin ilişkilerinin modellenmesi geleneksel sistemdeki kadar zor değildir. Yapay sinir ağı hem pratik hem de maliyetleri daha azdır [144].

YSA'nın bu özellikleri bu tez çalışmasında ve belli bir matematiksel modeli olmayan döküm prosesinin modellenmesinde kullanılması için oldukça iyi bir yöntem olduğu görüşünü doğrulamaktadır. BSA'nın Fuller'e göre 7 tipi vardır. Bu tipler Tablo 4.2.'de görülmektedir [136].

Tablo 4.2. Bulanık sinir ağı tipleri [48].

BSA	Girişler	Ağırlıklar	Çıkışlar
Tip 1	Bulanık	Kesin	Kesin
Tip 2	Bulanık	Kesin	Bulanık
Tip 3	Bulanık	Bulanık	Bulanık
Tip 4	Kesin	Bulanık	Bulanık
Tip 5	Kesin	Kesin	Bulanık
Tip 6	Kesin	Bulanık	Kesin
Tip 7	Bulanık	Bulanık	Kesin

Döküm sektöründe dökümü yapılacak parça için külçe eritmek hurda eritmeye göre çok daha maliyetlidir. Bu durumda parçalar genellikle hurda malzemeler eritilerek dökülmektedir. Hurdalar da genellikle paket halinde farklı malzemelerin birleştirilmesinden oluşmaktadır. İçerisinde bulunan kimyasal içeriklerin ortalamasına göre dökümhanede sınıflandırılarak kullanılmaktadır. Örneğin kromu düşük çelik, bakırı yüksek demir gibi. Kromu yüksek hurdalar bazen yüksek kromlu parçalar için bile düşük olabilmektedir.

Yine sertlikler de üretilecek parçalara göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu sebepten bu tez çalışmasında kullanılan bulanık yapay sinir modeli Fuller'in Tablo 4.2.'de belirlediği tiplerin arasından Tip 2'deki gibi uygulanmıştır.

Mühendislik tasarım sürecinin parametre tasarımıda kullanılacak modelin çıktısı sertlik için girdi olarak literatürde kullanılan ve firmada ölçülebilen girdi değerleri;

- % C (yüzde karbon miktarı)
- % Si (yüzde Silisyum miktarı)
- % Mn (yüzde Mangan miktarı)
- % P (yüzde Fosfor miktarı)
- % S (yüzde Kükürt miktarı)
- % Cr (yüzde Krom miktarı)
- % Cu (yüzde Bakır miktarı)
- % Sn (yüzde Kalay miktarı)
- T Döküm sıcaklığı
- Sn Döküm süresi olarak belirlenmiştir.

Girdi parametrelerinin belirlenmesinde firma içinde ölçülebilen parametreler olması ve Tablo 4.3.'te literatür çalışmaları ile birlikte uzman görüşleri önemli rol oynamıştır.

Tablo 4.3. Literatürde kullanılan ve ölçülebilen girdi parametreleri.

Araştırmacı	Döküm sıcaklığı	Kum Özelliği	Döküm Süresi	Kalıp ısısı	Piston hızı	Basınç	% Cr (Krom)	% Si (Silisyum)	% Mn (Mangan)	% Cu (Bakır)	% C (Karbon)	% S (Kükürt)	% P (Fosfor)	% Sn (Kalay)	% Ni (Nikel)	% Mo (Molibden)	% Mg (Magnezyum)	% Al (Alüminyum)	% V (Vanadyum)	% Sc (Skandiyum)	% Ti (Titanyum)	Döküm Modülü	Eritme Sıcaklığı	Diğer
Shailesh ve ark. [145]	✓	✓	✓	✓																				✓
Syrcos [146]	✓		✓		✓	✓																		✓
Li ve ark. [147]	✓		✓			✓																		✓
Rao ve ark. [86]	✓		✓		✓	✓																		✓
An ve ark. [148]							✓	✓	✓	✓														
Calcaterra ve ark. [149]	✓	✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓		
Yang ve ark. [150]	✓					✓																	✓	
Senthil ve Amirthagadesaran [151]				✓		✓																✓		✓
Yarlagadda ve Chiang [152]	✓																					✓	✓	✓
Kumar ve ark. [153]	✓	✓		✓																				✓
Upadhye ve Keswani [154]	✓	✓	✓		✓																			✓
Muzammil ve ark. [155]		✓																						✓
Perzyk ve Kochanski [156]	✓						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓			
Glavaš ve ark. [157]	✓																							✓
Zmak ve Filetin [158]							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓		
Ławrynowicz ve ark. [159]								✓	✓	✓	✓				✓	✓								✓
Behera ve ark. [88]							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓							
Somkuwar [160]							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓
Voracek [161]							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										✓
Bartocha ve ark. [162]							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓								
Alvarez ve ark. [163]							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Hancheng ve ark. [164]																								✓
Ölçülebilen	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Girdi parametrelerinin belirlenmesinde olduğu gibi çıktı parametresinin belirlenmesinde firma isteği ve Tablo 4.4.'te literatür çalışmaları ile birlikte uzman görüşlerinden yararlanılmıştır.

Tablo 4.4. Literatürde kullanılan çıktı parametreleri.

Araştırmacı	Çekme Dayanımı	Sertlik	Döküm yoğunluğu	Yorulma	Porozite	Aşınma dayanımı	Mikro yapı	Döküm Hataları	Diğer
Shailesh ve arkadaşları [145]	✓	✓							
Syrcos [146]			✓						
Li ve arkadaşları [147]				✓					
Rao ve arkadaşları [86]					✓				
An ve arkadaşları [148]						✓			
Calcaterra ve arkadaşları [149]	✓								
Yang ve arkadaşları [150]							✓		
Senthil ve Amirthagades [151]	✓	✓							
Yarlagadda ve Chiang [152]									✓
Kumar ve arkadaşları [153]								✓	
Upadhye ve Keswani [154]								✓	
Muzammil ve arkadaşları [155]								✓	
Perzyk ve Kochanski [156]	✓	✓							✓
Glavaš ve arkadaşları [157]									✓
Zmak ve Filetin [158]		✓							
Ławrynowicz ve arkadaşları [159]	✓								
Behera ve arkadaşları [88]	✓								
Somkuwar [160]		✓							
Voracek [161]		✓							
Bartocha ve arkadaşları [162]		✓							✓
Alvarez ve arkadaşları [163]	✓	✓							
Hancheng ve arkadaşları [164]	✓								

Yine modelde kullanılmak üzere bir döküm firmasının 2 yıl içinde yaptığı döküm bilgilerinden 170 tanesi alınmış, bulanık yapay sinir ağı modelinin eğitim ve test verisi olarak kullanılmıştır. Bazı araştırmacılara göre ağı eğitimi için kullanılacak deney setleri oranı verilere göre değişmekle beraber çoğunlukla yaklaşık %20'i kullanılmakta ve kalan veriler eğitim amacıyla kullanılmaktadır [77, 168]. Bu çalışmada 170 verinin yaklaşık %25 yani 42 tanesi test için ayrılmış, kalan 128 tanesi eğitim için kullanılmıştır. Alınan 170 örneğin istatistiği Tablo 4.5.'teki gibidir.

Tablo 4.5. BSA Örneklerinin istatistiği.

Parametre Simgesi	Parametre Adı	En düşük	En Yüksek	Ortalama	Standart Sapma
% C	(yüzde Karbon miktarı)	3,49	3,72	3,597176	0,048896
% Si	(yüzde Silisyum miktarı)	1,81	2,23	1,983706	0,066799
% Mn	(yüzde Mangan miktarı)	0,4	0,72	0,549353	0,06884
% P	(yüzde Fosfor miktarı)	0,005	0,19	0,049976	0,049357
% S	(yüzde Kükürt miktarı)	0,0103	0,27	0,122296	0,025205
% Cr	(yüzde Krom miktarı)	0,011	0,23	0,095476	0,029689
% Cu	(yüzde Bakır miktarı)	0,01	0,9	0,142094	0,086446
% Sn	(yüzde Kalay miktarı)	0,011	0,066	0,031853	0,008978
T	Döküm sıcaklığı	1378	1405	1394,935	5,817968
Sn	Döküm süresi	7	11	10,07647	1,163175
Hb	Sertlik	179	229	203,1118	7,008766

Tablo 4.5.'te on giriş parametresi (% C yüzde karbon miktarı, % Si yüzde silisyum miktarı, % Mn yüzde mangan miktarı, % P yüzde fosfor miktarı, % S yüzde kükürt miktarı, % Cr yüzde krom miktarı, % Cu yüzde bakır miktarı, % Sn yüzde kalay miktarı, T döküm sıcaklığı, Sn döküm süresi) ve bir çıkış parametresi (Hb sertlik) için bir yıllık toplam yüz yetmiş döküm için bulunan ve modelde kullanılacak kayıtların en düşük değeri, en yüksek değeri, ortalaması ve standart sapması verilmiştir. Bundan sonraki adımda en iyi mimari belirlenerek bu değerlerin modele verilerek eğitilmesi ve test edilmesi vardır. Aliyev ve Guirimov'a göre en iyi mimariyi seçmede mantıklı olan strateji, çeşitli gizli katmanları deneyen ve en iyi performansı gösterene kadar

deneyler yapmaktır. Bulanık yapay sinir ağılarındaki gizli katmanların ve nöronların sayıları, dil kuralları ve üyelik işlevleri dizisi ile uzman kuralların sayısı ve türleri tarafından kontrol edilebilir [168].



BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde parametreleri belirlenmiş adımları planlanmış iki farklı modelimizin bir döküm firmasının mühendislik tasarım sürecine uygulanması ve bulgularının değerlendirilmesi aşaması vardır.

İlk modelde direkt olarak tasarımcıları ilgilendiren bilgi toplama sürecinin bir alt aşaması olan standartların belirlenmesi kısmı için bulanık mantık modelinin uygulanması sonucundaki bulgular değerlendirilmiştir.

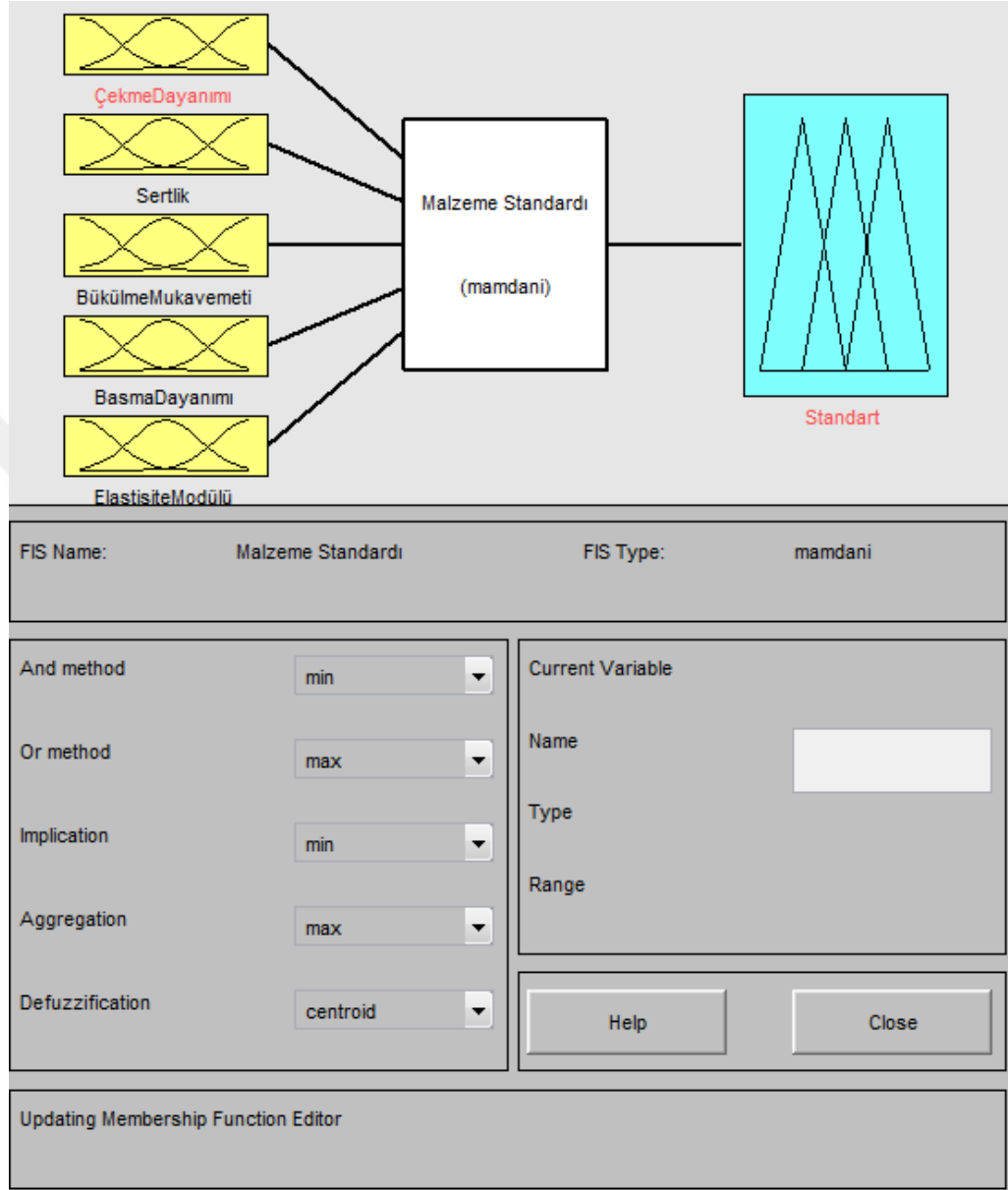
İkinci modelde ise daha çok tasarımcılarla beraber üretim ya da metalürji mühendislerinin ortaklaşa karar vermesi gereken parametre tasarımı süreci uygulanan bulanık yapay sinir ağı modelinin sonuç bulguları değerlendirilmiştir.

5.1. Bulanık Mantık ile Kullanılacak Dökme Demirin Standardının Belirlenmesi

Bulanık mantık modeli için öncelikle dökme demir standartları ve bu standartların eşlenikleri bulunmuştur. Çekme dayanımı, sertlik, bükülme mukavemeti, basma dayanımı ve elastisite modülü için en uygun değerleri veren bulanık mantık modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Her bir dökme demir standardına ait farklı farklı olup tipik özellikleri ve kimyasal bileşimi gibi Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tasarımcılar; bulanık mantık modeliyle çekme dayanımı, sertlik, bükülme mukavemeti, basma dayanımı, elastisite modülü göre istedikleri özellikleri karşılayan ürünün hangi standartta verilen ürün olduğunu bu sayede belirleyebileceklerdir.

Bulanık Mantık modeli için tasarlanan sistem Şekil 5.1.'de de görüldüğü üzere beş giriş ve bir çıkıştan oluşmaktadır.

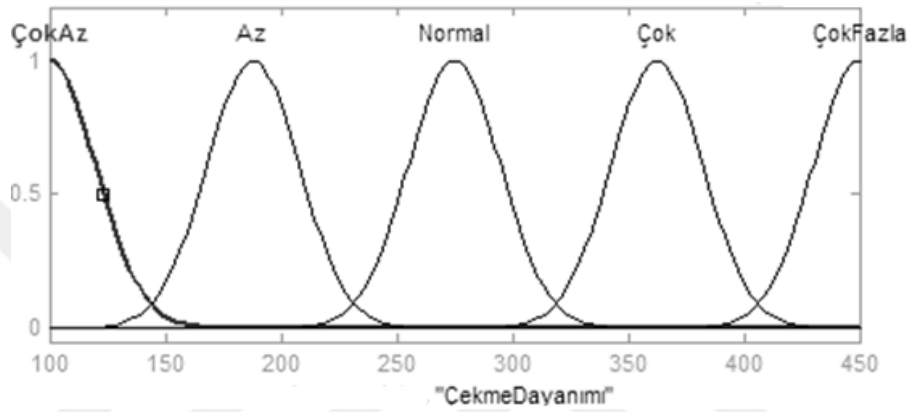


Şekil 5.1. Bulanık mantık standart belirleme modeli.

Hazırlanan model için giriş parametrelerinin grafik gösterimleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Bulanık mantık modelinde giriş parametreleri için farklı üyelik dereceleri denenmiş ve her bir parametre için modele en uygun olanı seçilmiştir. Hali hazırda bulanık mantığın en büyük dezavantajlarından birisi de üyelik dereceleri ve üyelik fonksiyonlarının bulunmasında belirli bir sistematığın olmaması, deneme

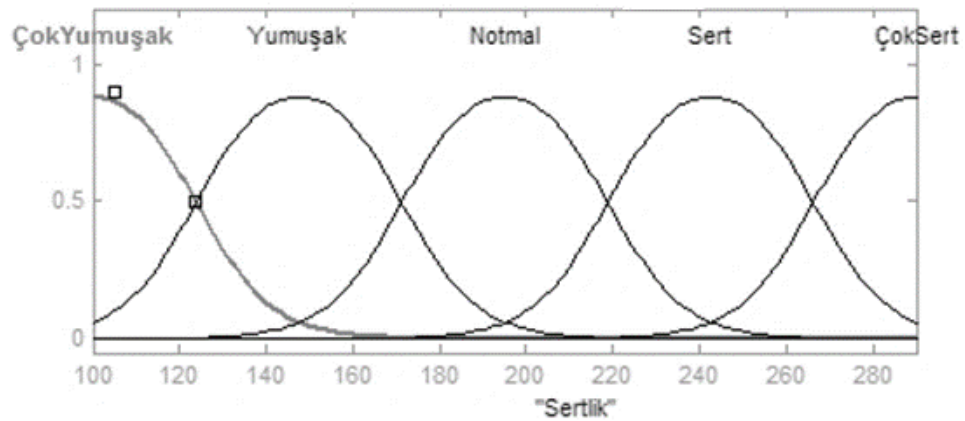
yanılma yoluyla bulunmasıdır. Her bir parametre için belirlenen üyelik dereceleri uzmanlar ve literatürden alınan bilgiler eşliğinde bulunmuştur. Tüm girdi parametreleri 5 farklı üyelik derecesi olması kararlaştırılmıştır.

Çekme dayanımı için bulanık mantık üyelik dereceleri Şekil 5.2.'de gösterildiği gibi çok az, az normal, çok ve çok fazla olmak üzere beş farklı kümeye ayrılmış ve üyelik fonksiyonu gauss eğrisi (gaussian) şeklindedir.



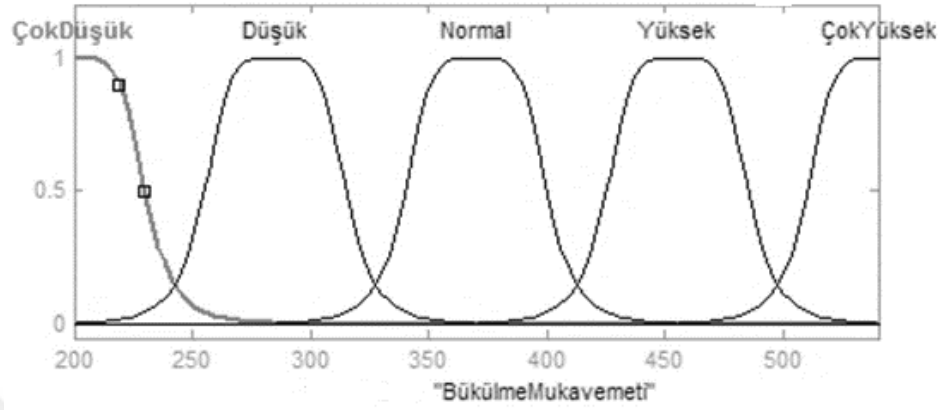
Şekil 5.2. Çekme dayanımı girişi için üyelik fonksiyonu.

