



T.C.
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Isı Yalıtımı ile Verimli Enerji Kullanımı Modelinin
ANFIS ile Oluşturulması:
Cumhuriyet Üniversitesi Uygulaması

Yüksek Lisans Tezi

201492181223
Nilüfer GÖKÇE

Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet Gürkan YÜKSEK

SIVAS
OCAK 2019

Nilüfer GÖKÇE'nin hazırladığı ve “Isı Yalıtımı ile Verimli Enerji Kullanımı Modelinin ANFİS ile Oluşturulması : Cumhuriyet Üniversitesi Uygulaması ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ENERJİ BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Doç. Dr. Ahmet Gürkan YÜKSEK Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ertan BUYRUK Cumhuriyet Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç Dr. Metin ZONTUL Arel Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.





Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Nilüfer GÖKÇE, 2019

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

23.01.2019

Nilüfer GÖKÇE

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimlerinden daima yararlandığım, danışmanım saygıdeğer hocam Doç. Dr. Ahmet Gürkan YÜKSEK 'e her anlamda katkılarını ve desteğini esirgemeyen tez boyunca beni yönlendiren sabır ve anlayışı, bana inanıp güvendiği ve her konuda desteklerini esirgemeyip yanımda olduğu için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin planlanmasında bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Ertan BUYRUK' a ve bu tezde referans aldığım deneysel çalışmalardaki yol göstericiliği için Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Dr. Öğr. Üyesi Ferhat KILINÇ ve Makine Mühendisi Erge BOSTANCI' ya katkıları için çok teşekkür ederim.

Bana inanan, güvenen ve her zaman yanımda olup sabır gösteren aileme de beni destekledikleri için çok teşekkür ederim.

ÖZET

ISI YALITIMI İLE VERİMLİ ENERJİ KULLANIMI MODELİNİN ANFİS İLE OLUŞTURULMASI: CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ UYGULAMASI

Nilüfer GÖKÇE

Yüksek Lisans Tezi

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Ahmet Gürkan YÜKSEK

2019,115+xiv sayfa

Enerji verimliliği; enerjinin üretildiği ve tüketildiği tüm ortamlarda kullanım dışı olan enerji kayıplarının önlenmesi, günlük hayatın her aşamasında oluşan atıkların geri kazanımı ile değerlendirilmesi veya ileri teknolojik yöntemler kullanılarak üretimi düşürmeden artan enerji talebinin azaltılması, daha verimli daha ucuz enerji kaynakların kullanıma sunulması gibi etkinliği artırıcı önlemler bütünüdür. Isı yalıtımı kavramı ise enerji verimliliği konuları içerisinde yoğun kullanılan ve sıcak ya da soğuk havanın ısı köprüleri aracılığı ile konutların içine girmesini ya da çıkmasını engellemek adına yapılan çalışmaların bütünü olarak değerlendirilmektedir. Isı yalıtımı çok farklı yöntemler ile yapılabilmekte ve bu yöntemlerin sağladığı avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak uygun yalıtım teknikleri binalar için seçilebilmektedir. Yöntemlerin birçoğu sayısal hesaplamalar üzerine yoğunlaşmakla beraber güncel olan makine öğrenmesi tekniklerinin kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur.

Bu tez çalışmasında hibrit bir yaklaşım olan ANFİS yöntemi ile farklı tekniklerle ısı yalıtımı yapılan bir binanın yalıtım türü, ısıtma şekli ve dış ortam sıcaklığı gibi değerler üzerinden iç ısıdaki değişimleri modelleyen bir sistemin oluşturulması hedeflenmiştir. Kış aylarında binada yapılan ölçümler ile ANFİS modeli eğitilmesi ve modelin parametrelerin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki ANFİS ile gerçekleştirilen bu modelin başarılı olarak ürettiği sonuçları gelecek tahminleri ve çalışmaları için ışık tutucu bir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Isı Yalıtımı, Makine Öğrenmesi, ANFİS

ABSTRACT

CREATION OF EFFICIENT ENERGY USAGE MODEL WITH ANFIS WITH THERMAL INSULATION: CUMHURİYET UNIVERSITY APPLICATION

Nilüfer GÖKÇE

Master Thesis

Department Of Energy Systems Engineering

Supervisor: Ahmet Gürkan Yüksek

2019, 115+xiv pages

Energy efficiency; The prevention of energy losses which are not used in all environments where energy is produced and consumed is increased without reducing production by using advanced technological methods or evaluation with the recovery of waste occurring at every stage of daily life Reducing energy demand is a whole of effectiveness-enhancing measures, such as the use of more efficient cheaper energy resources. The concept of thermal insulation is used extensively in energy efficiency issues and is considered as the whole of the work done in order to prevent hot or cold air from entering or getting into the houses through heat bridges. Thermal insulation can be done with very different methods and the advantages and disadvantages of these methods are taken into consideration and appropriate insulation techniques can be selected for buildings. Many of the methods are concentrated on numerical calculations and are available in studies using current machine learning techniques.

In this thesis, the ANFIS method, which is a hybrid approach, aims to create a system which models the changes in the internal temperature over the values such as the type of insulation of the building, the type of heating and the outdoor temperature. In the winter months, studies were carried out to determine ANFIS model and to determine the parameters of the model. The results have shown that the results of this model, which has been successfully produced with ANFIS, are light shining for future estimations and studies.