Sertlik için bulanık mantık üyelik dereceleri Şekil 5.3.'te gösterildiği gibi çok az, az normal, çok ve çok fazla olmak üzere beş farklı kümeye ayrılmış ve üyelik fonksiyonu iki sigmoid arasındaki fark eğrisi şeklindedir.



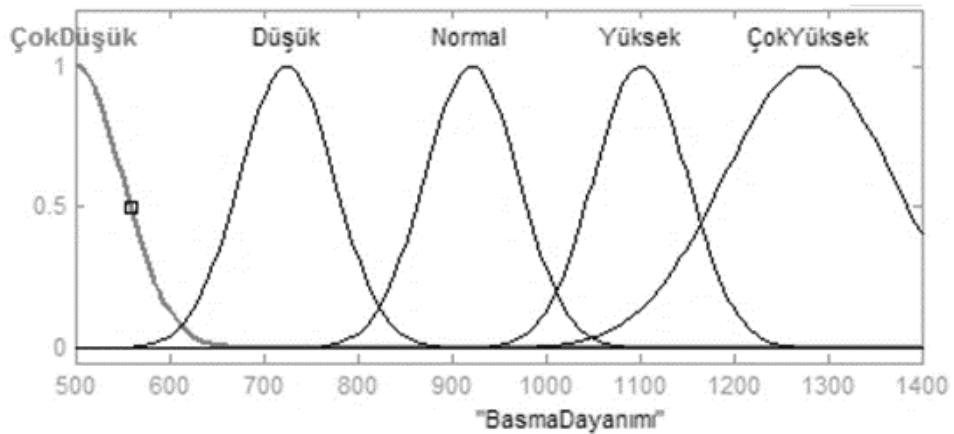
Şekil 5.3. Sertlik girişi için üyelik fonksiyonu.

Bükülme mukavemeti için bulanık mantık üyelik dereceleri Şekil 5.4.'te gösterildiği gibi çok az, az normal, çok ve çok fazla olmak üzere beş farklı kümeye ayrılmış ve üyelik fonksiyonu genelleştirilmiş çan eğrisi şeklindedir.



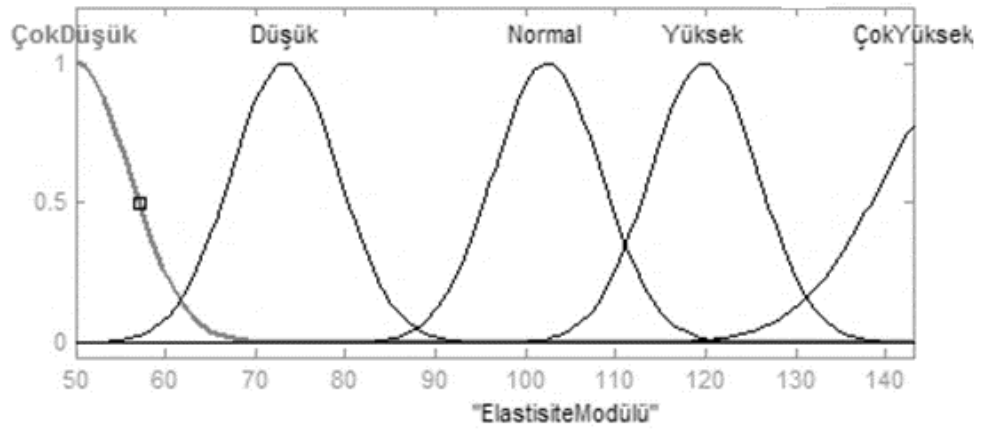
Şekil 5.4. Bükülme Mukavemeti girişi için üyelik fonksiyonu.

Basma dayanımı için bulanık mantık üyelik dereceleri Şekil 5.5.'te gösterildiği gibi çok az, az normal, çok ve çok fazla olmak üzere beş farklı kümeye ayrılmış ve üyelik fonksiyonu genelleştirilmiş çan eğrisi şeklindedir.



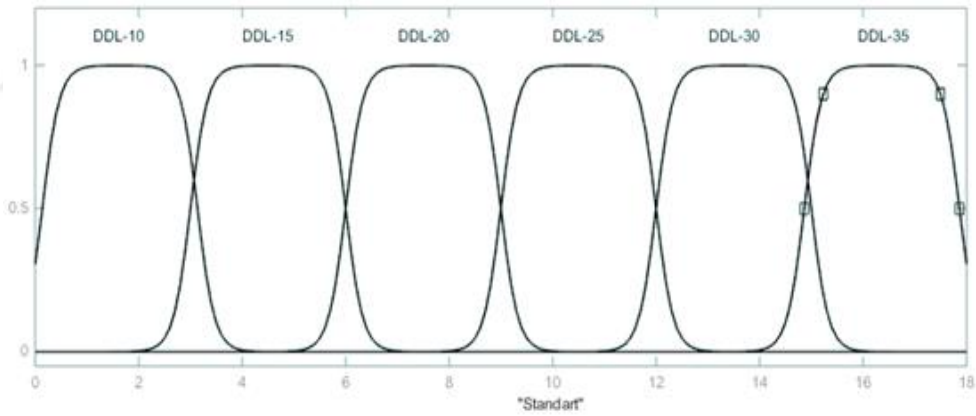
Şekil 5.5. Basma dayanımı girişi için üyelik fonksiyonu.

Elastisite modülü için bulanık mantık üyelik dereceleri Şekil 5.6.'da gösterildiği gibi çok az, az normal, çok ve çok fazla olmak üzere beş farklı kümeye ayrılmış ve üyelik fonksiyonu gauss eğrisi (gaussian) şeklindedir.



Şekil 5.6. Elastisite Modülü girişi için üyelik fonksiyonu.

Yapılan model için çıkış parametresinin (standartlar) grafiksel gösterimi Şekil 5.7.'deki gibidir. Çıkış değişkenlerine 0'dan 18'e kadar değerler atanarak altı farklı TSE standardında belirtilen ve sektörde en çok kullanılan standardın sonuçları yazılmıştır.



Şekil 5.7. Standart çıkışını gösteren üyelik fonksiyonu.

Bulanık mantık modeli için belirlenen giriş ve çıkış parametrelerinin modele yansıtılmasında 4 farklı uzmanla birebir görüşülerek üyelik dereceleri ayarlanmıştır. Bunun yanında şekille gösterilen üyelik fonksiyonları Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Bulanık mantık üyelik dereceleri

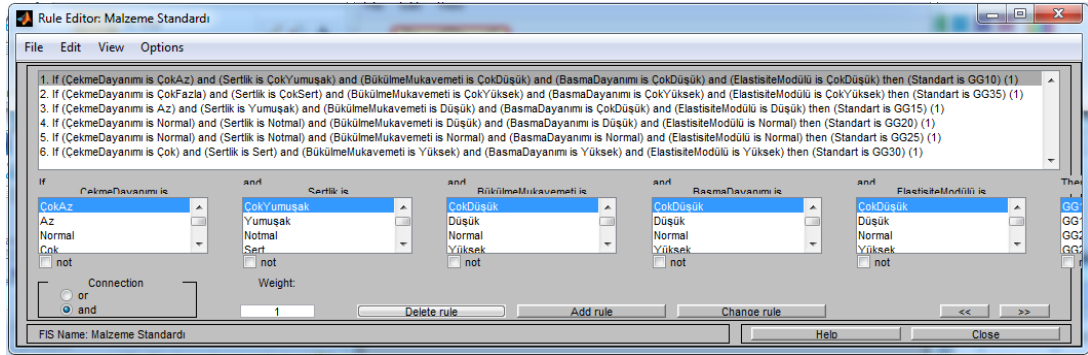
Üyelik Derecesi	Çekme dayanım	Üyelik Derecesi	Sertlik	Üyelik Derecesi	Bükülme mukavemeti	Üyelik Derecesi	Basma dayanımı	Üyelik Derecesi	Elastisite modülü	Üyelik Derecesi	Standart
Çok az	$e^{\frac{-(x-100)^2}{2 \cdot 20^2}}$	Çok yumuşak	$\frac{1}{1 + e^{-0,1156(x-76)}}$	Çok düşük	$\frac{1}{1 + \left \frac{x-200}{30}\right ^{2 \cdot 2,5}}$	Çok düşük	$= e^{\frac{-(x-500)^2}{2 \cdot 50^2}}$	Çok düşük	$= e^{\frac{-(x-50)^2}{2 \cdot 6^2}}$	DLL-10	$\frac{1}{1 + e^{-6(x-0)}}$
Az	$e^{\frac{-(x-1188)^2}{2 \cdot 20^2}}$	Yumuşak	$\frac{1}{1 + e^{-0,1156(x-123)}}$	Düşük	$\frac{1}{1 + \left \frac{x-285}{30}\right ^{2 \cdot 2,5}}$	Düşük	$= e^{\frac{-(x-750)^2}{2 \cdot 50^2}}$	Düşük	$= e^{\frac{-(x-73)^2}{2 \cdot 6^2}}$	DLL-15	$\frac{1}{1 + e^{-6(x-3)}}$
Normal	$e^{\frac{-(x-275)^2}{2 \cdot 20^2}}$	Normal	$\frac{1}{1 + e^{-0,1156(x-171)}}$	Normal	$\frac{1}{1 + \left \frac{x-370}{30}\right ^{2 \cdot 2,5}}$	Normal	$= e^{\frac{-(x-920)^2}{2 \cdot 50^2}}$	Normal	$= e^{\frac{-(x-102)^2}{2 \cdot 6^2}}$	DLL-20	$\frac{1}{1 + e^{-6(x-6)}}$
Fazla	$e^{\frac{-(x-360)^2}{2 \cdot 20^2}}$	Sert	$\frac{1}{1 + e^{-0,1156(x-218)}}$	Yüksek	$\frac{1}{1 + \left \frac{x-455}{30}\right ^{2 \cdot 2,5}}$	Yüksek	$= e^{\frac{-(x-1100)^2}{2 \cdot 50^2}}$	Yüksek	$= e^{\frac{-(x-120)^2}{2 \cdot 6^2}}$	DLL-25	$\frac{1}{1 + e^{-6(x-9)}}$
Çok fazla	$e^{\frac{-(x-450)^2}{2 \cdot 20^2}}$	Çok sert	$\frac{1}{1 + e^{-0,1156(x-266)}}$	Çok yüksek	$\frac{1}{1 + \left \frac{x-540}{30}\right ^{2 \cdot 2,5}}$	Çok yüksek	$= e^{\frac{-(x-1280)^2}{2 \cdot 90^2}}$	Çok yüksek	$= e^{\frac{-(x-150)^2}{2 \cdot 10^2}}$	DLL-30	$\frac{1}{1 + e^{-6(x-12)}}$
										DLL-35	$\frac{1}{1 + e^{-6(x-15)}}$
											$\frac{1}{1 + e^{-6(18-x)}}$

Giriş ve çıkış parametreleri arasındaki ilişkiyi anlamamızı sağlayan kurallar oluşturulmuştur. Bu kurallar hem tablo şeklinde hem de modelde gösterilmiştir. Kural tabanının tablo olarak gösterimi tablo 5.2. 'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Bulanık mantık modeli kural tabanı tablosu

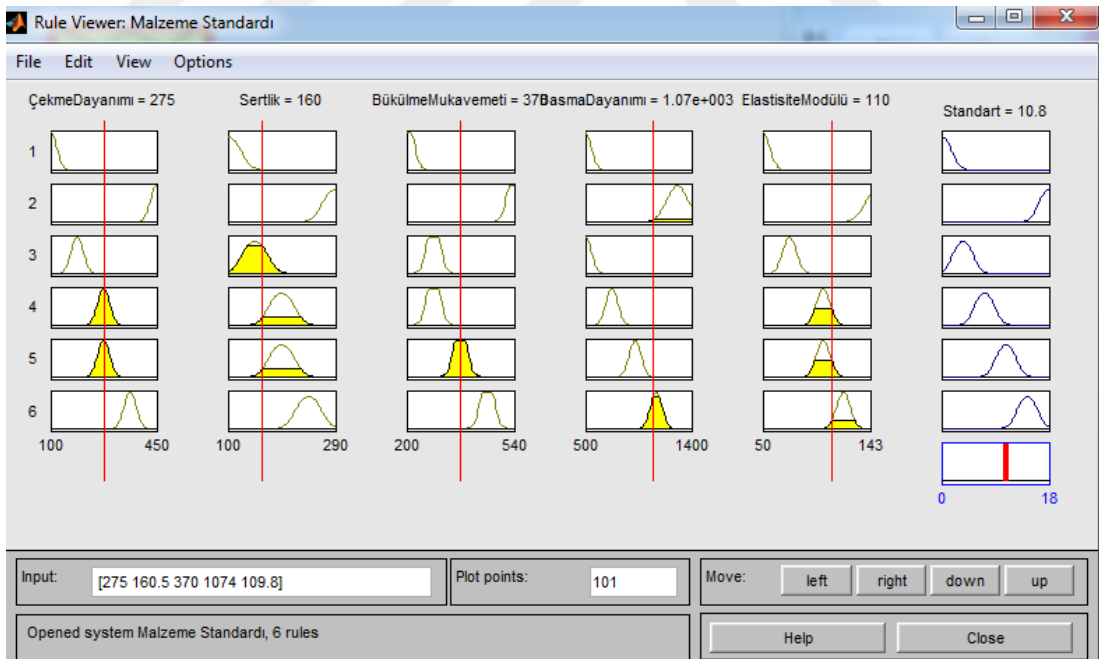
Kural numarası	Kural
1	- If (ÇekmeDayanımı is ÇokAz) and (Sertlik is ÇokYumuşak) and (BükülmeMukavemeti is ÇokDüşük) and (BasmaDayanımı is ÇokDüşük) and (ElastisiteModülü is ÇokDüşük) then (output1 is GG10) (1)
2	- If (ÇekmeDayanımı is ÇokFazla) and (Sertlik is ÇokSert) and (BükülmeMukavemeti is ÇokYüksek) and (BasmaDayanımı is ÇokYüksek) and (ElastisiteModülü is ÇokYüksek) then (output1 is GG35) (1)
3	- If (ÇekmeDayanımı is Az) and (Sertlik is Yumuşak) and (BükülmeMukavemeti is Düşük) and (BasmaDayanımı is ÇokDüşük) and (ElastisiteModülü is Düşük) then (output1 is GG15) (1)
4	- If (ÇekmeDayanımı is Normal) and (Sertlik is Notmal) and (BükülmeMukavemeti is Düşük) and (BasmaDayanımı is Düşük) and (ElastisiteModülü is Normal) then (output1 is GG20) (1)
5	- If (ÇekmeDayanımı is Normal) and (Sertlik is Notmal) and (BükülmeMukavemeti is Normal) and (BasmaDayanımı is Normal) and (ElastisiteModülü is Normal) then (output1 is GG25) (1)
6	- If (ÇekmeDayanımı is Çok) and (Sertlik is Sert) and (BükülmeMukavemeti is Yüksek) and (BasmaDayanımı is Yüksek) and (ElastisiteModülü is Yüksek) then (output1 is GG30) (1)

Modele ait kural tabanının gösterimi ayrıca şekil 5.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Bulanık mantık kural tabanı.

Bu tez çalışmasında elde edilen bulanık çıkış değerinin kesinleştirilmesi (durulaştırılması) için bir çok yöntem denenmiş en iyi sonucu veren ve literatürde en çok kullanılan “Ağırlık Merkezi” yöntemi seçilmiştir. Centroid yöntemi de denilen ve yaygın olarak kullanılan yöntem, kümenin olabilirlik dağılımının çekim noktasını üretir. Bulanık mantık ile standart belirlemenin karar görüntüsü Şekil 5.9.’da görülmektedir.

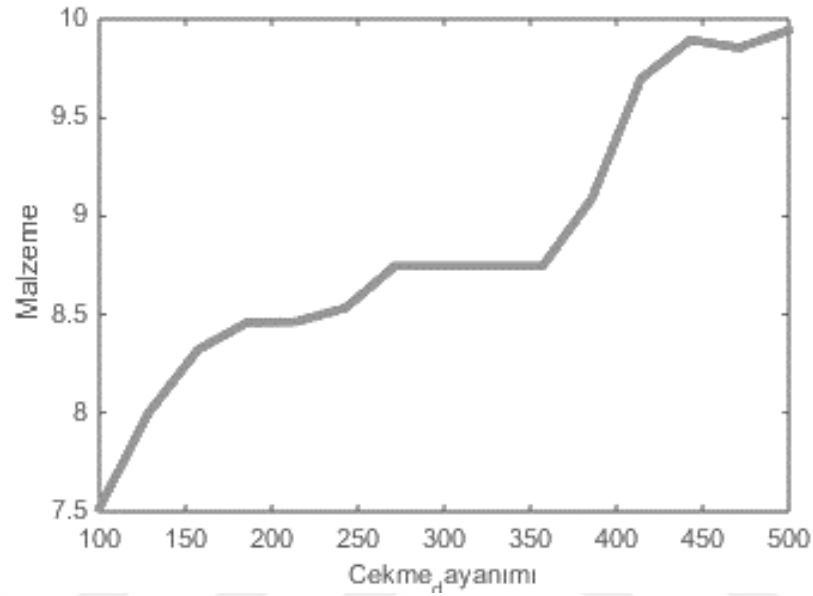


Şekil 5.9. Kural ve netleştirme görünümü.

Şekil 5.9.’da da görüldüğü gibi giriş değişkenlerinden olan, çekme dayanımı, sertlik, bükülme mukavemeti, basma dayanımı ve elastisite modülü dikkate alınarak çıktı

değişkeni olan standardın numarası tespit edilebilmektedir. Standart numarasına göre de kimyasal bileşimi seçilebilmektedir.

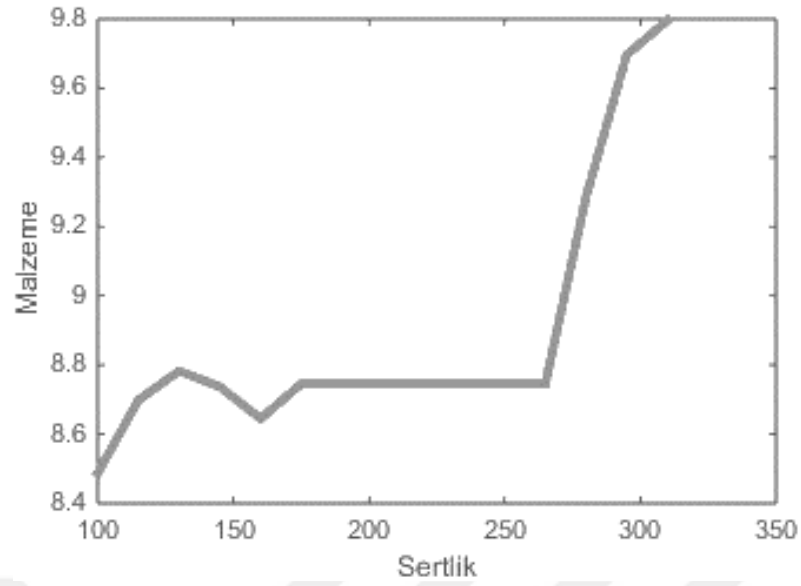
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit kaldığında çekme dayanımının malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.10.'daki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.10. Çekme dayanımının malzeme standardı seçimi üzerine etkisi.

Şekil 5.10.'da da görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında çekme dayanımının 100 ile 250 N/mm² arasında artması malzeme standardının değişmesine neden olurken 250-350 N/mm² arasında artması herhangi bir değişikliğe neden olmamakta 350-500 N/mm² arasında değişmesi yine malzeme standardının seçiminde değişime neden olmaktadır.

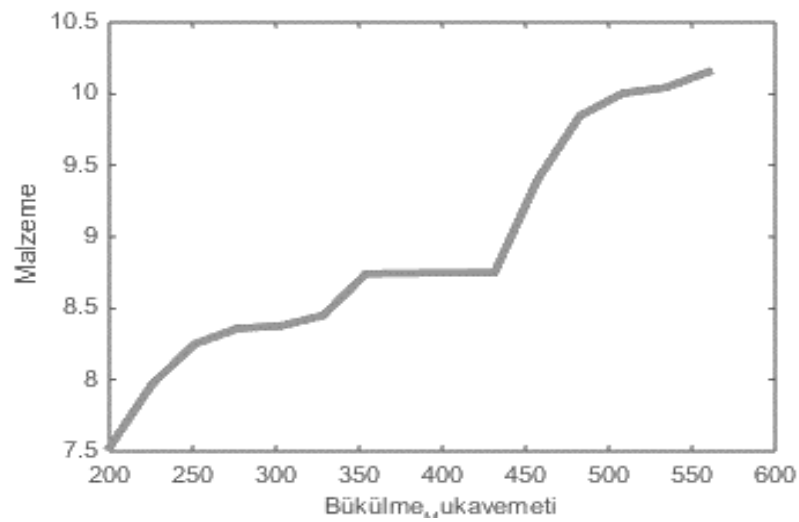
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit kaldığında sertliğin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.11.'deki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.11. Sertliğin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi.

Şekil 5.11.'de görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında sertliğin artması malzeme standardının değiştirirse de diğer parametrelere nazaran çok etkin bir rol oynamamaktadır.

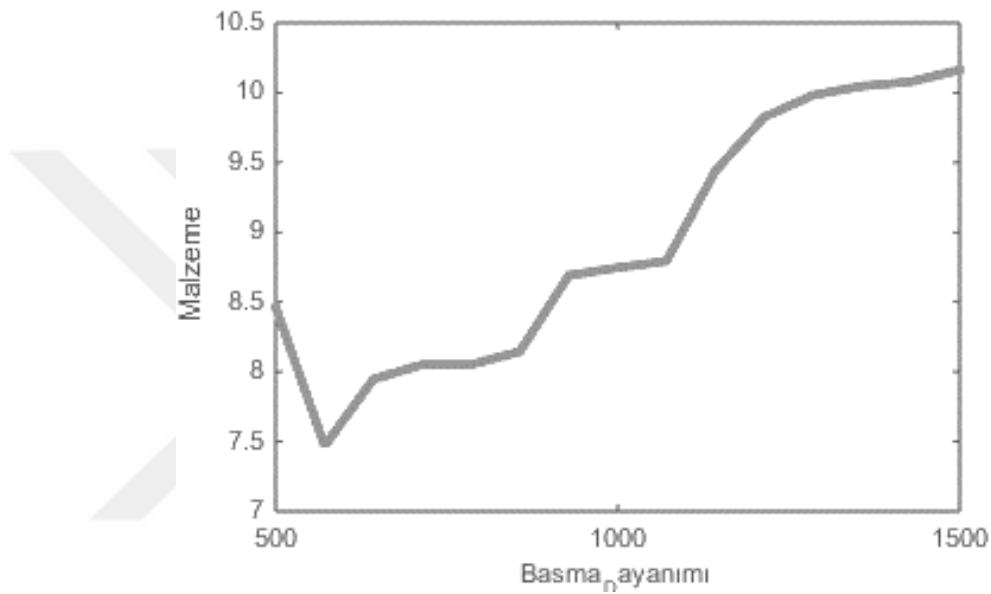
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda bükülme mukavemetinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.12.'deki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.12. Bükülme mukavemetinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi.

Şekil 5.12.'de görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında bükülme mukavemetinin artması malzeme standardının değiştirmektedir. Yani bükülme mukavemeti arttıkça malzeme standardının numarası da doğru orantılı olarak artmaktadır.

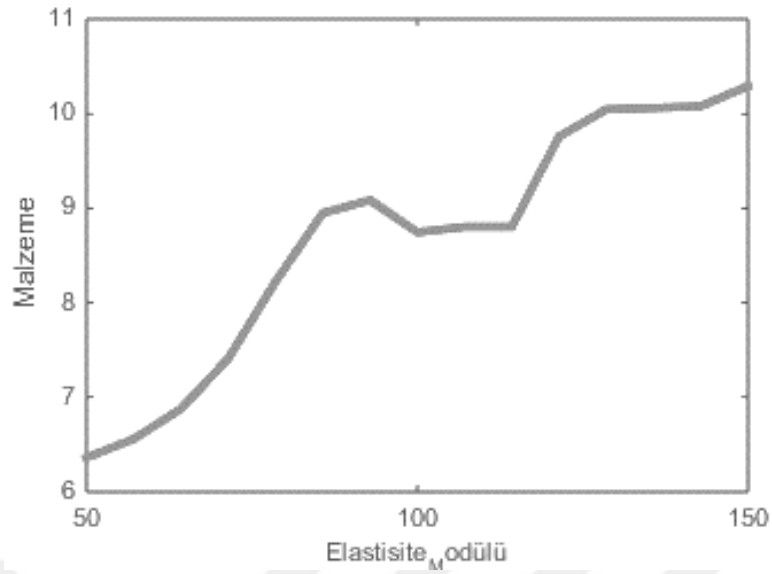
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametrelerin değeri sabit kaldığında basma dayanımının malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.13.'teki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.13. Basma dayanımının malzeme standardı seçimi üzerine etkisi.

Şekil 5.13.'te görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında basma dayanımının 500-600 N/mm² arasında artması malzeme standardı seçimi etkisi diğer parametrelerin tersine aksi yöndedir. 600-1500 arasında artması malzeme standart numarası seçimini de arttırmaktadır.

Bulanık mantık modeli sonucunda elastisite modülünün malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.14.'teki gibi çıkmıştır.

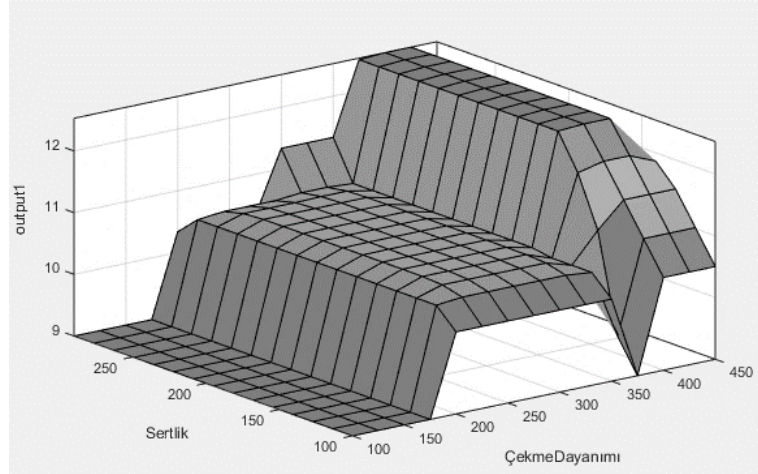


Şekil 5.14. Elastisite modülünün malzeme standardı seçimi üzerine etkisi.

Şekil 5.14.'te görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında elastisite modülünün artması malzeme standardı seçimi etkisi genel olarak doğru orantılı ve en yüksek olan parametredir.

Bulanık mantık modeli sonucunda malzeme seçimine etki eden parametrelerinin her birinin tek başlarına etkisi yukarıdaki şekillerde görülmektedir. Ancak bu durumlar diğer parametrelerin sabit olduğunda geçerlidir. Bu parametrelerin birbirleri ile ilişkileri de malzeme seçimini etkilemektedir.

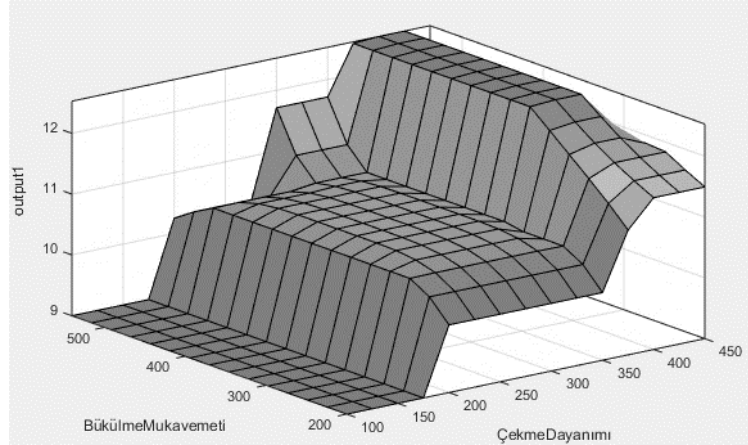
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda çekme dayanımı ve sertlik parametrelerinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.15.'teki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.15. Bulanık mantık modeli sertlik ve çekme dayanımının malzeme standardı üzerine etkisi.

Şekil 5.15.'te görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında sertlik ve çekme dayanımı parametrelerinin ikisi birden aynı anda malzeme standardı numarasını arttırmamakta, yalnızca çekme dayanımının artması ile malzeme standardı değişmekte bu değişimde beklenenin altında kalmaktadır. İkisinin de en yüksek ve en düşük değerleri arasında malzeme standardında 3 birimlik bir fark oluşmaktadır. Bu üç birimlik fark bulanık mantık modelinde sadece tek bir standart değişim aralığına tekabül etmektedir. Çekme dayanımının etkisi varken sertliğin çok bir etkisi olmadığı ayrıca da görülmektedir.

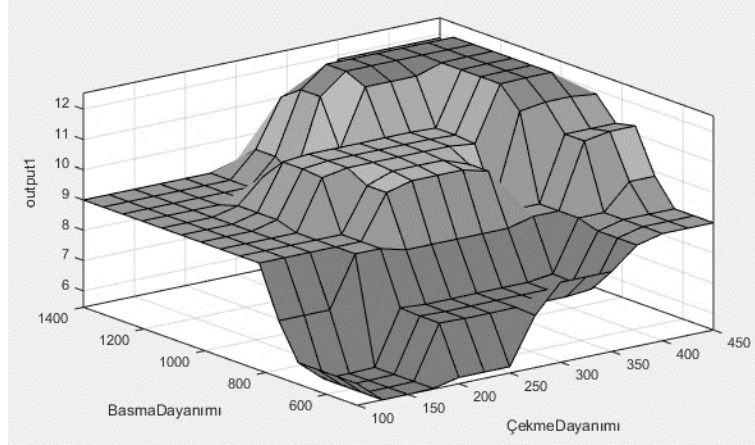
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda çekme dayanımı ve bükülme mukavemeti parametrelerinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.16.'daki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.16. Bulanık mantık modeli bükülme mukavemeti ve çekme dayanımının malzeme standardı üzerine etkisi.

Şekil 5.16.'da görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında bükülme mukavemeti ve çekme dayanımı parametrelerinin malzeme standardına etkisi olarak Şekil 5.15'tekine benzer bir sonuç çıkmıştır. İki parametre birden aynı anda malzeme standardı numarasını arttırmamakta, yalnızca çekme dayanımının artması ile malzeme standardı değişmekte bu değişimde beklenenin altında kalmaktadır. İkisinin de en yüksek ve en düşük değerleri arasında malzeme standardında 3 birimlik bir fark oluşmaktadır. Bu üç birimlik fark bulanık mantık modelinde sadece tek bir standart değişim aralığına tekabül etmektedir. Çekme dayanımının etkisi varken bükülme mukavemetinin çok bir etkisi olmadığı ayrıca da görülmektedir.

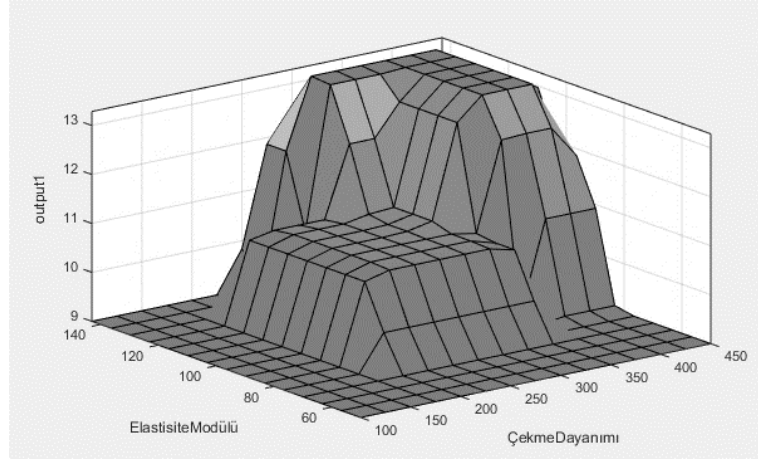
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda çekme dayanımı ve basma dayanımı parametrelerinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.17.'deki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.17. Bulanık mantık modeli basma dayanımı ve çekme dayanımının malzeme standardı üzerine etkisi.

Şekil 5.17.'de görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında basma dayanımı ve çekme dayanımı parametrelerinin malzeme standardına etkisi doğru orantılı olarak artmaktadır. Yani basma dayanımı ve çekme dayanımı parametreleri ikisi birden arttığında malzeme standardı numarası doru orantılı olarak artarak değişmektedir. Etkisi de 5 ile 12 arasında malzeme standardına gözle görülür bir şekilde etki edecek seviyededir.

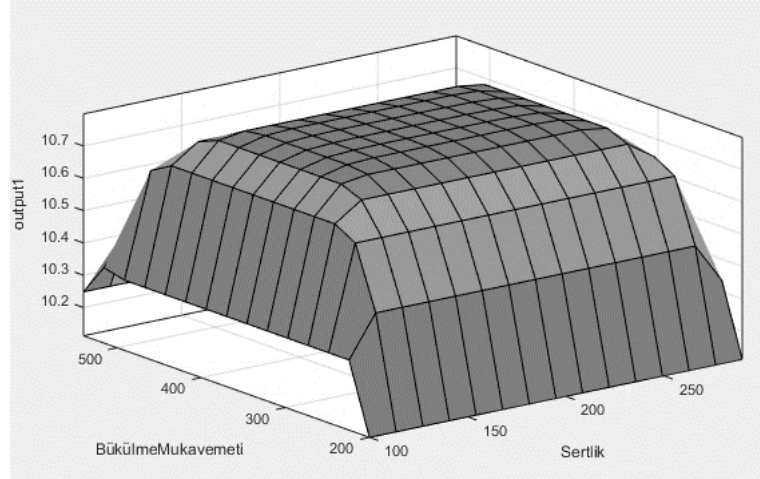
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda çekme dayanımı ve elastisite modülü parametrelerinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.18.'deki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.18. Bulanık mantık modeli elastisite modülü ve çekme dayanımının malzeme standardı üzerine etkisi.

Şekil 5.18.'de görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında elastisite modülü ve çekme dayanımı parametrelerinin malzeme standardına etkisi doğru orantılı olarak artmaktadır. Elastisite modülü ve çekme dayanımı parametrelerinin malzeme standardı üzerine etkisi basma dayanımı ve çekme dayanımının etkisine benzer özellik göstermektedir fakat basma dayanımı ve çekme dayanımı kadar etkiye sahip olmamakla beraber standart üzerine etkileri ani olmakta yani düşük seviyelerde hiç etki etmezken orta seviyelerde ve üst seviyelerde bir anda malzeme standardını bir anda arttırmamaktadır.

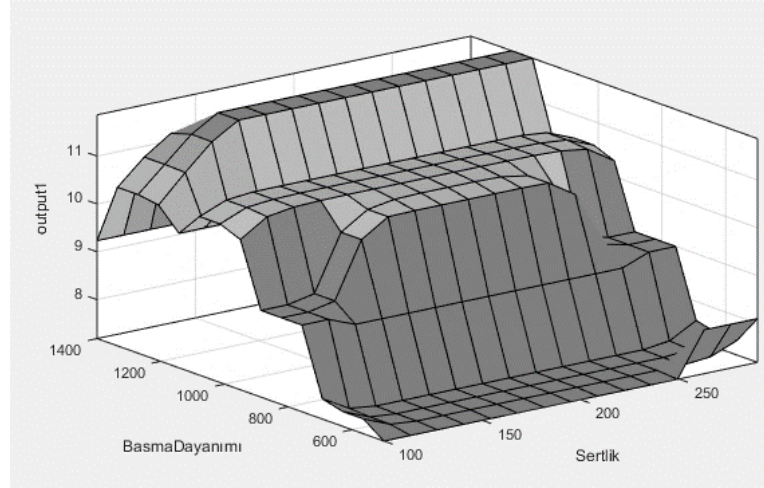
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda sertlik ve bükülme mukavemeti parametrelerinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.19.'daki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.19. Bulanık mantık modeli bükülme mukavemeti ve sertliğin malzeme standardı üzerine etkisi.

Şekil 5.19.'da görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında sertlik ve bükülme mukavemeti beraber arttığında malzeme standardına etkisi çok bir etkide bulunmadıkları görülmektedir. Bu iki parametrenin malzeme standardının modeli üzerine etkisi 10 ile 10,7 arasında değişmekte bu değişimde model için hiçbir şey ifade etmemektedir.

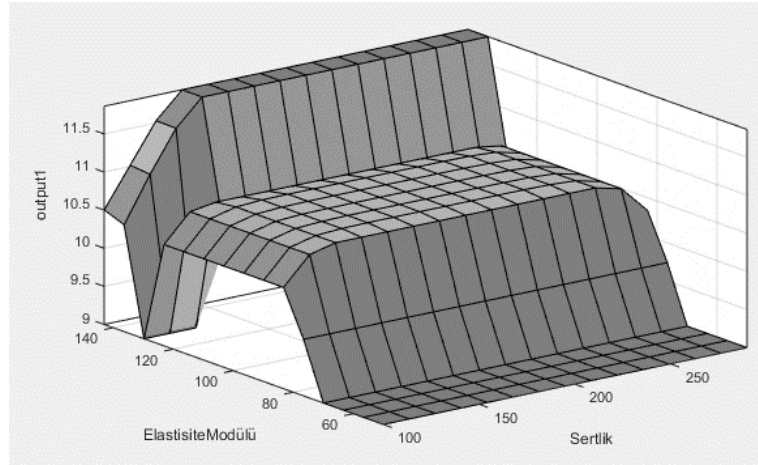
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda sertlik ve basma dayanımı parametrelerinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.20.'daki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.20. Bulanık mantık modeli basma dayanımı ve sertliğin malzeme standardı üzerine etkisi.

Şekil 5.20.'de görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında sertlik ve basma dayanımı beraber arttığında malzeme standardına etkisi 7 birimden 11 birime kadar arttırdığı görülmektedir. Sertliğin düşük seviyelerde basma dayanımı ile olan etkisi doğru orantılı iken orta seviyelerde etkisinin olmadığı üst seviyelerde ise ters bir etkisi olduğu görülmektedir. Sertliğin bu etkisinin düşük olması da Şekil 5.20.'de görülebilmektedir.

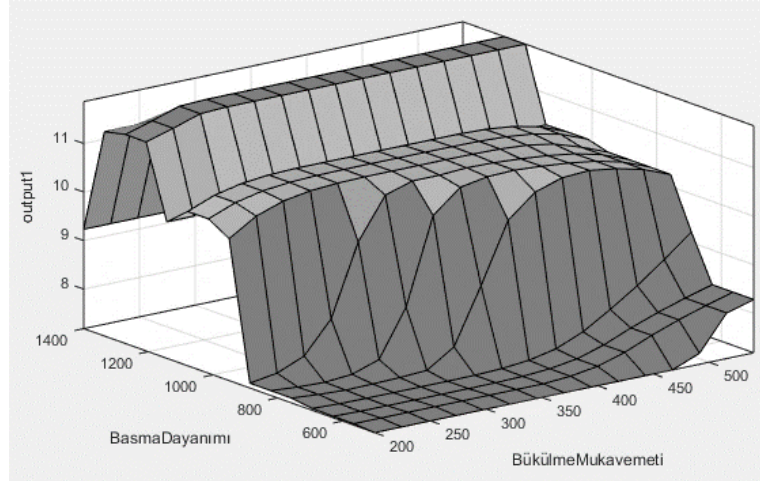
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda sertlik ve elastisite modülü parametrelerinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.21.'deki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.21. Bulanık mantık modeli elastisite modülü ve sertliğin malzeme standardı üzerine etkisi.