Keywords: Energy efficiency, Thermal insulation, Machine learning, ANFIS

İÇİNDEKİLER

Özet	vii
Abstract.....	viii
İçindekiler.....	ix
Şekiller	xi
Tablolar.....	xiii
Semboller Ve Kısaltmalar Listesi.....	xiv
1. Enerji.....	1
1.1 Enerjinin Tanımı.....	1
1.2 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	3
1.3 Enerji Verimliliği	6
1.3.1 Enerji Verimliliği Tanımı	7
1.3.2 Enerji Yoğunluğu	8
1.4 Enerji Tasarrufu Tanımı Ve Ekonomik Faydaları.....	12
1.5 Binalarda Isı Yalıtımı Kavramına Enerji Verimliliği Çerçevesinden Bakılması.....	13
1.6 Enerji Verimliliği Politikaları Ve Kanunları.....	15
1.6.1 Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği (BEP)	16
1.6.2 Enerji Kimlik Belgesi (EKB)	16
1.7 Literatür Taraması	18
2. Isı Yalıtımı Ve Konutlarda Yalıtımın Önemi	28
2.1 Sıcaklık Ve Isı Kavramları.....	28
2.2 Ortamlarda Isı Yalıtımı Kavramı Ve Önemi	28
2.3 Yapılarda Isı Yalıtımı	30
2.4 Yalıtımsız Konutlarda Isı Kaçakları	31
2.4.1 Isı Köprüsü	32
2.5 Binalara Isı Yalıtımı Uygulamaları	34
2.5.1 Dış Cephe (Ortam) Isı Yalıtımı	34
2.5.2 İç Cephe Isı Yalıtımı Uygulaması	37
2.5.3 Sandviç Duvar Isı Yalıtım Uygulaması.....	39
2.6 Isı Yalıtım Malzemeleri	40
2.6.1 Isı Yalıtım Malzemelerinin Genel Özellikleri	41
2.6.2 Isı Yalıtım Malzemelerinden Beklenen Özellikler	42
2.6.3 Bina Yalıtımında Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri	43
2.7 TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” Standardı Ve Son Gelişmeler	47

2.7.1 Giriş	47
2.7.2 TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı	48
2.7.3 Standardın Amacı	48
2.7.4 Standardın Uygulama Alanları	49
3. Kuramsal Temeller	50
3.1 Bulanık Mantık – BM (Fuzzy Logic – FL).....	50
3.1.1 Keskin Küme Ve Bulanık Küme Kavramları.....	51
3.1.2 Bulanık Küme Yaklaşımı	53
3.1.3 Bulanık Sistemler	55
3.1.3.1 Mamdani Bulanık Model	57
3.1.3.2 Takagi-Sugeno Bulanık Modeli.....	58
3.2.1 Biyolojik Sinir Sistemi	61
3.2.2 Yapay Sinir Ağı.....	62
3.2.2.1 Yapay Sinir Ağları Modeli	65
3.2.2.2 Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi Ve Öğrenme Algoritması.....	69
3.2.2.3 Öğrenme Algoritması	72
3.3 Sinirsel Bulanık Mantık.....	75
3.3.1 Sinirsel Bulanık Mantık Ağ Yapıları.....	75
3.3.1.1 ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System – Adaptif Ağ Yapılı Bulanık Sonuç Çıkarım Sistemi)	77
3.3.1.2 ANFIS İçin Geri Yayımlı Öğrenme Algoritması Matematik Modeli ...	80
4. Modelin Kurulması Ve Veri Setinin Hazırlanması	84
4.1 Veri Tabanının Oluşturulması	85
4.1.1 Uygulamalı Isı Yalıtım Evi Yapısı	86
4.1.2 Örnek Ölçüm Değerleri Ve Termal Kamera Görüntüleri.....	88
4.2 ANFIS Modelinin Kurulması.....	90
4.2.1 ANFIS Modelinin Eğitilmesi	91
4.2.2 Model Eğitim Veri Setlerinin Hazırlanması.....	92
5. Sonuç Ve Öneriler.....	105
6. Kaynakça	109

ŞEKİLLER

Şekil 1.1 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	3
Şekil 1.2 Dünya Birincil Enerji Talebinin Bölgelere ve Kaynaklara Göre Dağılımı	4
Şekil 1.3 Türkiye'nin Enerji Yoğunluğu	10
Şekil 1.4 Ülkelerin Birincil Enerji Yoğunlukları.....	11
Şekil 1.5.a Türkiye Enerji Tüketim Oranları.....	13
Şekil 1.5.b Binalarda Enerji Tüketim Dağılımı.....	13
Şekil 1-6 Bina Enerji Kimlik Belgesi	18
Şekil 2.1 Konutlarda Isı Yalıtımı Yapılması Gereken Yerler	30
Şekil 2.2 Yalıtımsız Binalarda Isı Kaçaklarının Oluştığı Bölgeler.....	31
Şekil 2.3 Bina Duvarlarındaki Isı Köprüleri.....	33
Şekil 2.4 Binalarda Dış Cephe Isı Yalıtımı Yapısı.....	34
Şekil 2.5 Dıştan Yalıtılmış Bir Duvarın Yalıtım Detaylarının Perspektif Görünümü....	35
Şekil 2.6 İç Cephe Isı Yalıtım Sistemi	38
Şekil 2.7 İçten Yalıtılmış Bir Dış Duvarın Yalıtımına Ait Perspektif	38
Şekil 2.8.a Sandviç Duvar Isı Yalıtım Sistemi.....	40
Şekil 2.8.b Sandviç Duvar Isı Yalıtım Uygulaması	40
Şekil 3.1.1 Klasik Küme Teorisi	52
Şekil 3.1.2 Bulanık Küme Teorisi	52
Şekil 3.1.3 Klasik Küme Sınırları.....	52
Şekil 3.1.4 Bulanık Küme Sınırları	52
Şekil 3.1.5 Üyelik Fonksiyonu ve Üyelik Değeri.....	53
Şekil 3.1.6 Giriş Üyelik Fonksiyonları	54
Şekil 3.1.7 Çıkış Üyelik Fonksiyonları	54
Şekil 3.1.8.a Üçgen Üyelik Fonksiyonu.....	55
Şekil 3.1.8.b Yamuk Üyelik Fonksiyonu	55
Şekil 3.1.8.c S Üyelik Fonksiyonu	55
Şekil 3.1.8.d π Üyelik Fonksiyonu.....	55
Şekil 3.1.9 Bulanık Model Sistemi.....	56
Şekil 3.1.10 Mamdani Bulanık Mantık Modeli.....	58
Şekil 3.1.11 Takagi-Sugeno Bulanık Mantık Modeli.....	60
Şekil 3.2.1 Sinir Sisteminin Blok Gösterimi	61

Şekil 3.2.2 Biyolojik Sinir Hücresi ve Bileşenleri.....	62
Şekil 3.2.3 Temel Yapay Sinir Ağı Hücresi	63
Şekil 3.2.4.a Eşik Aktivasyon Fonksiyonu.....	65
Şekil 3.2.4.b Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu.....	65
Şekil 3.2.4.c Logaritma Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu.....	65
Şekil 3.2.4.d Tanjant Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu.....	65
Şekil 3.2.5 İleri Beslemeli Çok Katmanlı Yapı	66
Şekil 3.2.6 Eğim Düşümü Yönteminin Grafıksel Yorumu	68
Şekil 3.2.7 Geri Beslemeli Yapı	69
Şekil 3.2.8 Yapay Sinir Ağı Katsayılarının Ayarlanması Şematik Gösterimi.....	70
Şekil 3.2.9 Danışmanlı Öğrenme Yapısı	71
Şekil 3.2.10 Danışmansız Öğrenme Yapısı	71
Şekil 3.2.11 Takviyeli Öğrenme Yapısı	72
Şekil 3.2.12 Basit Perceptron Yapısı	73
Şekil 3.3.1 Sinirsel Bulanık Mantık Sisteminin Birinci Yapısı	76
Şekil 3.3.2 Sinirsel Bulanık Mantık Sisteminin İkinci Yapısı	76
Şekil 3.3.3 Birinci Dereceden İki Girişli ve İki Kurallı Sugeno Bulanık Modeli	78
Şekil 3.3.4 Eşdeğer ANFIS Yapısı	78
Şekil 4.1 Anfis Veri Analiz Basamakları	84
Şekil 4.1.1.(a.b.c.d.e.f) Isı Evi İnşa Aşamaları	86
Şekil 4.1.2 Isı Yalıtım Evinin Mimari Planı ve Farklı Tip Duvar Uygulamaları	87
Şekil 4.2 Temel ANFIS Hesaplaması Akış Şeması.....	92
Şekil 4.3 Neuro-Fuzzy Designer Ara Yüzü.....	94
Şekil 4.4 Farklı Üyelik Fonksiyonları ile ANFIS Modelinin Eğitim Sonuç Grafikleri .	99
Şekil 4.5 “psigmf” Üyelik Fonksiyonu.....	102
Şekil 4.6 ANFIS Modeli Üretilen ve Gerçek Değerler Karşılaştırmalı Grafik	103
Şekil 4.7 ANFIS Modeli FIS Yapısı.....	103
Şekil 4.8 Gerçek Değerler – Model Tarafından Üretilen Değerler.....	104

TABLolar

Tablo 1.1 Binalarda Kullanılan Yakıt Fiyatlarının Karşılaştırılması	5
Tablo 1.2 Birincil Ve Nihai Enerji Yoğunluğunun Yıllık Ortalama Artış-Azalış Oranı	10
Tablo 1.3 Enerji Sınıfı Ve Değerleri	17
Tablo 1.4 Türkiye’de Enerji Verimliliği Ve Isı Yalıtımı Konularında Yapılan Tez Çalışmaları	20
Tablo 4.1 Kullanılan Duvar Modelleri Ve Verilen Numaralar	87
Tablo 4.2 Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	88
Tablo 4.3.a 5 Cm Yalıtım Malzemesi Ölçümlerine Ait Bazı Değerler	88
Tablo 4.3.b 8 Cm Yalıtım Malzemesi Ölçümlerine Ait Bazı Değerler	89
Tablo 4.4 5 Cm Yalıtım Malzemesi Termal Kamera Görüntüleri	89
Tablo 4.5 8 Cm Yalıtım Malzemesi Termal Kamera Görüntüleri	89
Tablo 4.6 Veri Seti Parametreleri.....	93
Tablo 4.7 Veri Setinin Modelin Eğitimi İçin Ayıran Kod	94
Tablo 4.8 Farklı Üyelik Fonksiyonları İle Anfis Modelinin Eğitim Sonuç Kontrol Değerleri	100
Tablo 4.9 İstatistiksel Değer Metrikleri	101

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

SEMBOL / KISALTMA

°C	Santigrat Derece
CO₂	Karbon Dioksit
U	Toplam Isı Geçiş Katsayısı (W/m ² K)
K	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
h	Isı Taşınım Katsayısı (W/m ² K)
p	Yoğunluk (kg/m ³)
τ_{ij}	Gerilme Tensörü (N/m ²)
kwh	Kilowatt Saat
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
KEP	Kilogram Eşdeğer Petrol
AB	Avrupa Birliği

1. ENERJİ

1.1 ENERJİNİN TANIMI

Enerji literatürde tanım olarak farklı biçimlerde ele alınmakta ve tanımlanmaktadır. Yoğun bir şekilde “ iş yapabilme yeteneği ” olarak nitelendirilirken farklı bir kavram olarak da; sıvı yakıt, katı yakıt ve doğalgaz gibi değişik yakıt şekillerinden elde edilen ısı ve elektrik olarak ısıtılabilme ya da aydınlatılabilme yeteneği veya kapasitesine sahip tek başına bir varlık olmayan, bir cismin ya da sistemin özelliğidir denilebilir [1] [2].