Şekil 5.21.'de görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında sertlik ve elastisite modülü parametreleri beraber incelendiğinde diğer ikili parametrelerinkinden farklı bir etkisi olduğu görülmektedir. Sertliğin etkisinin elastisite modülü yanında pek fark edilmemesinin aynı sıra düşük seviyelerde elastisite modülü arttıkça malzeme standardına doğru oranda etki ederken yüksek seviyelerde önce ters orantılı şekilde etkilediği sonra ani olarak doğru orantılı şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu iki parametrenin 9 ile 11,5 arasında modele etki ettiği görülmektedir.

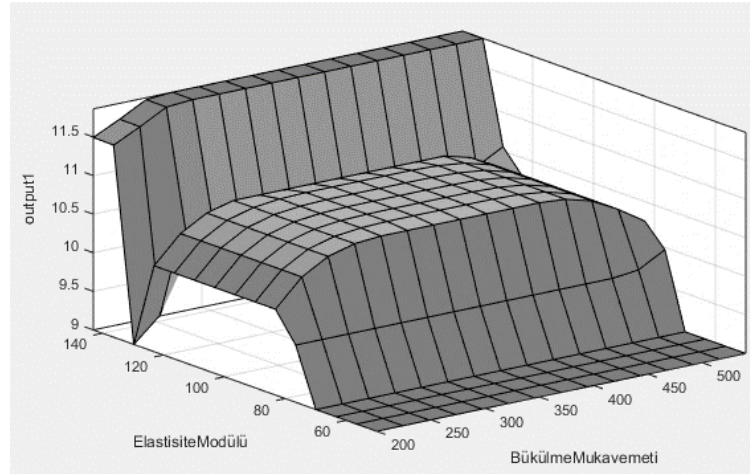
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda basma dayanımı ve bükülme mukavemeti parametrelerinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.22.'deki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.22. Bulanık mantık modeli basma dayanımı ve bükülme mukavemetinin malzeme standardı üzerine etkisi.

Şekil 5.22.'de görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında basma dayanımı ve bükülme mukavemeti parametreleri beraber incelendiğinde basma dayanımının doğru orantılı olarak malzeme standardı üzerine etkisi artarken bükülme mukavemetinin yüksek seviyelerdeyken küçük bir artış etkisi yarattığı söylenebilir. Basma dayanımı ve bükülme mukavemeti parametrelerinin etkisi model üzerinde 7 ile 12 arasında olduğu görülmektedir.

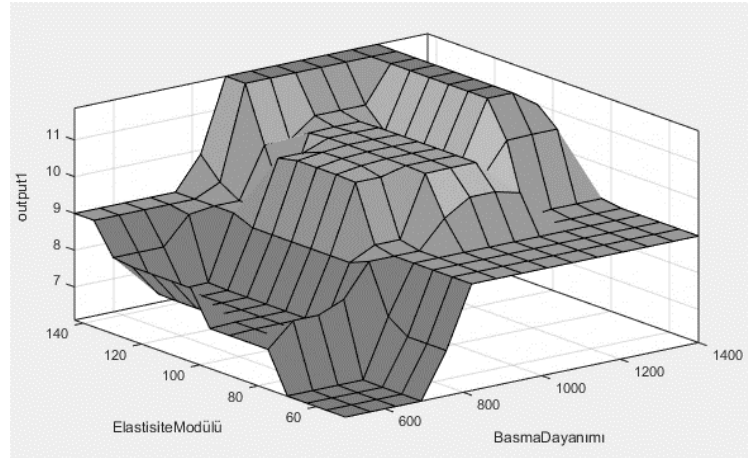
Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda elastisite modülü ve bükülme mukavemeti parametrelerinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.23.'teki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.23. Bulanık mantık modeli elastisite modülü ve bükülme mukavemetinin malzeme standardı üzerine etkisi.

Şekil 5.23.'te görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında bükülme mukavemeti ve elastisite modülü parametreleri beraber incelendiğinde Şekil 5.21.'de incelenen sertlik ve bükülme mukavemeti etkisine benzer bir sonucun çıktığı görülmektedir. Bükülme mukavemetinin etkisinin elastisite modülü etkisi yanında pek fark edilmemesinin aynı sıra düşük seviyelerde elastisite modülü arttıkça malzeme standardına doğru oranda etki ederken yüksek seviyelerde önce ters orantılı şekilde etkilediği sonra ani olarak doğru orantılı şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu iki parametrenin 9 ile 11,5 arasında modele etki ettiği görülmektedir.

Bulanık mantık modeli sonucunda diğer parametreler sabit olduğunda elastisite modülü ve basma dayanımı parametrelerinin malzeme standardı seçimi üzerine etkisi Şekil 5.24.'teki gibi çıkmıştır.



Şekil 5.24.Bulanık mantık modeli elastisite modülü ve basma dayanımı mukavemetinin malzeme standardı üzerine etkisi.

Şekil 5.24.'te görüldüğü üzere diğer parametreler sabit kaldığında basma dayanımı ve elastisite modülü parametrelerinin malzeme standardına etkisi doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu etki şekil 5.17.'deki çekme dayanımı ve basma dayanımı parametrelerinin malzeme standardı üzerine etkisine benzerlik göstermektedir. Yani basma dayanımı ve elastisite modülü parametreleri ikisi birden arttığında malzeme standardı numarası doru orantılı olarak artarak değişmektedir. İki parametre birlikte 6 ile 12 arasında malzeme standardı na gözle görülür bir şekilde etki edecek seviyededir.

Oluşturulan bulanık mantık modeline 10 adet örnek rassal sayılar verilerek denenmiştir. Bununla birlikte aynı 10 örnek 2 farklı uzmana daha hangi standardın seçilmesi gerektiği sorularak bulanık mantık modeli ile Tablo 5.2.'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.3. Bulanık mantık ve uzman görüşü karşılaştırılması tablosu.

	Çekme Dayanımı	Sertlik	Bükülme Mukavemeti	Basma Dayanımı	Elastisite Modülü	Modellin Net çıktısı	Modelin Belirlediği Standart	Uzman 1	Uzman 2
1. örnek	321	254	493	1233	115	13,5	DDL-30	DDL-30	DDL-30
2. örnek	291	208	345	1143	56	10,5	DDL-25	DDL-25	DDL-25
3. örnek	167	232	314	590	63	4,5	DDL-15	DDL-15	DDL-15
4. örnek	136	250	281	1114	102	10,5	DDL-25	DDL-25	DDL-25
5. örnek	296	118	347	1010	135	13,4	DDL-30	DDL-25	DDL-25
6. örnek	438	257	530	1270	118	15,6	DDL-35	DDL-35	DDL-35
7. örnek	145	203	493	933	50	7,88	DDL-20	DDL-20	DDL-25
8. örnek	393	233	318	527	109	7,5	DDL-20	DDL-20	DDL-20
9. örnek	393	290	330	786	130	14,2	DDL-30	DDL-30	DDL-35
10. örnek	311	251	421	1064	88	10,5	DDL-25	DDL-25	DDL-25

Bulanık mantık modeli ve uzmanların sonuçları karşılaştırıldığında bulanık mantık modelinin birinci uzmana göre %90 oranında aynı sonucu verdiği ikinci uzmana göre de %70 oranında aynı sonucu verdiği görülmektedir. Bu sayede tasarımcılar her bir standart malzeme için belli mekanik özellikleri (Çekme dayanımı, sertlik, eğilme-bükülme mukavemeti, basma dayanımı ve elastisite modülü) için istediği mekanik özelliklerine göre hangi standart malzemeyi seçmesi gerektiğini belirleyecektir. Bu da hem bilgi edinme sürecinin hızlanmasına hem de kalifiye eleman gereksiniminin ortadan kalkmasına yani hem zamandan hem de maliyet azaltılması anlamına gelmektedir.

5.2. Bulanık Yapay Sinir Ağı ile Parametre Tahmini

Bu tez çalışmasında, döküm sektöründe parametre tasarımı için bulanık yapay sinir ağı kullanılmıştır. Döküm malzemenin üretiminde istenen sertlik miktarı belirlemede optimum döküm parametrelerinin hesaplanması için bu yöntemin kullanılmasına karar verilmiştir.

Yeni ürün geliştirme prosesinde özellikle döküm sektöründe deney maliyetleri oldukça yüksektir. Çünkü deneme için dökülmesi gereken bileşimi belli ürünün dökülmesinde kullanılacak ocak ve potalar sürekli üretimin bir parçasıdır, bu sebeple deneme için üretimin durması gerekmekte deneme sonucunda çıkan istenilen özellikleri göstermeyen parçalar da hurdaya ayrılmaktadır. Bunun yanında deneme sonucu çıkan parçanın muayenesi içinde kalifiye elemanların kullanılması ve yine yapılan muayenelerin tahribatlı olması maliyeti arttırmaktadır. Bu sebeple asgari deney sayısı ile başarılı analiz sonuçlarını elde etmek gerekmektedir. Bunu yaparken parametrelerin en kısa sürede belirlenmesi gerekmektedir.

Bulanık yapay sinir ağına girdi olarak belirlenen parametreler için firma tarafından ölçülebilen ve literatürdeki çalışmalarda kullanılan parametreler dikkate alınmış ve aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- % C (yüzde karbon miktarı)
- % Si (yüzde Silisyum miktarı)
- % Mn (yüzde Mangan miktarı)
- % P (yüzde Fosfor miktarı)
- % S (yüzde Kükürt miktarı)
- % Cr (yüzde Krom miktarı)
- % Cu (yüzde Bakır miktarı)
- % Sn (yüzde Kalay miktarı)
- T Döküm sıcaklığı
- Sn Döküm süresi

Çıkış parametresi olarak da Brinel (HB) cinsinden döküm sertliği olarak belirlenmiştir. Bulanık Sinir ağına eğitim ve test için verilecek firmadan toplam 170 örnek alınmıştır. Uzmanlardan alınan görüşlere göre parametrelerin olması gereken değerler (üretim toleransları) Tablo 5.3.'te verilmiştir. Toplanan 170 örnekten 42 veri seti test için ayrılmış kalan 128 veri seti bulanık yapay sinir ağının eğitimi için kullanılmıştır. 42 veri setinin örneklerden ayrımında rastgele sayılarla değer verilerek %25'in altında kalan veri setleri seçilmiştir.

Tablo 5.4. İstenen parametre aralıkları.

		En düşük	En Yüksek
% C	(yüzde Karbon miktarı)	3,40	3,50
% Si	(yüzde Silisyum miktarı)	2,20	2,30
% Mn	(yüzde Mangan miktarı)	0,40	0,60
% P	(yüzde Fosfor miktarı)	--	0,15
% S	(yüzde Kükürt miktarı)	0,08	0,15
% Cr	(yüzde Krom miktarı)	--	0,15
% Cu	(yüzde Bakır miktarı)	--	0,20
% Sn	(yüzde Kalay miktarı)	0,01	0,02
T	Döküm sıcaklığı	1380	1390
Sn	Döküm süresi	9	10
Hb	Sertlik	190	210

Tablo 5.3.'teki veriler ışığında uzman görüşleri ve teknik bilgiler ile beraber tip 2 BSA'nın parametrelerini üretmek için üyelik fonksiyonları üretilmiştir. Bulanık nitelikler Tablo 5.4.'te görülen değerleri almaktadır. Üyelik fonksiyonları giriş değerleri ve giriş sayıları hesaplanırken firma tedarikçilerinden gelen hammaddelerin (hurda demir, sal elementler, firma içi hurda vb.) durumu, firma döküm şartnameleri, uzman görüşleri, literatür taraması ve standartlar dikkate alınarak giriş parametreleri dikkate alınmıştır.

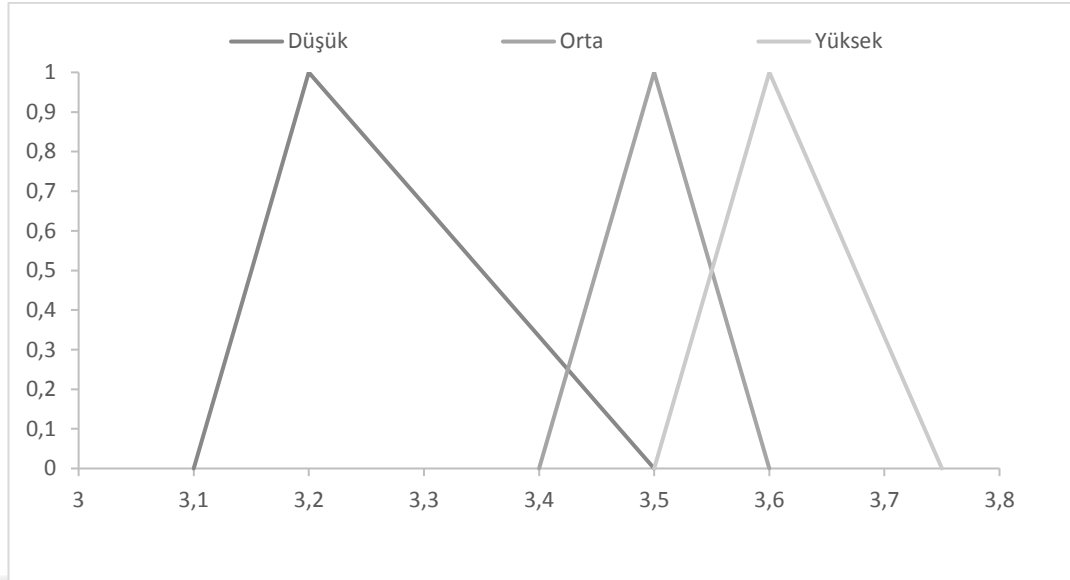
Tablo 5.5. Bulanık nitelikler.

	Nitelik	Girişlerin sayısı	Alt kümeler
% C	(yüzde Karbon miktarı)	3	{Düşük}, {Orta}, {Yüksek}
% Si	(yüzde Silisyum miktarı)	3	{Düşük}, {Orta}, {Yüksek}
% Mn	(yüzde Mangan miktarı)	3	{Düşük}, {Orta}, {Yüksek}
% P	(yüzde Fosfor miktarı)	2	{Normal}, {Yüksek}
% S	(yüzde Kükürt miktarı)	3	{Düşük}, {Orta}, {Yüksek}
% Cr	(yüzde Krom miktarı)	2	{Normal}, {Yüksek}
% Cu	(yüzde Bakır miktarı)	2	{Normal}, {Yüksek}
% Sn	(yüzde Kalay miktarı)	3	{Düşük}, {Orta}, {Yüksek}
T	Döküm sıcaklığı	3	{Soğuk}, {Normal}, {Sıcak}
Sn	Döküm süresi	3	{Kısa}, {Normal}, {Uzun}
Hb	Sertlik	3	{Yumuşak}, {Normal}, {Sert}

a. Karbon

Gri dökme demirde karbon miktarı %2,5 ile 4,5 arasındadır. Bileşik ve serbest halde başlıca iki ayrı faz oluşturur. Kimyasal analizlerde verilen oran, dökme demirdeki toplam karbon yüzdesidir [165]. Diğer alaşım elementlerinin sabit kaldığı düşünülürse, karbon artışı sertliği artırır. Sertliğin artması dolaylı olarak aşınma direncini de artırır [166].

Yüzde karbon miktarı giriş parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.15.'te görüldüğü gibi düşük, orta, yüksek şeklinde ve üçgensel sayılarla üç farklı küme olarak belirlenmiştir.

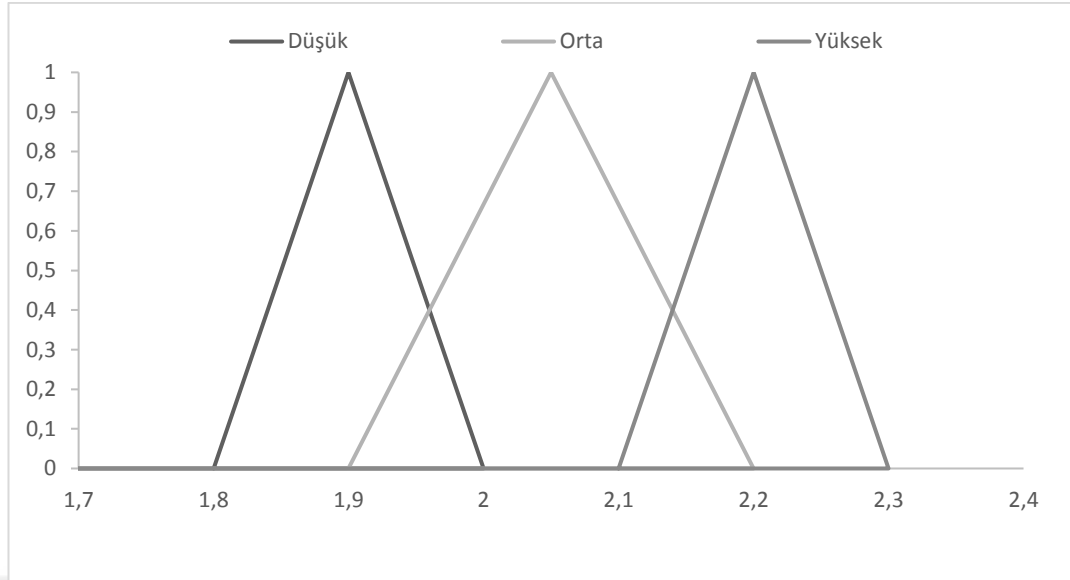


Şekil 5.25. Yüzde karbon miktarı üyelik derecesi.

b. Silisyum

Dökme demir temel olarak demir, karbon ve silisyumdan oluşmaktadır. Bu sebeple dökme demirin özellikleri silisyum miktarının ayarı ile kontrol edilebilir. Silisyum, bütün dökme demirlerde fazla miktarda bulunur. Bu elementin miktarı normal sınırlar içinde arttıkça, dökme demir gittikçe daha yumuşak ve zayıf olur. Yapısında daha çok grafit bulunur [166].

Yüzde silis miktarı giriş parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.16.'da görüldüğü gibi düşük, orta, yüksek şeklinde ve üçgensel sayılarla üç farklı küme olarak belirlenmiştir.

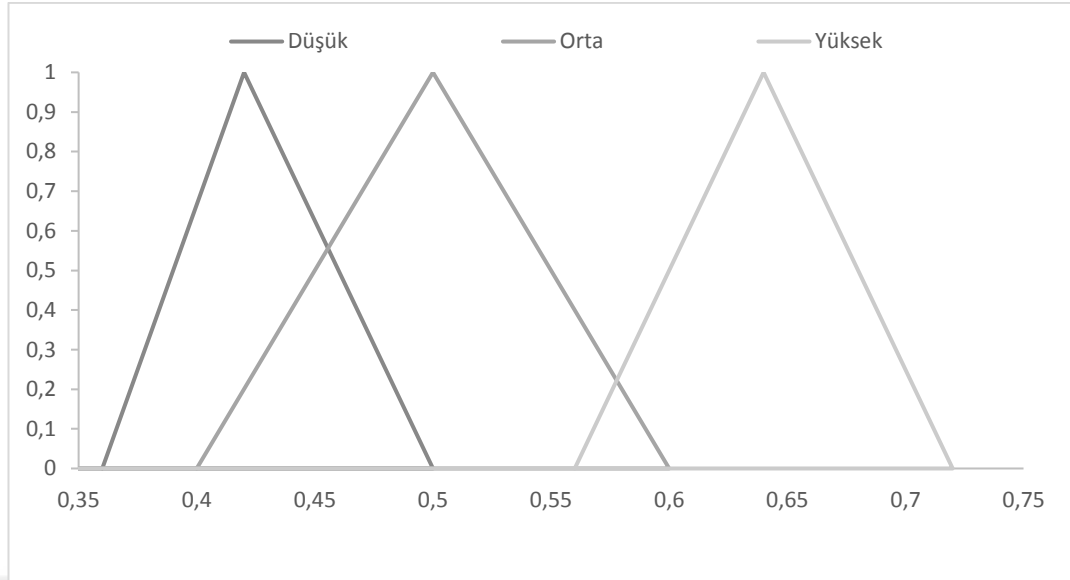


Şekil 5.26. Yüzde silisyum miktarı üyelik derecesi.

c. Manganez

Dökme demirin içinde genel olarak %0.50-1.00 arasındadır. Bileşimindeki karbonun demirle bileşik hâlde bulunmasına yardım ederek dökme demirin sert ve kırılğan olmasına sebep olur. Manganez, kükürdün kötü tesirlerini gideren bir elementtir. [167].