Enerji, ülkelerin sosyal ve iktisadi olarak kalkınmışlığının temel bir göstergesi ve bununla birlikte, en temel insani bir ihtiyaç olması sebebi ile insan hayatında ve iktisadi faaliyetlerinde tartışmasız öneme sahiptir. Gerek yönetilmesi gerek elde edilmesi açısından enerji kavramı, günümüz küresel dünyasının ekonomik, sosyal ve coğrafi düzenin stratejik tanımlayıcısı olarak birçok platformda karşılaşılmaktadır. Enerjinin hangi şartlarda üretildiğinin veya temininde karşılaşılan sıkıntıların, ulusal ve uluslararası kapsamlarda rekabeti direkt olarak etkilemesi, ülkelerin üretim stratejilerini belirlemesi, bütçe dengelerini şekillendirmesi, iç ve dış açıkların en özel belirleyicilerinden birisidir ve bu özellik enerji yönetimi kavramını dünyanın en özel ve güncel maddelerinden biri yapmaktadır [3] [4]. Enerji, üretim ve tüketimin tüm süreçlerinin gerçekleştirilebilmesinde ihtiyaç duyulan ve vazgeçilemez bir kaynaktır. Kelime manasının kökeni Yunanca olan enerji kavramı; içerde oluşan bir “iç iş” iken zamanla sosyal bir özellik kazanmış ve iş üretme kabiliyeti, kuvvet ve kudreti, dinamizmi, etkinlikle eş anlamda kullanılmaya başlamıştır [5]. Enerji kullanımı toplumsal rahatlığın sağlanması için olması gereken en önemli araçlardan ve üretim faaliyetlerinin en temel girdilerinden biri olarak, ekonomik ve sosyal kalkınmanın vazgeçilmezlerinden en önemlisidir. Bu özelliği sebebi ile endüstriyel alanlardaki gelişmelerin, yaşam standartlarındaki kalitenin yükselişin ve artan nüfusun ihtiyaç duyduğu enerjinin tüm ihtiyaçları karşılayacak şekilde, güvenli ve düşük maliyetler ile sağlanması önem arz etmektedir [6].

Enerji, tanımlamalardan da görüldüğü gibi temelde insan hayatının vazgeçilmez bir parçasıdır. Yaşadığımız dünyadaki her canlının yaşamı enerjiye bağlıdır. Enerji farklı formlarda ortaya çıkar veya kullanılır. Bu formların en bilinenleri; Potansiyel enerji,

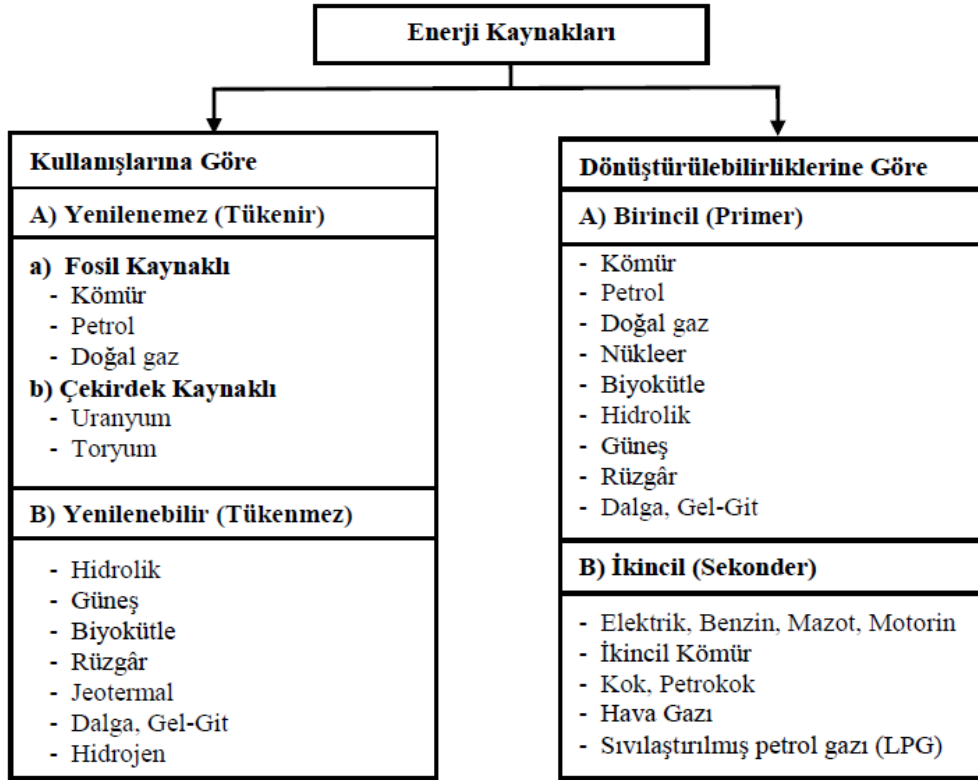
cisimlerin bir ortamda buldukları fiziksel durumlarından dolayı depoladığı enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Depolanan enerji ise nesnenin durumuyla, konumuyla veya pozisyonuyla ilgilidir. Nesnenin durumu, konumu veya pozisyonu değiştiği anda depolanan enerji ortaya çıkacaktır. Kinetik enerji, bir cismin ya da sistemin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjidir. Isı enerjisi, cisimlerin sıcaklıklarından dolayı etrafına yaydığı enerjidir. Sıcaklığı yüksek veya düşük maddeler ısı enerjisine sahiptirler. Elektrik enerjisi, cisimlerin elektrik yüklerinin hareketinden kaynaklanan bir enerji çeşididir ve elektriksel potansiyel enerjiden yeniden üretilen enerjidir. Işık enerjisi, diğer enerji türlerinde olduğu gibi bir enerji dönüşümüdür. Yanan cisimlerin veya güneşin yaymış olduğu enerji ışık enerjisi olarak tanımlanır. Kimyasal enerji, bir maddeyi oluşturan moleküllerin diğer bir maddenin molekülleri ile aralarında oluşan reaksiyon neticesi ortaya çıkan enerji olarak tanımlanır. Kimyasal bağların oluşturulması veya kopartılması reaksiyonları sırasında enerji açığa çıkar. Bu enerji bir kimyasal sistem tarafından emilir veya yayılır. Nükleer enerji, atomun çekirdeklerinin parçalanması esnasında ortaya çıkan büyük bir enerjidir. Çok yüksek sıcaklıklarda yüksek enerji seviyesine erişen atom çekirdeklerinin çarpışması neticesinde füzyon tepkimesi sağlanabilmektedir. Fisyon ve füzyon tepkimeleri sonucu açığa çıkan enerjiye nükleer (çekirdek) enerji adı verilmektedir. Ses enerjisi, bir maddenin salınımı veya titreşiminden meydana gelen enerji türüne ses enerjisi olarak tanımlanır. Bir sistem bir iş yaparken bunların bir kısmını ya da tamamını kullanabilir. Sistemin sahip olduğu bu enerjilerin tümüne toplam enerji (E) denir.

Enerjinin üretimi ve kullanımı tarih boyunca vazgeçilmez bir kaynak olmuş ve endüstriyel gelişim ile birlikte enerji, sanayinin temel adımlarında ve büyümesinde anahtar faktör rolünü üstlenmiştir. Milletler varoluşlarını direkt olarak sanayi faaliyetlerine ve bu faaliyetlerin sürdürülebilirliği de enerji stratejilerine bağlıdır. Enerji stratejik bir meta olarak dünya siyaseti üzerinde geçmişten günümüze kadar olan ekonomik, sosyal ve coğrafi yapılar üzerinde yönlendirici bir niteliğe sahiptir. Sanayi devrimlerinin [7] getirileriyle (olumlu/olumsuz) beraber çağımız “enerji çağı” olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca bu çağ “yüksek enerji uygarlığı” olarak tanımlanmakta, küresel sermayeye de teknoloji ve enerji alanında üstünlük için mücadele döneminin açılışını yapmaktadır. Enerjiyi değerli kılan fiyatı ve temin edilebilirliği noktalarındaki

belirleyici yönleri ülkeler için bu konuyu dünyada önemli gündem maddelerinden biri haline getirmektedir [8].

1.2 ENERJİ KAYNAKLARININ SINIFLANDIRILMASI

Enerji ihtiyacı, üretilen kaynakların önem kazanmasının yanında günümüzde üretilen kaynakların da bir hayli önem kazanması sonucunu doğurmaktadır. Ekonomik manada değişik işlemler ile enerji elde edilen kaynaklar, farklı şekilde sınıflandırılarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.1). Enerji kaynaklarını çeşitli kavramlara göre sınıflandırmak olasıdır, enerji veya enerji maddelerinin elde edildiği kaynaklar, kullanım yeri ve kullanım amaçları göz önüne alınarak gruplara ayrılmaktadır [10].

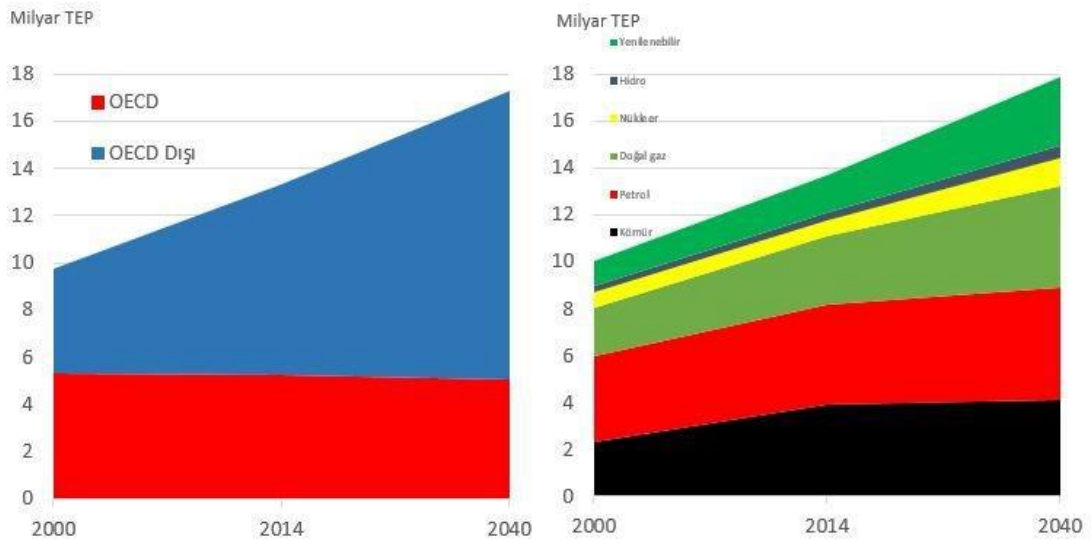


Şekil 1.1 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması [9]

Enerji kaynakları dönüştürülebilirlikleri yönünden birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak iki farklı grupta değerlendirilmektedir. Kaynak, doğada bulunduğu gibi hiçbir değişime uğramamış hali ile kullanılıyorsa birincil enerji kaynağı, belli işlemlerden geçirilerek değiştirilmek suretiyle elde ediliyorsa ikincil enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Enerjiyi üretilebilirliklerine göre, yenilenebilir ve yenilenemez enerji

kaynakları olarak da iki farklı grupta sınıflandırılmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları, yenilenemeyen ve kısa bir gelecekte tükenebileceği öngörülen enerji kaynaklarıdır. Bunlar; fosil kaynaklılar ve çekirdek kaynaklılar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise; doğal olarak yenilenebilir kaynaklardan elde edilen ve oldukça uzun sayılabilecek bir gelecekte tükenmeyecek kaynakları ifade etmektedir. Bu enerji türleri; hidrolik, güneş, biokütle, jeotermal, dalga, gel-git ve hidrojen enerjisidir [10].