Yüzde manganez miktarı giriş parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.17.'de görüldüğü gibi düşük, orta, yüksek şeklinde ve üçgensel sayılarla üç farklı küme olarak belirlenmiştir.

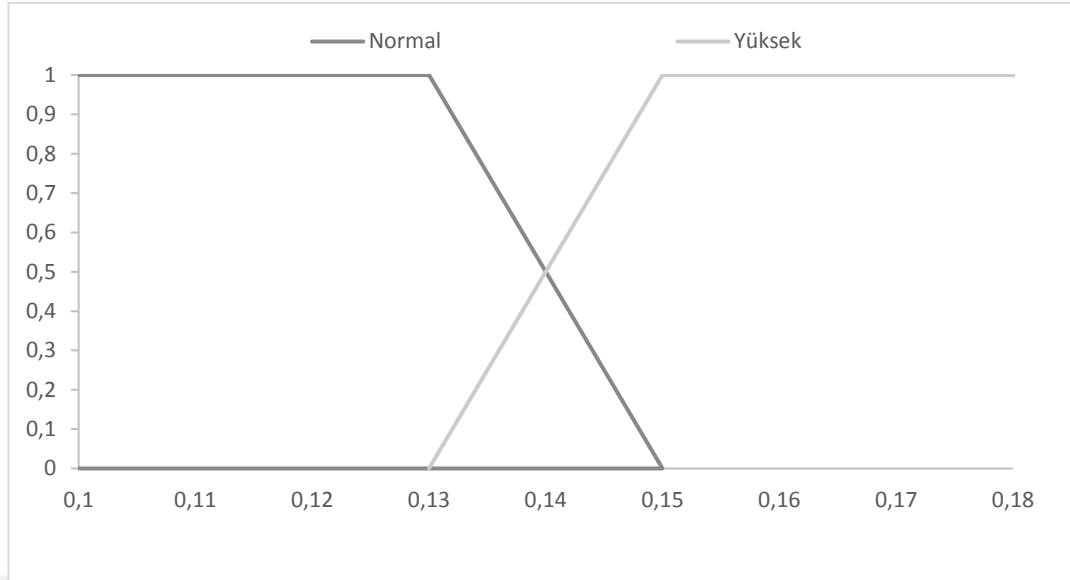


Şekil 5.27. Yüzde mangan miktarı üyelik derecesi.

d. Fosfor

Gri Dökme demirlerde fosfor, %0,06- 1,3 arasında bulunabilir. Demir fosfor; sert ve kırılgandır. Özellikle %0,30'un yukarısında artan fosfor miktarı, sertlik ve kırılganlığı da artırmaktadır. Basınç dayanımı gerektiren dökümlerde uygulamaya bağlı olarak optimum seviyelerin saptanması gerekli olmaktadır [140].

Yüzde fosfor miktarı giriş parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.18.'de görüldüğü gibi normal ve yüksek şeklinde ve yamuk sayılarla iki farklı küme olarak belirlenmiştir.

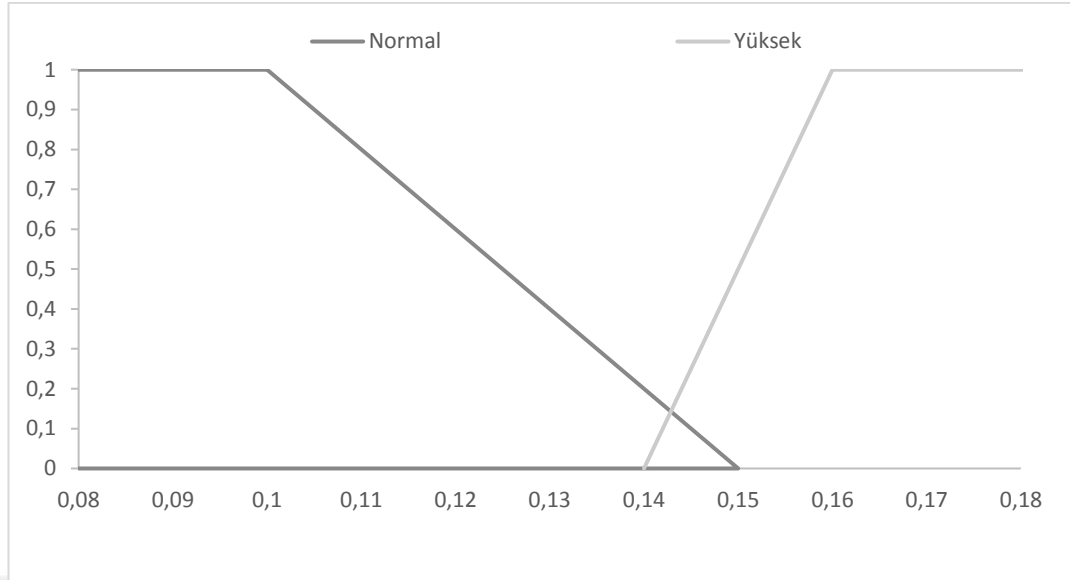


Şekil 5.28. Yüzde fosfor miktarı üyelik derecesi.

e. Kükürt

Demir alaşımları içinde daima zararlı etkisi olan kükürt, esmer dökme demir bileşiminde %0.15'ten fazla bulunmamalıdır. Bileşiminde fazla kükürt olması dökme demirin sertliğini artırır ve akıcılığını azaltır. Bunun sonucu olarak da döküm parçalar gaz boşluklu olarak çıkar [167].

Yüzde kükürt miktarı giriş parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.19.'da görüldüğü gibi normal, yüksek şeklinde ve yamuk sayılarla iki farklı küme olarak belirlenmiştir.

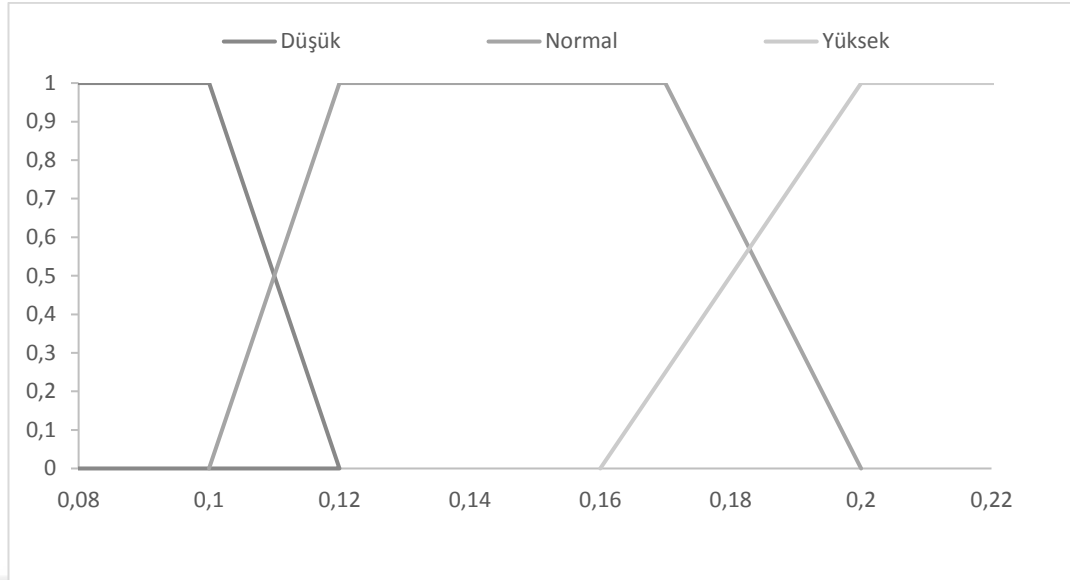


Şekil 5.29. Yüzde kükürt miktarı üyelik derecesi.

f. Krom

Krom dökme demirde kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Yalnız basına %0,5 ve normal %2'ye kadar silis mevcutken krom, çekme ve akma dayanımını, sertlik, aşınma ve ısıya mukavemeti artırıcı etki gösterir. Bu faydaları kromun bileşik haldeki karbonun ayrışmasını önlemesi, kararlı krom ve demir karbürleri oluşturması ile açıklanmaktadır. Krom sertleşme derinliğini artırır ve fazla kullanıldığı veya esas demir bileşimi iyi ayarlanmadığı taktirde, işleme kabiliyetine olumsuz yönde etki yapabilir [165].

Yüzde krom miktarı giriş parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.20.'de görüldüğü gibi düşük, normal, yüksek şeklinde ve yamuk sayılarla üç farklı küme olarak belirlenmiştir.

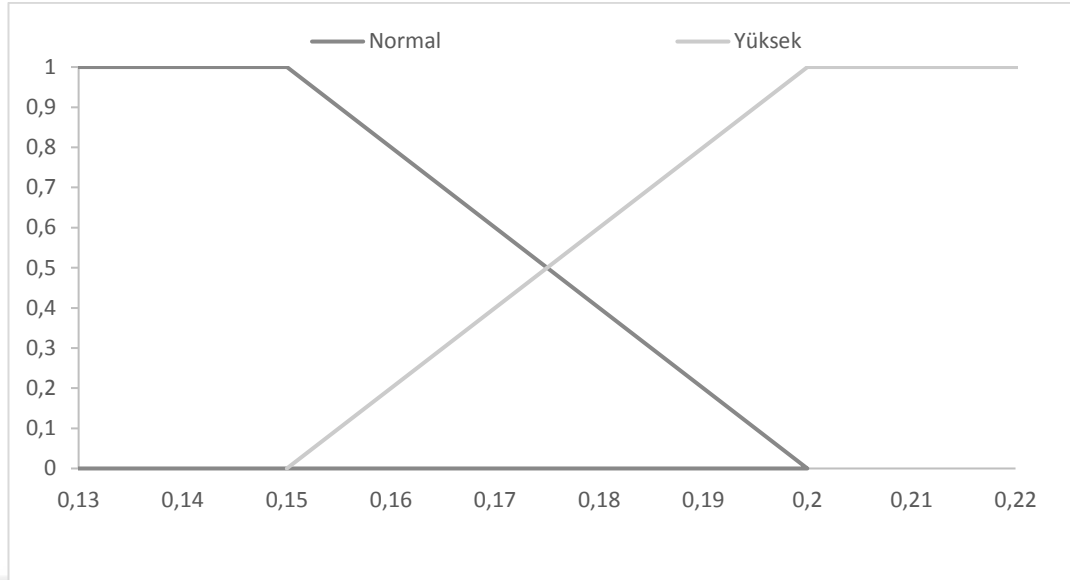


Şekil 5.30. Yüzde krom miktarı üyelik derecesi.

g. Bakır

Bakır ilavesi ile serbest ferrit miktarı düşmekte ve perlit sertliği artmaktadır. Bakırın maksimum ilave oranı %2 ile 2.5 arasındadır. Bakır dökme demire çoğunlukla nikel, krom, molibden veya vanadyum ile birlikte ilave edilir [167].

Yüzde bakır miktarı giriş parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.21.'de görüldüğü gibi normal, yüksek şeklinde ve yamuk sayılarla iki farklı küme olarak belirlenmiştir.

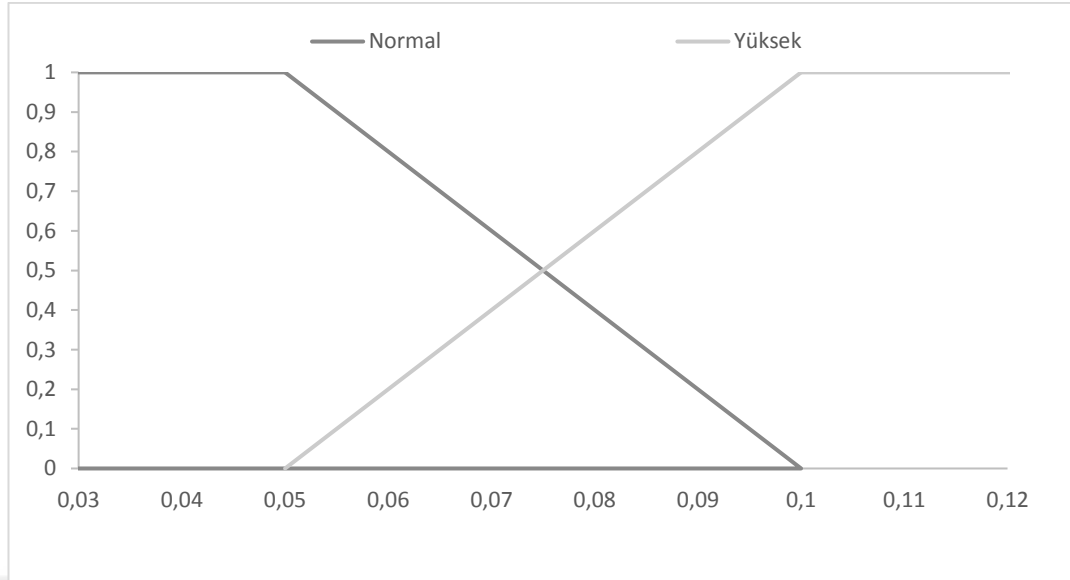


Şekil 5.31. Yüzde bakır miktarı üyelik derecesi.

h. Kalay

İnce et kalınlıklarında kalay matris kalınlığını arttırmaktadır. Kırılganlığı önlemek amacıyla perlit stabilizasyonu için gereken miktarın üzerine çıkılmamalıdır ve bu oran %0,1 civarındadır [140].

Yüzde kalay miktarı giriş parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.22.'de görüldüğü gibi normal, yüksek şeklinde ve yamuk sayılarla iki farklı küme olarak belirlenmiştir.

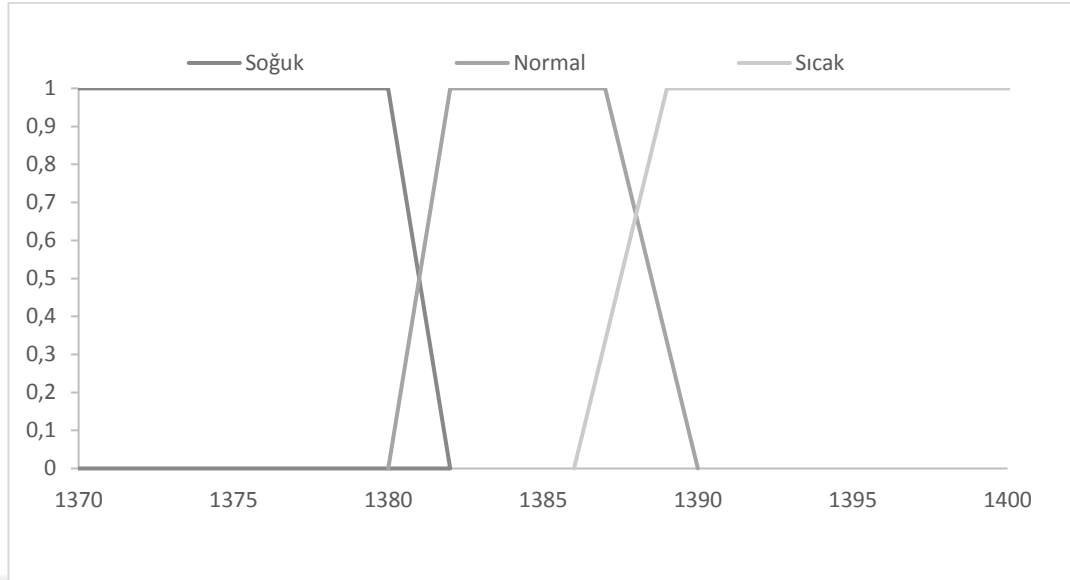


Şekil 5.32. Yüzde kalay miktarı üyelik derecesi.

i. Döküm sıcaklığı

Dökülecek parça için öncelikle eritme ocaklarında hammadde eritilir. Dökülecek parçaların bileşimin ayarlanması, istenen alaşımın oluşturulması, hammadde içindeki farklı malzemelerin ayrılması, gaz giderme gibi işlemler bu süreçte yapılır ve bu süreç kaliteyi önemli ölçüde etkiler. Döküm sıcaklığının düşük olması metal yürümesi ve parça kaybına sebep olurken yüksek olması da tane irileşmesi, oksitlenme, penetrasyon gibi olumsuz etkilere neden olabilir [141].

Döküm sıcaklığı giriş parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.23.'te görüldüğü gibi soğuk, normal, sıcak şeklinde ve yamuk sayılarla üç farklı küme olarak belirlenmiştir.

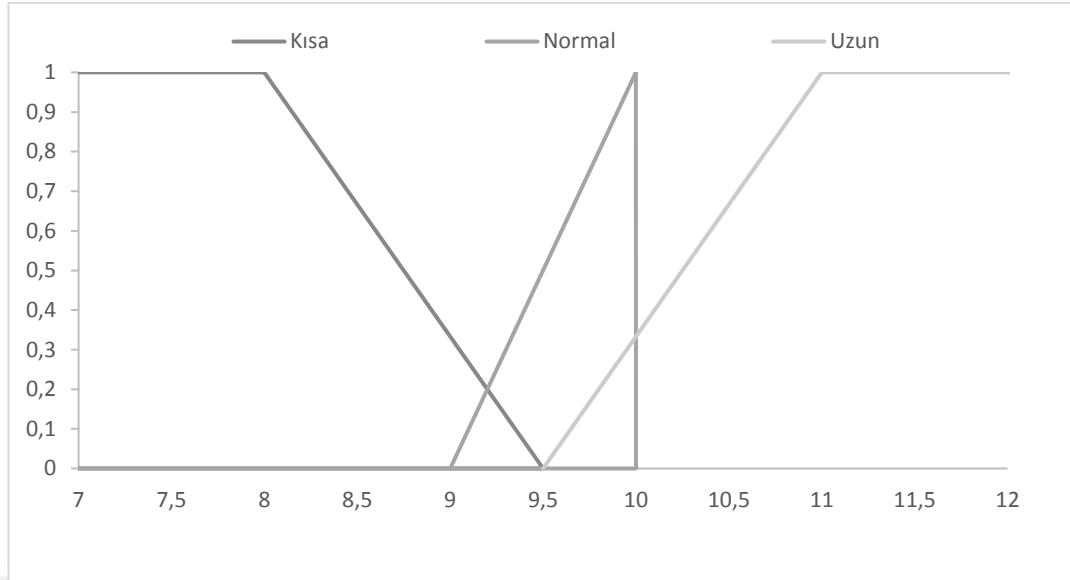


Şekil 5.33. Döküm sıcaklığı üyelik derecesi.

j. Döküm süresi

Döküm hızı da parça üretimi için önemlidir. Döküm yavaş olursa kalıp dolmadan katılaşma başlar, döküm hızlı olursa türbülans problemleri ortaya çıkar [141].

Döküm süresi giriş parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.24.'te görüldüğü gibi kısa, normal, uzun şeklinde, yamuk ve üçgen sayılarla üç farklı küme olarak belirlenmiştir.