Dünya nüfusunun hızlı artışı beraberinde enerji kaynaklarının tüketilmesinde ki artışı getirmektedir [11]. Fosil bazlı yakıtlar rezervlerindeki hızlı azalmaya rağmen gelecekte de önemli enerji kaynakları olma özelliklerini sürdüreceklerdir. Bu kaynaklar içinde özellikle nükleer enerjinin payının da önümüzdeki yıllar da artacağı beklenmektedir. Mevcut politikalara göre önümüzdeki yıllarda küresel elektrik talebinin %80 oranında artacağı ve yenilenebilir enerji kaynakları yıllık ortalama %9,8 büyüme payları ile en hızlı büyüme oranına sahip olacağı öngörülmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Dünya Birincil Enerji Talebinin Bölgelere ve Kaynaklara Göre Dağılımı [11]

Türkiye'nin sahip olduğu (ürettiği) birincil enerji kaynakları hali hazırda dünyada ki enerji kaynak rezervleri ile karşılaştırıldığında kalite ve miktar bakımından düşük konumdadır. Türkiye özellikle fosil bazlı enerji kaynaklarında petrol ve doğalgaz da dışa bağımlı bir ülkedir, bunun aksine diğer ülkelere göre linyit rezervlerinde ve

hidrolik enerji de daha büyük bir potansiyele sahiptir. Hidrolik enerji kaynakları içinde Türkiye yüksek bir paya sahip olmasına karşılık, kullanımını %28 gibi düşük bir orandadır. Linyit kömürlerinin ise Türkiye genelinde %34'lük kısmı kullanılmaktadır. Türkiye'de enerji kaynakları mevcut potansiyelinin çok altında kullanılmaktadır [11].

Enerji ile ilgili ülkelerin en büyük sorunu tüketimi ve bu tüketimin doğru yönetilememesidir. Dünya üzerinde enerji kaynaklarının ve üretiminin sınırlı olması ve kontrolsüz enerji tüketiminin kötü etkilerinden birisi olan çevre kirliliği enerji korunumunu ve etkin enerji kullanımını zorunlu bir hale getirmektedir. Enerji korunumu, gereksiz enerji tüketimini azaltarak daha doğrusu verimli kullanarak gerçekleştirilebilir. Türkiye'de olduğu şekilde enerji üretimi ve tüketimi değerleri arasında oransal olarak büyük fark olan ülkeler için enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılması gerçekten önemlidir. Türkiye'de kullanılan enerjinin %40 gibi büyük bir kısmı konutların ısıtmasında/soğutulmasında kullanılmaktadır. Kullanılan bu enerjinin büyük bir kısmı da kaybolmaktadır çünkü Türkiye'de binalara uygulanan ısı yalıtımı henüz tam olarak istenilen oranlarda veya kalitede değildir. Yürürlükteki ısı yalıtım kanunlarına göre yapılan binalardaki ısı kaybı oranları, benzer iklim şartlarına sahip olan Avrupa ülkeleri ile karşılaştırıldığında, çok daha yüksektir. Bu sebepten ötürü daha fazla enerji kullanımı ve çevre kirliliği oluşturmaktadır. Tablo 1.1'de verilen yakıt birim fiyatları incelendiğinde, Türkiye'de bina ısı yalıtımının önemi ortaya çıkmaktadır [12].

Ucuzluk	Yakıt	Isıl Değer Kcal/Nm ³	Birim Fiyat	Verim	TL/1000kwh
1	Doğalgaz	8250	1,009262	90	0,1359
2	Linyit	6000	0,738000	65	0,1892
3	Elektrik	860	0,331835	99	0,3898
4	Motorin	10200	3,511905	84	0,4099
5	Tüpgaz	11000	5,049435	88	0,5216
6	LPG propan	11000	5,165400	90	0,5218

Tablo 1.1 Binalarda Kullanılan Yakıt Fiyatlarının Karşılaştırılması [12]

Binalardaki ısı yalıtımdaki önemli parametrelerden biriside kullanılacak uygun malzemelerinin seçimidir. Malzemenin tedarik edilme ve uygulanma kolaylıkları ile birlikte maliyet önemli bir kriterdir. Çünkü yalıtım için gerçekleştirilecek olan harcama, binanın ilk yatırım maliyetini de beraberinde arttıran bir uygulamadır. Bununla birlikte maliyet, enerji tasarrufu kriterlerine bağlı olarak geri dönüşüm süreçleri ve kazançları da göz önüne alınarak hesaplanırsa, sonraki yıllarda maliyeti düşürücü oranlarda olumlu bir katkı ve enerji tüketiminde de önemli bir düşüş sağlanır. Enerjinin korunumu kapsamlarında son yıllarda gerçekleştirilen araştırmaların önemli çoğunluğu, enerji kaynaklarının “tasarruflu tüketimine” dayalı önlemleri ve tedbirleri içermektedir. Konusu geçen bu önlemler ile binalardaki ısıtma ve soğutma giderleri veya maliyetleri için harcanan enerjinin korunumu hedeflenmektedir [13].

1.3 ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Ülkelerin iktisadi, beşeri ve sosyal kalkınmaları için enerji yönetimi önemli girdilerin en başında gelmektedir. Dünya ülkeleri enerji ihtiyaçlarının önemli kısmını petrol ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı birincil yakıt rezervlerinden karşılamaktadır. Fakat bu kaynakların hızlı bir şekilde tüketilmesi, bunun doğal bir neticesi olarak ozon tabakasında bir incelmeye, sera gazı emisyonları oranlarında yükselme ile birlikte insan yaşamını ve çevreyi tehdit eder duruma gelmesiyle beraber, enerjinin sadece tüketimi değil bıraktığı olumsuz etkileri de günümüzün önemli yaşamsal sorunlarından birini oluşturmaktadır [14].

Enerji açığının (talebinin) büyük bir kısmını ithal ederek karşılayan Türkiye, söz konusu durumun kalkınmasını ve sanayileşmesini engellememesi için enerji yönetim politikasını enerjiiyi verimli kullanma üzerine yönlendirmesi önemli bir zorunluluktur. Yapılan birçok çalışma veya rapora göre sadece enerji verimli kullanılarak yıllık toplam enerji tüketiminin %30'una kadarının tasarrufunun mümkün olduğu ifade edilmektedir [14] [15] [16]. Enerjiye bağlı sorunların giderek arttığı, buna karşılık enerji kaynaklarının sürekli olarak azaldığı dünyada enerjinin verimli kullanımının önemi günümüzde ve gelecek yıllarda artmaya devam edecektir. Bu bağlamda tüm otoritelerin kabul ettiği gerçek şudur ki, en iyi enerji tasarrufu, enerjiiyi verimli kullanmaktır.

1.3.1 ENERJİ VERİMLİLİĞİ TANIMI

Günümüzde önemli kavramlarından birisi olması nedeniyle enerji verimliliğinin tanımını farklı kurum ve kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Bu tanımları aşağıdaki gibi kısaca özetleyebiliriz:

“Enerji verimliliği; şekil olarak tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden iktisadi kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesidir, diğer bir ifadeyle enerjiyi daha akılcı kullanmaktır. Bu amaçla teknolojik herhangi bir fonksiyon ya da bir süreç, bir önceki döneme göre, daha az enerjiyle gerçekleştiriliyorsa, o zaman enerji verimliliği uygulanmaktadır diyebiliriz [17].”

“Tanımlamalardan bir diğeri ise enerji verimliliği; enerji girdisinin üretim içindeki payının azaltılması, aynı üretimin daha az enerji tüketerek gerçekleştirilmesidir (US Department of Energy, 2006).”

Enerji verimliliği uygulamaları iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Birincisi, direkt enerji verimliliği; ev, ofis, otomobil ve diğer teknolojik ürünleri kullanmak; bireysel davranışları (alışkanlıkları) ve günlük yaşamdaki davranışları enerjiyi daha verimli kullanacak şekilde kurgulamak gibi somut önlemlerden oluşmaktadır. İkinci olanı ise, dolaylı enerji verimliliği olarak adlandırılan, mevcut malların daha uzun süre kullanılması ile yeni malların üretimini azaltmak; enerji tüketimini en aza düşürecek şekillerde yerleşim yerlerini planlamak, ekonomik olarak doğrudan materyal tüketiminin olmadığı etkinliklere geçiş yapmak gibi önlemlerdir [18].

“Enerji verimliliği fırsatları neredeyse bütün enerji nihai kullanımlarında, sektörlerinde ve hizmetlerinde bulunabilir ve bu alanda büyük bir potansiyel henüz değerlendirilmemektedir. Nihai kullanım enerji verimliliği ısıtma, iklimlendirme, aydınlatma gibi hizmetleri sağlayan ekipmanların geliştirilmesine odaklanır. Arz tarafı enerji verimliliği ise, tam tersine, daha verimli enerji üretimi, gelişmiş endüstriyel süreçler, kojenerasyon ve enerji geri kazanımları gibi sonuçları olan performans temelli iyileştirmelere yoğunlaşır” (Kavak, 2005) [19].

Özet olarak enerji verimliliği; yaşam standardını, üretim kalite ve oranlarını düşürmeden, daha az enerji tüketerek veya kullanarak aynı miktarda iş yapabilmek kabiliyetidir. Bu kavramın içerisinde sadece enerji kaynaklarının kullanımını değil bununla birlikte gelişmiş endüstriyel süreçler ve enerji geri kazanımları da gibi etkinliği artırıcı önlemler dahil edilmelidir. Enerji verimliliği;

- Enerjide arz/talep güvenliğinin sağlanması,
- Dışa bağımlı olmaktan dolayı oluşan risklerin indirgenmesi,
- Enerji üretim maliyetlerinin sürdürülebilir olması,
- İklim değişikliği karşısında tedbir ve yöntemlerin artırılması ve çevrenin korunması

gibi ulusal stratejik hedefleri tamamlayan ve bunları yatay kesen bir kavramdır. Aynı zamanda enerji verimliliği bütün dünyada ekonomik kalkınmayı en üst seviyeye taşımayı ve kişilerin sosyal yaşamlarında rahatlık ve refahlarının kısıtlamadan kullanılan enerjiyi minimuma indirmek için yapılan çalışmaların genel adıdır. Enerji verimliliği kapsamında var olan enerjinin üretim ve tüketim esnasında oluşabilecek kayıpları engellemek veya en aza indirmektir [20]. Enerjinin verimli kullanılması için kamu tarafından yürütülen uygulamalar, eğitim ve bilgilendirme çalışmaları, yasal düzenlemeler ile getirilen yaptırımlar, sivil toplum kurumları tarafından organize edilen kampanyalar ve gönüllü aktiviteler, büyük şirketler ve üniversiteler tarafından planlanan ve yürütülen teknoloji geliştirme programları gibi çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Enerji verimliliği kapsamında Elektrik İşleri Etüt (EİE) ün yapmış olduğu çalışmalar kapsamında enerji verimliliği için binalarda %30, endüstriyel sanayide %20 ve son olarak ulaşım sektörlerinde %15 enerji tasarrufu sağlandığı bilinmektedir. Enerji verimliliği günlük hayatımızda kullanmış olduğumuz enerji olarak ulaşım, ısı, aydınlatma gibi alanlarda enerjiyi verimli ve dikkatli kullanmamız ile aile bütçesine ve özellikle ülke ekonomisine çok büyük katkılar sağlanamaz enerji verimliliği ile mümkün olmaktadır [14].