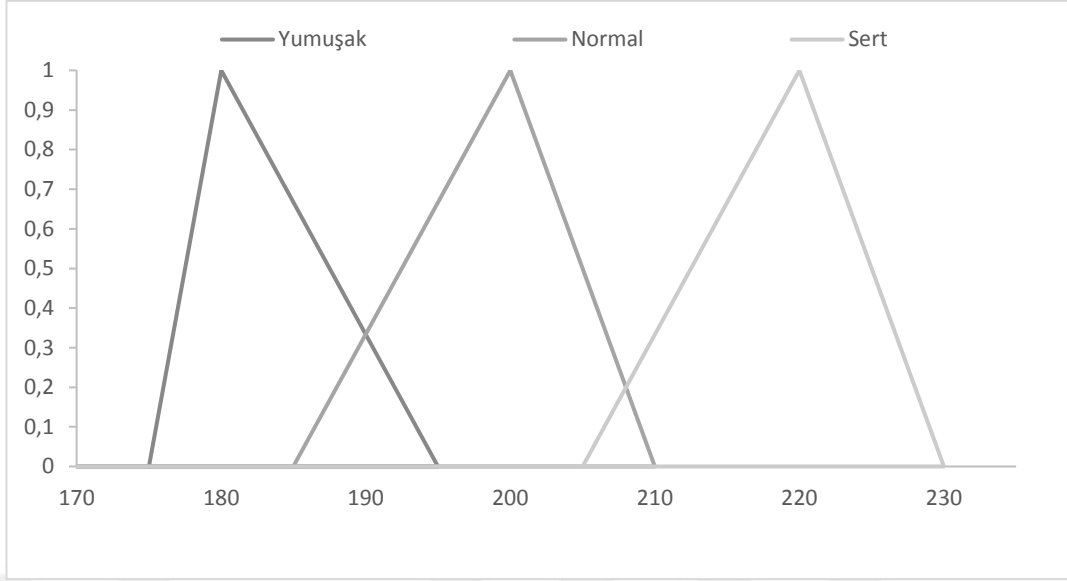


Şekil 5.34. Döküm süresi üyelik derecesi.

k. Sertlik

İstenen sertlikten fazla olan parçaların kırılması kolay ve işlemesi zor olur. Daha yumuşak olan parçaların ise bükülme mukavemeti daha az olur.

Döküm sertliği çıkış parametresi olarak ayarlanırken Şekil 5.25.'de görüldüğü gibi yumuşak, normal, sert şeklinde ve üçgen sayılarla üç farklı küme olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.35. Sertlik üyelik derecesi.

Bu veriler doğrultusunda Matlab programında oluşturulan eğitim setlerinin bazı sonuçları Tablo 5.5.'teki gibidir.

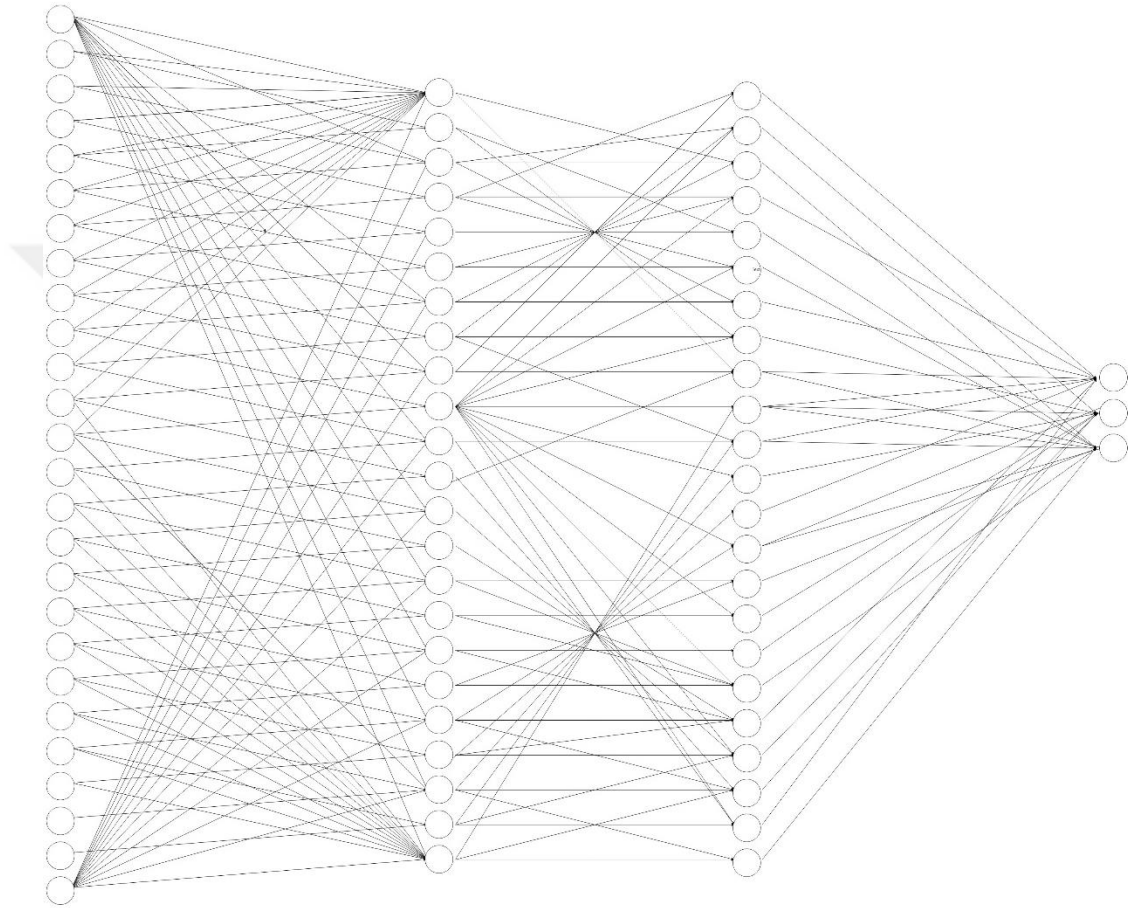
Tablo 5.6. Denene bulanık yapay sinir ağı mimarileri.

Deneme	Ağ yapısı	Eğitim katsayısı	1. Katman aktivasyon fonksiyonu	2. Katman aktivasyon fonksiyonu	3. Katman aktivasyon fonksiyonu	4. Katman aktivasyon fonksiyonu	MSE
2	26-3	0,1	logsig				0,0323
5	26-4-3	0,1	logsig	Logsig			0,0332
6	26-4-3	0,05	logsig	Logsig			0,019
7	26-5-3	0,05	logsig	Logsig			0,0134
8	26-5-3	0,1	logsig	Logsig			0,00608
13	26-6-3	0,1	logsig	Logsig			0,0108
14	26-6-3	0,05	logsig	Logsig			0,00240
15	26-7-3	0,05	logsig	Logsig			0,00496
16	26-7-3	0,1	logsig	Logsig			0,00345
21	26-8-3	0,1	logsig	Logsig			0,00745
22	26-8-3	0,05	logsig	Logsig			0,01
23	26-9-3	0,05	logsig	Logsig			0,000864
24	26-9-3	0,1	logsig	Logsig			0,000486
29	26-10-3	0,1	logsig	Logsig			0,000727
30	26-10-3	0,05	logsig	Logsig			0,000544
31	26-11-3	0,05	logsig	Logsig			0,00506
32	26-11-3	0,1	logsig	Logsig			0,00835
37	26-12-3	0,1	logsig	Logsig			0,000535
38	26-12-3	0,05	logsig	Logsig			0,000194
39	26-13-3	0,1	logsig	Logsig			0,0012
40	26-13-3	0,05	logsig	Logsig			0,00572
45	26-14-3	0,05	logsig	Logsig			0,00878
46	26-14-3	0,1	logsig	Logsig			0,000245
47	26-15-3	0,1	logsig	Logsig			0,000664
48	26-15-3	0,05	logsig	Logsig			0,000428
53	26-16-3	0,05	logsig	Logsig			0,000209
54	26-16-3	0,1	logsig	Logsig			0,000127
55	26-17-3	0,1	logsig	Logsig			0,000672
56	26-17-3	0,05	logsig	Logsig			0,00039
61	26-18-3	0,05	logsig	Logsig			0,0258
62	26-18-3	0,1	logsig	Logsig			0,00274
63	26-19-3	0,1	logsig	Logsig			0,00104
64	26-19-3	0,05	logsig	Logsig			0,000221
69	26-20-3	0,05	logsig	Logsig			0,000604
70	26-20-3	0,1	logsig	Logsig			0,00684
71	26-21-3	0,1	logsig	Logsig			0,00428
72	26-21-3	0,05	logsig	Logsig			0,000162
77	26-22-3	0,05	logsig	Logsig			0,000267
78	26-22-3	0,1	logsig	logsig			0,000105
79	26-23-3	0,1	logsig	logsig			0,00839

Tablo 5.5. (Devamı)

Deneme	Ağ yapısı	Eğitim katsayısı	1. Katman aktivasyon fonksiyonu	2. Katman aktivasyon fonksiyonu	3. Katman aktivasyon fonksiyonu	4. Katman aktivasyon fonksiyonu	MSE
80	26-23-3	0,05	logsig	logsig			0,00478
81	26-26-3	0,1	logsig	logsig			0,000174
83	26-26-3	0,05	logsig	logsig			0,000186
84	26-29-3	0,05	logsig	logsig			0,000226
85	26-29-3	0,1	logsig	logsig			0,000498
86	26-32-3	0,1	logsig	logsig			0,000672
87	26-32-3	0,05	logsig	logsig			0,000422
88	26-13-13-3	0,05	logsig	logsig	logsig		0,00217
89	26-13-13-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,00392
90	26-20-20-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,0000000009
91	26-20-20-3	0,05	logsig	logsig	logsig		0,0000000003
92	26-21-21-3	0,05	logsig	logsig	logsig		0,0000000037
93	26-21-21-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,0000000004
94	26-22-22-3	0,05	logsig	logsig	logsig		0,0000000004
95	26-22-22-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,0000000009
96	26-23-23-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,0000000005
97	26-23-23-3	0,05	logsig	logsig	logsig		0,0000000008
98	26-24-24-3	0,05	logsig	logsig	logsig		0,000296
99	26-24-24-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,0000000004
101	26-25-25-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,00000148
102	26-25-25-3	0,05	logsig	logsig	logsig		0,000120
103	26-26-20-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,000116
104	26-26-26-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,00421
105	26-26-26-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,00424
106	26-27-27-3	0,05	logsig	logsig	logsig		0,0000000006
107	26-27-27-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,0000000006
108	26-28-28-3	0,1	logsig	logsig	logsig		0,0000000006
109	26-28-28-3	0,05	logsig	logsig	logsig		0,0000000003
110	26-13-13-13-3	0,1	logsig	logsig	logsig	logsig	0,0000233
111	26-16-16-16-3	0,1	logsig	logsig	logsig	logsig	0,000198
112	26-16-16-16-3	0,05	logsig	logsig	logsig	logsig	0,00756
113	26-20-20-20-3	0,05	logsig	logsig	logsig	logsig	0,000104
114	26-20-20-20-3	0,1	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000001
115	26-21-21-21-3	0,1	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000002
116	26-21-21-21-3	0,05	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000002
117	26-22-22-22-3	0,05	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000003
118	26-22-22-22-3	0,01	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000003
119	26-23-23-23-3	0,1	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000002
120	26-23-23-23-3	0,05	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000001
121	26-24-24-24-3	0,05	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000002
122	26-24-24-24-3	0,1	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000003
123	26-25-25-25-3	0,1	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000003
124	26-25-25-25-3	0,05	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000002
125	26-26-26-26-3	0,05	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000001
126	26-26-26-26-3	0,1	logsig	logsig	logsig	Logsig	0,0000000002

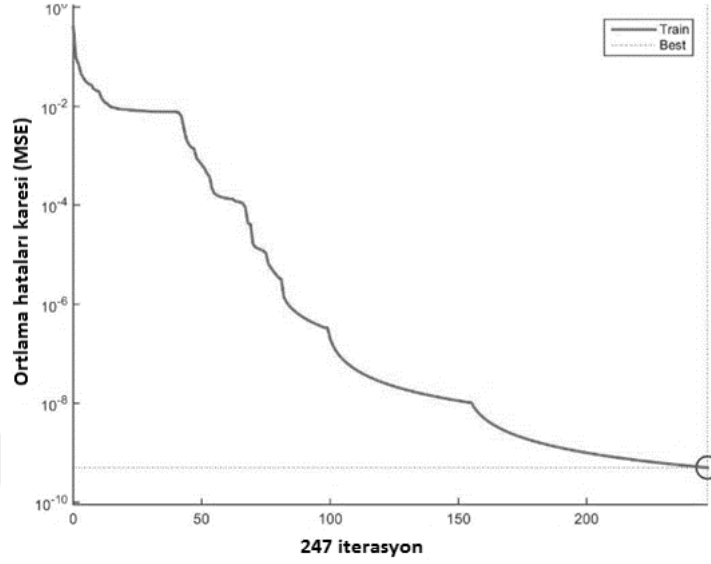
Tablo 5.5.'te verilen çalışmalardan 2 ara katmanlı ve her bir ara katmanında 23 düğüm bulunan mimariye sahip Bulanık Yapay Sinir Ağı modeli diğerlerine göre daha doğru tahminler vermektedir. Bu modelin eğitim katsayısı 0,1 ve aktivasyon fonksiyonları her bir ara katman için Logaritma sigma olarak belirlenmiştir. Tez çalışmasının ikinci modeli olan BSA mimarisi Şekil 5.26.'daki gibi belirlenmiştir.



Şekil 5.36 Bulanık sinir ağı mimarisi şekilsel gösterimi.

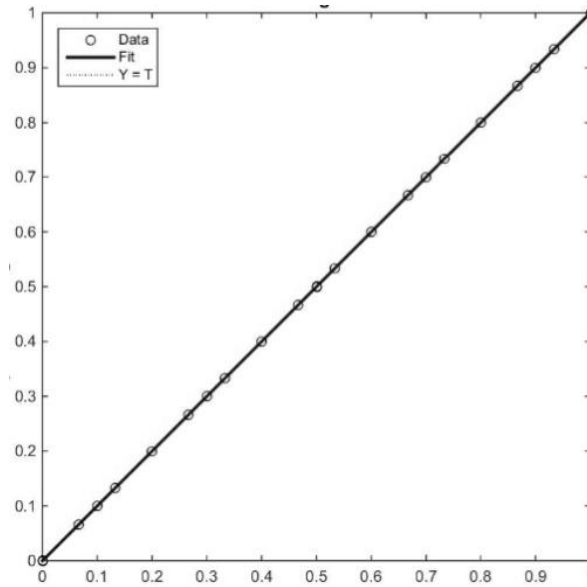
Şekil 5.26.'daki ilk yirmi altı düğüm bulanık girişleri göstermektedir. Son üç düğüm ise bulanık çıkışları simgelemektedir. Bulanık yapay sinir ağının orta kısmında 2 gizli katman bulunmakta ve her gizli katmanda yirmi üç düğüm bulunmaktadır. Her bir düğüm kendinden sonra gelen katmandaki her düğüm ile bağlantılıdır.

BSA modelinin 0,1 öğrenme katsayısına göre 247 iterasyon öğrenme sürecini tamamlamıştır. Öğrenme eğrisi Şekil 5.27.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.37. Bulanık yapay sinir ağı modeli öğrenme eğrisi.

Şekil 5.28.'de eğitim sonrası R grafiği verilmiştir. Eğitim sonunda ortaya çıkan R değeri 0,9996 olarak hesaplanmıştır, bu da eğitim başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.38. Bulanık yapay sinir ağı modeli R grafiği.

Birçok deneme ile mimarisi belirlenmeye çalışılan bulanık sinir ağının, en iyi sonuç veren mimarilerin yanında daha önceden ayrılan 42 veri seti ile test edilerek 2 ara katmanlı ve her bir ara katmanında 23 düğüm bulunan mimari (26x23x23x3) belirlenmiştir. Mimarinin belirlenmesinden sonra bulunan bulanık sonuçların netleştirilmesi için ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak eğitilen ağ 42 test setinin 37'sine %5 hata oranıyla doğru yanıt vermiştir. Bu da %5 tolerans ile %88 doğru tahmin yaptığı anlamına gelmektedir. 42 veri setinin BSA'ya girdi olarak verilmesi sonucunda ortaya çıkan sonuçları Tablo 5.6.'da verilmiştir.



Tablo 5.7. BSA test sonuçları.

	Test değeri	Model sonucu	Hata	Yüzde hata	Mutlak yüzde hata
1	192	199,6208584	-7,620858413	-3,96919709	3,96919709
2	193	200,7056129	-7,70561287	-3,992545528	3,992545528
3	200	201,4481159	-1,448115926	-0,724057963	0,724057963
4	208	201,4650934	6,534906576	3,141782008	3,141782008
5	209	216,7683741	-7,768374053	-3,716925384	3,716925384
6	211	218,6204337	-7,620433714	-3,611579959	3,611579959
7	208	201,3393523	6,660647711	3,202234476	3,202234476
8	210	200,7540937	9,24590633	4,402812538	4,402812538
9	205	201,4164829	3,583517099	1,748057121	1,748057121
10	196	222,1655417	-26,16554168	-13,34976616	13,34976616
11	207	199,5438371	7,456162931	3,602011078	3,602011078
12	207	200,630259	6,369741036	3,077169583	3,077169583
13	228	221,0544122	6,945587841	3,046310457	3,046310457
14	208	201,1657762	6,834223762	3,285684501	3,285684501
15	209	216,6293953	-7,629395313	-3,65042838	3,65042838
16	193	201,49991	-8,499909992	-4,404098441	4,404098441
17	206	199,9660761	6,033923912	2,929089278	2,929089278
18	205	217,1952836	-12,19528362	-5,948918838	5,948918838
19	205	221,9501865	-16,95018646	-8,268383637	8,268383637
20	204	199,5634935	4,436506505	2,174758091	2,174758091
21	207	201,4795062	5,52049381	2,666905222	2,666905222
22	205	201,4892556	3,510744431	1,712558259	1,712558259
23	205	189,6296664	15,37033362	7,497723716	7,497723716
24	200	201,4902236	-1,49022361	-0,745111805	0,745111805
25	207	214,4090327	-7,409032694	-3,579242847	3,579242847
26	203	199,9114936	3,088506363	1,521431706	1,521431706
27	196	201,005238	-5,005237981	-2,553692848	2,553692848
28	202	201,4757549	0,52424507	0,259527262	0,259527262
29	208	200,6709489	7,329051105	3,523582262	3,523582262
30	207	201,4966657	5,503334267	2,658615588	2,658615588
31	200	201,3257791	-1,325779111	-0,662889556	0,662889556
32	205	201,4949941	3,505005863	1,709758957	1,709758957
33	209	201,2558498	7,744150224	3,705335036	3,705335036
34	207	201,4333169	5,566683144	2,68921891	2,68921891
35	208	199,8505011	8,149498869	3,918028302	3,918028302
36	207	200,5690121	6,43098792	3,106757449	3,106757449
37	203	199,9494698	3,050530213	1,502724243	1,502724243
38	210	201,2000708	8,799929225	4,190442488	4,190442488
39	197	186,8943368	10,10566319	5,129778268	5,129778268
40	206	199,7144996	6,285500409	3,051213791	3,051213791
41	195	199,9430256	-4,943025649	-2,534884948	2,534884948
42	205	214,3222357	-9,322235662	-4,54743203	4,54743203

Tablo 5.6.'da görüldüğü üzere 42 test verisi için çalıştırılmış BSA modeli sonuçları karşılaştırılmış her bir sonuç için test ve model arasındaki farka bakılmıştır. Bu fark sonuçlarından yararlanılarak her bir değer için bağıl yüzde hata hesaplanmış ve mutlak değeri alınarak mutlak yüzde hata hesaplanmıştır. Mutlak yüzde hatların ortalaması 3,47 standart sapması 2,21 çıkmıştır.

Modelden elde edilen sonuçların sistemi temsil edip etmediğini test sonuçları ile karşılaştırmak için t testi yapıldığında $\alpha=0.10$ anlam düzeyi ve 42-1 serbestlik derecesi için;

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ Oluşturulan modelle sistem parametrelerini doğru tahmin edilmektedir,

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ Oluşturulan modelle sistem parametrelerini doğru tahmin edilmemektedir,

Hipotezler oluşturulduktan sonra hesap sonucunda $t=0,462$ bulunmaktadır.

$-t_{0,05,41} < t < t_{0,05,41}$ yani $-1,96 < 0,462 < 1,96$ olduğu için H_0 kabul edilir. Yani oluşturulan BSA modelinin sistemin parametreleri ile yakın çıktı verdiği kabul edilir.

Hipotez testi sonucundan da anlaşılaacağı üzere belirlenen parametrelerle döküm firmasında dökümü yapılan parçanın döküm süreci modellenmiş benzer ebatlar için üretimi tasarlanacak parçalarda bu parametreler kullanılarak istenen sertliğe göre hangi parametrelerin kullanılabileceği simüle edilerek kimyasal bileşim ve süreç parametreleri belirlenebilir. Bu durum deneme yanılma yoluyla yapılacak birçok dökümü azaltacağı gibi bu deneme dökümleri sırasında sürekli dökümü yapılan parçaların durması ve müşterilere gecikmesini de önleyecektir. Aynı zamanda deneme dökümünden sonra yapılacak olan tahribatlı muayenelerinde azaltılmasını sağlayacaktır. Bu sayede hem zamandan kazanılacak hem de tasarımın maliyeti azaltılacaktır.

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyada yoğun şekilde tartışılan yapay zekâ üzerine, Türkiye'nin dördüncü sanayi devrimi projesi ile birlikte yalnızca ürün olarak değil, tüm süreçleriyle beraber ele alınmalı ve dünya ile eş zamanlı olarak çalışılmalıdır.

Bu tezin literatür taraması kısmında mühendislik tasarım sürecinde tasarımcılara ve tasarım sürecine katılan uzmanlara yardım eden yapay zekâ teknikleri araştırılmış ve tartışılmıştır. Literatür taramasında görülmektedir ki karar verme probleminde sonuçların bulunması ve en iyi alternatiflerin seçilmesi için yapay zekâ teknikleri başarılı bir şekilde etkin olarak kullanılmaktadır. Yapay zekâ tekniklerinin birçok faydasının yanında farklı alternatiflerin arasından en iyisinin seçilmesi aşamasındaki belirsizliklerin iyi tahlil edilmesi ve gerçek sayılarla ifade edilmesi konusunda tartışmasız bir üstünlüğe sahip olduğu bu kısımda anlaşılmaktadır.

Yapılan çalışmanın birinci aşamasında, bulanık mantıkla dökme demirin standardını belirlemek için bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin test sonuçları uzmanlarla karşılaştırılmış ve ortalama %80 oranında iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu modellemenin, tüketicilerin ve tasarımcıların ürünlerle ilgili yaşadıkları sorunların azaltılmasında, döküm sektöründe yaşanan rekabete ve sektörün pazarlama sorununa pozitif anlamda katkı sağlayarak, tüketiciyi memnun etmede başarılı sonuçlar doğurabileceğine, dolayısıyla işletmenin katma değerini yükseltebileceği düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasının ikinci aşamasında ise bir döküm firmasındaki bir döküm parçası için sertliği tahmin edebilen bulanık yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Elde edilen modelin sonuçları istatistiksel olarak test edilmiş ve sistemin çıktılarını temsil

ettiği görülmüştür. Bu model sayesinde benzer parça boyutlarına sahip yeni tasarımı yapılan bir ürünün proses parametreleri önceden tahmin edilerek ayarlanabilecektir.

Tez çalışmasında yapılan modellere genel olarak bakıldığında mühendislik tasarım aşamasının hızlandırılmasına yönelik olduğu birden fazla kullanılarak literatüre katkı sağlayacağı anlaşılmaktadır. Her iki model için de firma içindeki uzman personel eksikliğini gidermede büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca tasarım sırasında oluşacak insan hatasının da önüne geçilebilecek, bu sayede yeniden tasarım maliyeti de azalacaktır. Bununla birlikte tasarım sırasında müşteriye verilecek maliyet analizi de kolaylaşarak teklif süresi kısılacaktır.

Araştırmacılar, bu tez çalışmasının devamında mühendislik tasarım sürecinin her bir alt sürecinde kullanılan zeki yaklaşımları birleştirerek entegre çalışabilen bir mühendislik tasarım süreci programı yapabilirler. Bu sayede tüm mühendislik tasarım süreci hızlanırken elde ettikleri bilgi (Know - How) farklı ürünler için bir veri tabanında tutularak kullanımı ve tasarımın kalitesi artırılabilir. Bunun yanında kullanılan modellerin yerine yapay zeka teknolojilerinin genetik algoritma, tavlama benzetimi, arı algoritması yeni ve kullanımı artan balina algoritması kullanılabilir. Ayrıca mühendislik tasarımının diğer alt süreçleri de (problem tanımlama, kavram oluşturma, kavram seçme ve değerlendirme, ürün mimarisi, biçim mimarisi, detay tasarımı) aynı ya da farklı yapay zeka teknolojileri kullanılarak hızlandırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Alpaslan N., Mühendislik Tarihi ve Felsefesi Üzerine Bir Araştırma, Marmara Sosyal Araştırmalar Dergisi, Sayı 1, Aralık 2011.
- [2] Michael O. B., A Framework to Model Reliability and Failures in Complex Systems During the Early Engineering Design Process, Phd. Thesis, Mechanical Engineering, Oregon State University.
- [3] Atman C. J., Chimka J. R., Bursic M. K., Nachtman H. L., A Comparison of Freshman and Senior Engineering Design Processes, Design Studies, Volume 20, Issue 2, March 1999, Pages 131-152.
- [4] Sınai Mülkiyet Kanunu, Madde 55,10 Ocak 2017 Salı Resmî Gazete Sayı: 29944, Kanun No. 6769.
- [5] Fındık F., Malzeme Ve Tasarım, Seçkin Yayıncılık, 2016, Ankara, Sayfa 19.
- [6] Özden K, Ercan S., İşyeri/Fabrika Tasarımı Ve Yerleşim Düzeni, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2009, Sayfa 94.
- [7] <http://www.catiaturk.com/arge/155/muhendislik-tasarimi-22.html>, Erişim Tarihi 01.03.2018.
- [8] Taşkın H., Adalı M. R., Teknolojik Zekâ Ve Rekabet Stratejileri, Değişim Yayınları,2004, Sakary.
- [9] Cürgül İ., Yetiştiren H., Sınmazçelik T., Makine Tasarımı ve Şekillendirme Tekniği, Birsan Yayınevi, İstanbul,2016, Sayfa 3.
- [10] Karagözlüoğlu B., Mühendislik Tasarım Ve Teknik Sunu İlkeleri, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Yayınları, 2011, İstanbul, sayfa 11.
- [11] Hurst K., Engineering Design Principles, John Wiley & Sons Inc.,1999, Sayfa 4.

- [12] Wang D., Research on Key Techniques of Flexible Workflow based Approach to Supporting Dynamic Engineering Design Process, Department of Design, Phd. Thesis, Manufacture and Engineering Management, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, UK, November 2013.
- [13] Cross, N., —Engineering Design Methods, 2nd ed. John Wiley & Sons Inc, New York (1994).
- [14] Archer L. B., Systematic Methods For Designer, The Design Council, Londra, 1965.
- [15] French, M.J., —Engineering Design: the Conceptual Stage”, Heineman Educational Books, London, (1971).
- [16] Arora J. S., “Introduction to Optimum Design”, Elsevier Academic Press, 2004.
- [17] Budynas R. G., Nisbett J. K., Shigley’s Mechanical Engineering Design, Eighth Edition, McGraw–Hill Companies, 2006.
- [18] Dieter G. E., Schmidt L. C., Engineering Design, 4th ed., The McGraw-Hill Company, 2007.
- [19] Cross N., Natural Intelligence in Design, Design Studies, Volume 20, Issue 1, January 1999, Pages 25-39.
- [20] Baykasoğlu A., Dereli T., “Üretimde Bilgi Teknolojisi Yöntemleri”, Kırmızı Yayınları, 2006.
- [21] Toktaş İ., Aktürk N., “Makina Tasarım İşleminde Kullanılan Yapay Zeka Teknikleri ve Uygulama Alanları” Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2004 (2) 7-20.
- [22] Bouchereau V., Rowlands H., Methods and Techniques to Help Quality Function Deployment (QFD) Benchmarking: An International Journal, Vol. 7 No. 1, 2000, pp. 8 – 19.
- [23] Gülçiçek B., Sofyalıoğlu Ç., Bulanık Kalite Fonksiyon Göçerimi İle Hata Türü Ve Etkileri Analizinin Bir Ambalaj Firmasında Uygulanması, Yönetim Ve Ekonomi Dergisi, Yıl:2014 Cilt:21 Sayı:2 .

- [24] Ferreira M.L., Gil P. J. S., Application and Performance Analysis of Neural Networks for Decision Support in Conceptual Design, *Expert Systems with Applications*, Volume 39, Issue 9, July 2012, Pages 7701-7708.
- [25] Fan S., Xiong J., Xu T., Chen S. Y., Zhang W., QFD Design of Machine - made Sand Based on Independent / Decomposition Axiom, *Procedia Engineering*, Volume 174, 2017, Pages 442-448.
- [26] Evers L. F. M., Morel K. P. N., Eikelenberg N. L.W., Vinkac P., Application of the QFD as a Design Approach to Ensure Comfort in Using Hand Tools: Can the Design Team Complete the House Of Quality Appropriately? *Applied Ergonomics*, Volume 40, Issue 3, May 2009, Pages 519-526.
- [27] Bolar A. A., Tesfamariam S., Sadiq R., Framework for Prioritizing Infrastructure User Expectations Using Quality Function Deployment (QFD), *International Journal of Sustainable Built Environment*, Volume 6, Issue 1, June 2017, Pages 16-29.
- [28] Murata K., Measuring Efficiency and Creativity of NPD Quoted by QFD, *Procedia Manufacturing*, Volume 11, 2017, Pages 1112-1119.
- [29] Moldovan L., QFD Employment for a New Product Design in a Mineral Water Company, *Procedia Technology*, Volume 12, 2014, Pages 462-468.
- [30] Durmuşoğlu A., “Early Warning System Frameworks for Predicting Technological Change”, *Doktora Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2012.
- [31] Li S., Hun J., Peng Y., Representation of Functional Micro-Knowledge Cell (FMKC) for Conceptual Design, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 23 (2010) 569–585.
- [32] Akay D., Kurt M., A Neuro-Fuzzy Based Approach to Affective Design, *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies* (2009) 40:425–437, DOI 10.1007/s00170-007-1367-3.
- [33] Hsiao S. W., Chiu F. Y., Lu S. H., Product-Form Design Model Based on Genetic Algorithms, *International Journal of Industrial Ergonomics* 40 (2010) 237-246.

- [34] Relich M., Muszyński W., The Use of Intelligent Systems for Planning and Scheduling of Product Development Projects, *Procedia Computer Science* Volume 35, 2014, Pages 1586-1595.
- [35] Yan W., Chen C. H., Huang Y., Mi W., A Data-Mining Approach for Product Conceptualization in a Web-Based Architecture, *Computers in Industry* Volume 60, Issue 1, January 2009, Pages 21-34.
- [36] Chen C. H., Khoo L. P., Yan W., A Strategy for Acquiring Customer Requirement Patterns Using Laddering Technique and ART2 Neural Network, *Advanced Engineering Informatics* 16 (2002) 229–240.
- [37] Wang C. H., Wang J., Combining Fuzzy AHP and Fuzzy Kano to Optimize Product Varieties for Smart Cameras: A Zero-One Integer Programming Perspective, *Applied Soft Computing*, Volume 22, September 2014, Pages 410-416.
- [38] Dou R., Zong C., Nan G., Multi-Stage Interactive Genetic Algorithm for Collaborative Product Customization, *Knowledge-Based Systems*, Volume 92, 15 January 2016, Pages 43-54.
- [39] Dbouk T., A Review About the Engineering Design of Optimal Heat Transfer Systems Using Topology Optimization, *Applied Thermal Engineering*, Volume 112, 5 February 2017, Pages 841-854.
- [40] Bozdemir M., Mendi F., Yapay Zeka Destekli Sistematik Tasarım için Bilgi Yönetim Sistem Mimarisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 20, No. 2, 267-274, 2005.
- [41] Hsiao S., Huang H. C., A Neural Network Based Approach for Product Form Design., *Design Studies* Volume 23, Issue 1, January 2002, Pages 67-84.
- [42] Lee C., Song B., Park Y., Generation of New Service Concepts: A Morphology Analysis and Genetic Algorithm Approach, *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 10, December 2009, Pages 12454-12460.
- [43] Kim S., Yoon B., A Systematic Approach for New Service Concept Generation: Application of Agent-Based Simulation, *Expert Systems with Applications*, 41 (2014) 2793–2806.

- [44] Augustine M., Yadav O. P., Jain R., Rathore A. P. S., Concept Convergence Process: A Framework for Improving Product Concepts, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 59, Issue 3, October 2010, Pages 367-377.
- [45] Fung K.Y., Kwong C.K., Siu K.W.M., Yu K.M., A Multi-Objective Genetic Algorithm Approach to Rule Mining For Affective Product Design, *Expert Systems with Applications* 39 (2012) 7411–7419.
- [46] Lin M. C., Lin Y. H., Lin C. C., Chen M. S., Hung Y. C., An Integrated Neuro-Genetic Approach Incorporating The Taguchi Method For Product Design, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 29, Issue 1, January 2015, Pages 47-58.
- [47] Liu A., Lu S.-C.Y.Y., Alternation of Analysis and Synthesis for Concept Generation, *CIRP Annals*, Volume 63, Issue 1, 2014, Pages 177-180.
- [48] Liu A., Lu S.-C.Y.Y., A Crowdsourcing Design Framework For Concept Generation, *CIRP Annals*, Volume 65, Issue 1, 2016, Pages 177-180.
- [49] Yan W., Chen C. H., Shieh M. D., Product Concept Generation and Selection Using Sorting Technique and Fuzzy C-Means Algorithm, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 50, Issue 3, July 2006, Pages 273-285.
- [50] Wang C. H., Shih C. W., Integrating Conjoint Analysis with Quality Function Deployment to Carry Out Customer-Driven Concept Development for Ultrabooks, *Computer Standards & Interfaces*, Volume 36, Issue 1, November 2013, Pages 89-96.
- [51] Dragomir M., Banyai D., Dragomir D., Popescu F., Criste A., Efficiency and Resilience in Product Design by Using Morphological Charts, *Energy Procedia*, Volume 85, January 2016, Pages 206-210.
- [52] Jiao J., Tseng M. M., Fuzzy Ranking for Concept Evaluation in Configuration Design for Mass Customization, *Concurrent Engineering: Research and Application* 6 (3) (1998) 189–206.
- [53] Akay D., Kulak O., Henson B., Conceptual Design Evaluation Using Interval Type-2 Fuzzy Information Axiom, *Computers in Industry* 62 (2011) 138–146.
- [54] Shidpour H., Cunha C. D., Bernard A., Group Multi-Criteria Design Concept Evaluation Using Combined Rough Set Theory And Fuzzy Set Theory, *Expert Systems with Applications*, Volume 64, 1 December 2016, Pages 633-644.

- [55] Ayağ Z., Özdemir R. G., A Hybrid Approach to Concept Selection Through Fuzzy Analytic Network Process, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 56, Issue 1, February 2009, Pages 368-379.
- [56] Liu X., Ren Y., Novel Artificial Intelligent Techniques via AFS Theory: Feature Selection, Concept Categorization and Characteristic Description, *Applied Soft Computing* 10 (2010) 793–805.
- [57] Moulianitis V.C., Aspragathos N.A., Dentsoras A.J, A Model For Concept Evaluation in Design – An Application to Mechatronics Design Of Robot Grippers, *Mechatronics*, Volume 14, Issue 6, July 2004, Pages 599-622.
- [58] Huang H. Z., Bo R., Chen W., Integrated Computational Intelligence Approach to Product Concept Generation and Evaluation, *Mechanism and Machine Theory* Volume 41, Issue 5, May 2006, Pages 567-583.
- [59] Tiwari V., Jain P. K., Tandon P., Product Design Concept Evaluation Using Rough Sets and VIKOR Method, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 30, Issue 1, January 2016, Pages 16-25.
- [60] Vinodh S., Girubha R. J., PROMETHEE Based Sustainable Concept Selection, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 36, Issue 11, November 2012, Pages 5301-5308.
- [61] Zhu G. N., Hu J., Qi J., Gu C. C., Peng Y. H., An Integrated AHP and VIKOR for Design Concept Evaluation Based on Rough Number, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 29, Issue 3, August 2015, Pages 408-418.
- [62] Saeed A. K., Malhotra M. K., Abdinnour S., How Supply Chain Architecture and Product Architecture Impact Firm Performance: an Empirical Examination, *Journal of Purchasing and Supply Management*, 15 March 2018.
- [63] Tseng H. E., Chang C. C., Li J. D., Modular Design to Support Green Life-Cycle Engineering, *Expert Systems with Applications*, Volume 34, Issue 4, May 2008, Pages 2524-2537.
- [64] Mutingi M., Dubeb P., Mbohwb., A Modular Product Design Approach for Sustainable Manufacturing in a Fuzzy Environment, *Procedia Manufacturing* 8 (2017) 471 – 478.

- [65] Li J., Zhangz H. C., Gonzalezy M. A., Yux S., A Multi-Objective Fuzzy Graph Approach for Modular Formulation Considering End-of-Life Issues, *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 14, 15 July 2008, 4011–4033.
- [66] You Z. H., Smith S., A Multi-Objective Modular Design Method for Creating Highly Distinct independent Modules, *Research in Engineering Design*, April 2016, Volume 27, Issue 2, pp 179–191.
- [67] Chiu M. C., Chang C. H., Chen Y. T., Chiou Y., Chang Y. J., Redesign for Sustainability and Assemblability Using Particle Swarm Optimization Method, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 2016 Vol. 33, No. 2, 103–113.
- [68] Islam M., Sun Z., Dagli C., A General Algorithm for Assessing Product Architecture Performance Considering Architecture Extension in Cyber Manufacturing, *Procedia Computer Science*, Volume 114, 2017, Pages 384-391.
- [69] Tang C. Y., Fung K. Y., Lee E. W. M., Ho G. T. S., Siu K. W. M., Mou W. L., Product Form Design Using Customer Perception Evaluation By a Combined Superellipse Fitting and ANN Approach, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 27, Issue 3, August 2013, Pages 386-394.
- [70] Chen A. L., Martinez D. H., A Heuristic Method Based on Genetic Algorithm For the Baseline-Product Design, *Expert Systems with Applications*, Volume 39, Issue 5, April 2012, Pages 5829-5837.
- [71] Kristianto Y., Helo P., Product Architecture Modularity Implications For Operations Economy of Green Supply Chains, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 70, October 2014, Pages 128-145.
- [72] Sonogo M., Echeveste E. M. S., Debarba H. G., The Role of Modularity in Sustainable Design: A Systematic Review, *Journal of Cleaner Production*, Volume 176, 1 March 2018, Pages 196-209.
- [73] Li Z., Yiu K.-F.C., Beamformer Configuration Design in Reverberant Environments, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 47 (2016) 81–87.

- [74] Dou R., Zong C., Li M., An Interactive Genetic Algorithm with The Interval Arithmetic Based on Hesitation And Its Application to Achieve Customer Collaborative Product Configuration Design, *Applied Soft Computing* 38 (2016) 384–394.
- [75] İpek, M., Selvi, I. H. Findik, F., Torkul, O., Cedimoglu, I. H., An Expert System Based Material Selection Approach to Manufacturing-Materials & Design, Vol.47 - Pp.331-340.
- [76] Gül M., Çelik E., Gümüş A. T., Güneri A. F., A Fuzzy Logic Based PROMETHEE Method for Material Selection Problems, *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, Volume 7, Issue 1, March 2018, Pages 68-79.
- [77] Hsiao S. W., Tsai H. C., Applying a Hybrid Approach Based on Fuzzy Neural Network And Genetic Algorithm to Product Form Design, *International Journal of Industrial Ergonomics* 35 (2005) 411–428.
- [78] Girubha R. J., Vinodh S., Application of Fuzzy VIKOR and Environmental Impact Analysis for Material Selection of an Automotive Component, *Materials & Design*, Volume 37, May 2012, Pages 478-486.
- [79] Mirhedayatian S. M., Vahdat S. E., Jelodar M. J., Saenc R. F., Welding Process Selection for Repairing Nodular Cast Iron Engine Block by Integrated Fuzzy Data Envelopment Analysis and TOPSIS Approaches, *Materials & Design*, Volume 43, January 2013, Pages 272-282.
- [80] Liao T. W., Two Interval Type 2 Fuzzy TOPSIS Material Selection Methods, *Materials & Design* Volume 88, 25 December 2015, Pages 1088-1099.
- [81] Liu Y., Zhao T., Ju W., Shib S., Materials Discovery and Design Using Machine Learning, *Journal of Materiomics* Volume 3, Issue 3, September 2017, Pages 159-177.
- [82] Houria M. I., Nadot Y., Fathallah R., Maijer D. M., Gorge A. L., Through Process Modeling Applied to the Fatigue Design of Cast A356-T6 Components, *Engineering Fracture Mechanics*, Volume 195, 15 May 2018, Pages 267-278.
- [83] Nadot Y., Houria M. I., Fathallah R., Maijer D. M., Through Process Modelling Applied to the Fatigue Resistance of Cast Aluminum, *Procedia Engineering*, Volume 213, 2018, Pages 296-302.

- [84] Bruns C., Camuz M. M., Bohne F., Raatz A., Process Design and Modelling Methods for Automated Handling and Draping Strategies for Composite Components, CIRP Annals, Volume 67, Issue 1, 2018, Pages 1-4.
- [85] Steimer C., Fischer J., Auricha J. C., Model-based Design Process for the Early Phases of Manufacturing System Planning Using SysML, Procedia CIRP, Volume 60, 2017, Pages 163-168.
- [86] Rao V., Kalyankar V. D., Waghmare G., Parameters Optimization Selected Casting Processes Using Teaching–Learning-Based Optimization Algorithm, Applied Mathematical Modelling 38 (2014) 5592–5608.
- [87] Zmak I., Filetin T., Mechanical Properties of Ductile Cast Iron Determined By Neural Networks, Proceedings of the Third International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization Sharjah, U.A.E January 20-22 2009.
- [88] Behera R. K., Swain S. K., Sen S., Mishr S. C., Property Prediction of Ductile Iron (DI): Artificial Neural Network Approach, Orissa Journal of Physics, Vol. 20, No.2 August 2013 pp. 217-224.
- [89] Somkuwar V., Use of Artificial Neural Network for Predicting the Mechanical Property of Low Carbon Steel, Journal of Engineering, Computers & Applied Sciences (JEC&AS), Volume 2, No.3, 2013.
- [90] Özdemir U., Dişli Kutusunun Parametrik Tasarımında; Dönme Yönü, Güç ve Helis Açısı Değişiminin Millerdeki Eğilme Momentine Etkisinin İstatistiksel Analizi, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Temmuz 2005, Cilt 2 Sayı 2 (15-25).
- [91] Rao M. S., Venkaiah N., Parametric Optimization in Machining of Nimonic-263 Alloy using RSM and Particle Swarm Optimization, Procedia Materials Science, Volume 10, 2015, Pages 70-79.
- [92] Jung J. R., Yum B. J., Artificial Neural Network Based Approach For Dynamic Parameter Design, Expert Systems with Applications, Volume 38, Issue 1, January 2011, Pages 504-510.
- [93] Chang H. H., Chen Y. K., Neuro-Genetic Approach To Optimize Parameter Design Of Dynamic Multiresponse Experiments, Applied Soft Computing, Volume 11, Issue 1, January 2011, Pages 436-442.

- [94] Ouyang K., Wu H. W., Huang S. C., Wu S. J., Optimum Parameter Design for Performance of Methanol Steam Reformer Combining Taguchi Method with Artificial Neural Network and Genetic Algorithm, *Energy*, Volume 138, 1 November 2017, Pages 446-458.
- [95] Chen W. C., Fu G. F., Tai P. H., Deng W. J., Process Parameter Optimization For MIMO Plastic Injection Molding via Soft Computing, *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 2, Part 1, March 2009, Pages 1114-1122.
- [96] Yin F., Mao H., Hua L., A Hybrid of Back Propagation Neural Network And Genetic Algorithm for Optimization of Injection Molding Process Parameters, *Materials & Design*, Volume 32, Issue 6, June 2011, Pages 3457-3464.
- [97] Tousignant K., Packer J. A., Fillet Weld Effective Lengths in CHS X-Connections. II: Finite Element Modelling, Parametric Study and Design, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 141, February 2018, Pages 77-90.
- [98] Gadakh S., Kumar A., FSW Tool Design Using TRIZ and Parameter Optimization Using Grey Relational Analysis, *Materials Today: Proceedings*, Volume 5, Issue 2, Part 2, 2018, Pages 6655-6664.
- [99] Wang A. L., Fu Z. S., Liu F. M., Asphalt Foaming Quality Control Model Using Neural Network and Parameters Optimization, *International Journal of Pavement Research and Technology*, Volume 11, Issue 4, July 2018, Pages 401-407.
- [100] X. Wang, M.X. Tang, J. Frazer, Creative Stimulator: an Interface to Enhance Creativity in Pattern Design, *Artificial Intelligence For Engineering Design, Analysis and Manufacturing* (15) (2001) 433– 440.
- [101] Abushark Y., Thangarajah, J., Miller, T., Harland, J., Winikoff, M., 'Early Detection of Design Faults Relative to Requirement Specifications in Agent-Based Models', in Rafael H. Bordini, Edith Elkind, Gerhard Weiss, Pinar Yolum (ed.) *Proceedings of the 14th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2015)*, United States, 4-8 May 2015, pp. 1073-1079.
- [102] Tsai C. Y., Chang C. A., A Two-Stage Fuzzy Approach to Feature-Based Design Retrieval, *Computers in Industry*, Volume 56, Issue 5, June 2005, Pages 493-505.

- [103] Saravanan A., Balamurugan C., Sivakumar K., Ramabalan S., Optimal Geometric Tolerance Design Framework for Rigid Parts with Assembly Function Requirements Using Evolutionary Algorithms, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (2014) 73:1219–1236.
- [104] Ekinci S., Alvar M., Sıfır Emisyonlu Yenilenebilir Enerji Üreten Yelkenli Bir Tekne İçin Sualtı Türbin Tasarımı, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt: 7, 3, 3-9 Eylül 2016.
- [105] Kuo R. J., Lin L. M., Application of a Hybrid of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization Algorithm for Order Clustering, *Decision Support Systems*, Volume 49, Issue 4, November 2010, Pages 451-462.
- [106] Wu M. C., Hsu Y. K., Design of BOM Configuration for Reducing Spare Parts Logistic Costs, *Expert Systems with Applications*, Volume 34, Issue 4, May 2008, Pages 2417-2423.
- [107] Akin A., Saka M. P., Harmony Search Algorithm Based Optimum Detailed Design of Reinforced Concrete Plane Frames Subject to ACI 318-05 Provisions, *Computers and Structures* 147 (2015) 79–95.
- [108] Manassaldi I., Scenna N. J., Mussati S.F., Optimization Mathematical Model for the Detailed Design of Air Cooled Heat Exchangers, *Energy*, Volume 64, 1 January 2014, Pages 734-746.
- [109] Yaïci W., Ghorab M., Entchev E., Numerical Analysis of Heat and Energy Recovery Ventilators Performance Based on CFD for Detailed Design, *Applied Thermal Engineering*, Volume 51, Issues 1–2, March 2013.
- [110] VDI 2221, —Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, (1987).
- [111] Altaylı B., “Yöneylem Araştırması”, Cem Web Ofset, 1996.
- [112] Akoğlu C., Er A., Etkileşim Tasarımının Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) Gömülü Ürünlerin Tasarım Ve Geliştirilme Sürecindeki Rolü, *İtüdergisi/A Mimarlık, Planlama, Tasarım* Cilt: 9, Sayı: 2, 17-28 Eylül 2010.
- [113] Apak S., Özüğür B., Tezcan M. H., “Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde Robust Tasarım Yaklaşımının İncelenmesi”, 3. Ulusal Tasarım İmalat Ve Analiz Kongresi 29-30 Kasım 2012.

- [114] Efe B., Boran F. E., Kurt M., Sezgisel Bulanık Topsis Yöntemi Kullanılarak Ergonomik Ürün Konsept Seçimi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 3(3), Ös: Ergonomi2015, 433-440, 2015.
- [115] Duman M. H., Malzeme Özelliklerine Dayalı Ürün Geliştirme Sürecinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2005.
- [116] Reinertsen, D., Let It Flow, Industrial Engineer, 37, June 2005, 6, 40-45.
- [117] Pahl, G., Beitz, W., “Engineering Design”, Springer-Verlag, (1984).
- [118] Karabıyık Ö., Sac-Metal Kesme Kalıplarının Parametrik Tasarımına Yönelik Bir Yaklaşım, SDU International Technologic Science Vol. 3, No 2, February 2011 pp. 61-69.
- [119] Apak S., Özüğür B., Tezcan M. H., Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde Robust Tasarım Yaklaşımının İncelenmesi, 3. Ulusal Tasarım İmalat Ve Analiz Kongresi 29-30 Kasım 2012.
- [120] Liu Y., Zhao T., Ju W., Shib S., Materials Discovery and Design Using Machine Learning, Journal of Materiomics Volume 3, Issue 3, September 2017, Pages 159-177.
- [121] Saridakis K. M., Dentsoras A. J., Soft Computing in Engineering Design – A Review, Advanced Engineering Informatics, Volume 22, Issue 2, April 2008, Pages 202-221.
- [122] Antonsson E. K., Sebastian H. J., Fuzzy Fitness Functions Applied to Engineering Design Problems, European Journal of Operational Research, Volume 166, Issue 3, 1 November 2005, Pages 794-811.
- [123] Vanegas L. V., Labib A. W., Fuzzy Approaches to Evaluation in Engineering Design, Journal of Mechanical Design, 127 (1) (2005), pp. 24-33.
- [124] Wood K. L., Otto K. N., Antonsson E. K., Engineering Design Calculations with Fuzzy Parameters, Fuzzy Sets and Systems, Volume 52, Issue 1, 25 November 1992, Pages 1-20.

- [125] Chen G., Pham T. T., Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems, CRC Press, Florida, 2001, sayfa 57-58.
- [126] Bojadziev G., Bojadziev M., Fuzzy Logic For Business, Finance, and Management (2nd Edition), World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2007, Sayfa 43.
- [127] Kıyak, E., Kahvecioğlu, A. Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. Havacılık ve Uzak Teknolojileri Dergisi, 1/2, 63-72. 2003.
- [128] Jones M. T., Artificial Intelligence: A Systems Approach, Infinity Science Press LLC, Hingham, Massachusetts, 2008.
- [129] Kellogg R. S. L., Domain-Independent Method for Developing an Integrated Engineering Design Tool, Phd. Thesis, Engineering Mechanics, Iowa State University, 1998.
- [130] Wang L. X., A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice-Hall International Inc., 1997, Sayfa 5-7.
- [131] K. M., Yurkovich S., Fuzzy control, Addison Wesley Longman Inc., Menlo Park, California, 1998.
- [132] Baykal N., Beyan T., Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitapevi, Ankara 2004.
- [133] Şenol C., Yapay Sinir Ağı ve Bulanık Mantık Hibrid Yapı ve Algoritmalarının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
- [134] Shapiro F., The Merging of Neural Networks, Fuzzy Logic, and Genetic Algorithms, Insurance: Mathematics and Economics, Volume 31, Issue 1, 20 August 2002, Pages 115-131.
- [135] Kömür M., Altan M, Deprem Hasarı Gören Binaların Hasar Tespitinde Bulanık Mantık Yaklaşımı, İtühendisi/D Mühendislik Cilt:4, Sayı:2, 43-52 Nisan 2005.
- [136] Fuller R., Neural Fuzzy Systems, Abo Akademi University Press, Budapest, 2005.
- [137] Elmas Ç., Yapay Zeka Uygulamaları (Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Genetik Algoritmalar), Seçkin Yayınevi, Ankara, 2007.

- [138] Kaku M., Geleceğin Fiziği, ODTÜ Yayıncılık, 2011.
- [139] Baykal N., Beyan T., Bulanık Mantık Uzman Sistem ve Denetleyiciler, Bıçaklar Kitapevi, Ankara 2004.
- [140] Dikeç G., Malzeme Bilgisi ve İmal Usulleri, Gedik Üniversitesi Yayınları, Aralık 2013, İstanbul.
- [141] Aran A., Metal Döküm Teknolojisi, Birsan Yayınevi, İstanbul 1999.
- [142] Youssef A., El-Telbanya M., Zekryb A., The Role of Artificial Intelligence in Photo-Voltaic Systems Design and Control: a Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 78 (2017) 72–7.
- [143] Kaya İ., Oktay S., Engin O., Kalite Kontrol Problemlerinin Çözümünde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 21 (1-2), 92-107, 2005.
- [144] Öztemel. E., Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul 2003.
- [145] Shailesh P., Sundarrajan S., Komaraiah M., Optimization of Process Parameters of Al-Si Alloy By Centrifugal Casting Technique Using Taguchi Design of Experiments, Procedia Materials Science 6 (2014) 812 – 820, 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014).
- [146] Syrcos G P., Die Casting Process Optimization Using Taguchi Methods, Journal of Materials Processing Technology 135 (2003) 68-74.
- [147] Li Q., Hao Q., Jie W., Daan M., Influence of Filling Parameters on Fatigue Properties of A357 Alloy Produced By Counter Pressure Plaster Mold Casting, The Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23(2013) 1281–1285.
- [148] An W., Cai A., Luo Y., Chen H., Liu W., Li T., Chen M., Optimization of Composition of As-Cast Chromium White Cast Iron Based on Wear-Resistant Performance, Materials and Design 30 (2009) 2339–2344.
- [149] Calcaterraa S., Campanab G., Tomesanib L., Prediction of Mechanical Properties in Spheroidal Cast Iron by Neural Networks, Journal of Materials Processing Technology 104 (2000) 74-80.

- [150] Yang Y., Peng L., Fu P., Hu B., Ding W., Yu B., Effects of Process Parameters on the Macrostructure of a Squeeze-Cast Mg-2.5 mass%Nd Alloy, *Materials Transactions*, Vol. 50, No. 12 (2009) pp. 2820 to 2825.
- [151] Senthil P., Amirthagadeswaran K. S., Optimization of Squeeze Casting Parameters for Non Symmetrical AC2A Aluminum Alloy Castings Through Taguchi Method, *Journal of Mechanical Science and Technology* 26 (4) (2012) 1141~1147.
- [152] Yarlagadda P. K. V. D., Chiang E. C. W., A Neural Network System for the Prediction of Process Parameters in Pressure Die Casting, *Journal of Materials Processing Technology* 89–90 (1999) 583–590.
- [153] Kumar S., Satsangi P.S., Prajapati D. R., Optimization of Green Sand Casting Process Parameters of a Foundry by Using Taguchi's Method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (2011) 55:23–34.
- [154] Upadhye R. A., Keswani I. P., Optimization of Sand Casting Process Parameter Using Taguchi Method in Foundry, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* Vol. 1 Issue 7, September – 2012.
- [155] Muzammil M., Singh P. P., Talib F., Optimization of Gear Blank Casting Process by Using Taguchi's Robust Design Technique, *Quality Engineering*, Vol. 15, No. 3, pp. 351–359, 2003.
- [156] Perzyk M., Kochanski A. W., Prediction of Ductile Cast Iron Quality by Artificial Neural Networks, *Journal of Materials Processing Technology* 109 (2001) 305-307.
- [157] Glavaš Z., Lisjak D., Unkić F., The Application of Artificial Neural Network in the Prediction of the As-Cast Impact Toughness of Spheroidal Graphite Cast Iron, *Kovove Mater.* 45 2007 41–49.
- [158] Zmak I., Filetin T., Mechanical Properties of Ductile Cast Iron Determined by Neural Networks, *Proceedings of the Third International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization Sharjah, U.A.E January 20-22 2009*.

- [159] Ławrynowicz Z., Dymski S., Trepczyńska-Lent M., Giętka T., Neural Network Analysis of Tensile Strength of Austempered Ductile Iron, Foundry Commission of the Polish Academy of Sciences, Volume 7 Issue 3/2007 99 – 104.
- [160] Somkuwar V., Use of Artificial Neural Network for Predicting the Mechanical Property of Low Carbon Steel, Journal of Engineering, Computers & Applied Sciences (JEC&AS), Volume 2, No.3, 2013.
- [161] Voracek J., Prediction of Mechanical Properties of Cast Irons, Applied Soft Computing (2001) 119–125.
- [162] Bartocha D., Janerka K., Suchon J., Charge Materials and Technology of Melt and Structure of Gray Cast Iron, Journal of Materials Processing Technology 162–163 (2005) 465–470.
- [163] Álvarez L., Luis C. J., Puertas I., Analysis of The Influence of Chemical Composition on the Mechanical and Metallurgical Properties of Engine Cylinder Blocks in Grey Cast Iron, Journal of Materials Processing Technology 153–154 (2004) 1039–1044.
- [164] Hancheng Q., Bocai X., Shangzheng L., Fagen W., Fuzzy Neural Network Modeling of Material Properties, Journal of Materials Processing Technology 122 (2002) 196–200.
- [165] Taşgın Y., Gri Dökme Demirin Dupleks Dökümünde Karbür Yapıcı Elementlerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [166] Arıkan M. M., “Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Alaşım Elementlerinin ve Isıl İşlemin Etkisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
- [167] Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi, Metalürji Teknolojisi, Gri (Esmer) Dökme Demir, Ders Notları, 2011.
- [168] Aliyev R. A., Guirimov B. G., Type-2 Fuzzy Neural Networks and Their Applications, Springer International Publishing, Switzerland, 2014.
- [169] The Joint Development Board, Industrial Engineering Projects; Practice and procedures for capital projects in the engineering, manufacturing and process industries, E&FN Spon, 1997.

- [170] Rai, J. K., Lajimi, A. M., Xirouchakis, P. (2008). An Intelligent System For Predicting HPDC Process Variables in Interactive Environment. *Journal of Materials Processing Technology*, 203, 72-79.,
- [171] Santos, C. A., Spim Jr., J. A., Ierardi, M. C. F., Garcia, A., The Use Of Artificial Intelligence Technique For The Optimisation Of Process Parameters Used In The Continuous Casting Of Steel. *Applied Mathematical Modelling*, 26, 1077–1092. 2002.



ÖZGEÇMİŞ

Fatih Keskinılıç 1983 yılında Kırşehir’de doğdu. İlkokulu yine Kırşehir’de tamamladıktan sonra ortaokulu Konya’da bitirdi. 2000 yılında Meram Konya Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliğı Bölümünü kazanıp İngilizce hazırlık eğitimiyle birlikte beş yıl sonra bitirdi. 2010 yılında Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliğinde yüksek lisans eğitimini tamamladı.2006 yılından 2009 yılına kadar özel sektörde Endüstri Mühendisi olarak çalıştıktan sonra 2009 yılında Ahi Evran Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak işe başlayan Fatih Keskinılıç halen aynı işte çalışmakta evli ve iki çocuk babasıdır.