1.3.2 ENERJİ YOĞUNLUĞU

Enerjinin verimli kullanımının sağlanmasındaki temel parametre (gösterge) enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu, enerjinin tüketimi (tep, joule) ile finansal bir göstergenin (GSYİH, Katma Değer gibi) oranı olarak kabul edilmektedir. Enerji

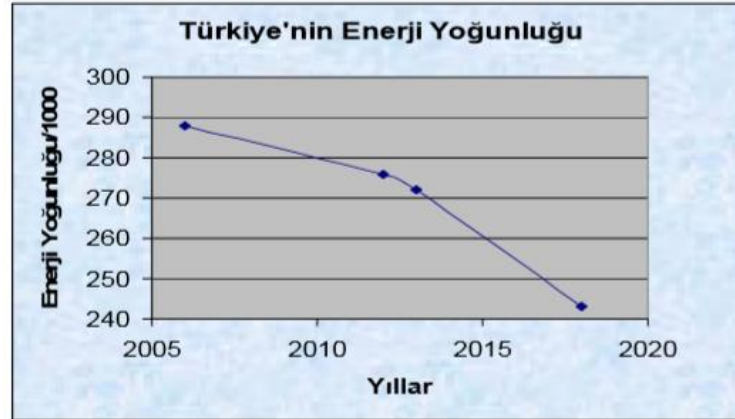
yoğunluğu; teknik veya fiziksel olan bir göstergenin (özgül enerji tüketimi gibi), bir aktivitenin verimlilik düzeyini izah edemediği durumlarda enerji verimliliğinin bir göstergesi olarak bilinmekte ve kullanılmaktadır [21]. Enerji yoğunluğu göstergesi ekonomik sonuç, enerji verimliliğindeki düşüş veya yükseliş, yakıtların depolamasındaki değişimleri ile birlikte ifade edilmektedir (değişimlerin tek tek bu gösterge içinde ayırt edilmesi mümkün değildir). Bununla beraber enerji yoğunluğu, dünyada enerji verimliliğinin izlenmesinde ve kıyaslanmasında yoğun bir şekilde kullanılan bir araçtır. Enerji tüketiminin GSYH'ya oranlanması sonucu ortaya çıkan değer birincil enerji yoğunluğu, nihai enerji tüketiminin GSYH'ya oranlanması sonucu ortaya çıkan değer ise nihai enerji yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır. Birincil enerji yoğunluğu bölgeler ve ülkeler yönünden bir birim GSYİH oluşturabilmek için ne kadar enerji gerektiğini belirleyen bir göstergedir. Konusu geçen göstergenin seviyesi ülkelerin veya bölgelerin ekonomik niteliklerini, enerji tüketim niteliklerini, iklim koşullarını ve teknik enerji verimliliklerini göstermektedir. Enerji yoğunluğu eğilimi, ekonomi ve sanayideki yapısal değişikliklerden, enerji tüketim yapısındaki değişimlerden ve nihai kullanıcıların kullandıkları ekipman ve bina sektöründeki verimliliklerden direkt etkilenmektedir. Genel olarak incelendiğinde güvenilir bir gösterge olarak kabul edilmekle birlikte, kayıt dışı ekonomi oranlarının yüksek seviyede olduğu az gelişmiş üçüncü dünya ülkelerinde ve gelişmekte olan ülkelere enerji yoğunluğu analizleri yapılması konusunda daha titiz olunması gerekmektedir. Sanayi kuruluşlarında enerji yoğunluğunun düşürülmesi; enerji verimliliğindeki iyileştirme çalışmaları ile birlikte yapısal değişikliklerin de oluşturulması ile ilgilidir. Bu noktada asıl üzerinde durulması gereken, belirlenmiş asıl ve yan hedeflere yönelik yoğunluğu, değerinin düzenli olarak düşüşü sağlanması için programlanmalıdır. Aksi takdirde enerji tüketimi arttıkça ekonomi daha da enerji yoğun hale gelecektir. Türkiye'de 2008-2016 yılları arasında, birincil enerji yoğunluğu nihai enerji yoğunluğuna nazaran hızlı bir düşüş sergilemiştir (Tablo 1.2). Bahsi geçen bu periyotta doğalgaz çevrim santrallerinin ve rüzgâr enerjisinin elektrik üretiminde yüksek paya sahip olması neticesinde enerji üretiminde verimlilik artışı sağlanmıştır [22]. Enerji verimliliği kavramı ile enerji yoğunluğu kavramı arasında ters orantı mevcuttur. Diğer bir ifade ile bir ülkede veya bir sektörde hesaplanan enerji yoğunluğu ne kadar düşükse, enerji verimliliği o kadar yüksektir. Genel olarak enerji yoğunluğu, ekonominin ilk

kalkınma aşamalarında artmakta, ancak gelişmiş ekonomilerde bu oran azalma eğilimindedir [23].

	2000-2008	2008-2016	2000-2016	2015-2016
Birincil Enerji Yoğunluğu	-1,2%	-1,6%	-1,4%	2,6%
Nihai Enerji Yoğunluğu	-1,3%	-1,5%	-1,4%	1,1%

Tablo 1.2 Birincil ve Nihai Enerji Yoğunluğunun Yıllık Ortalama Artış-Azalış Oranı (kaynak YEGM) [22]

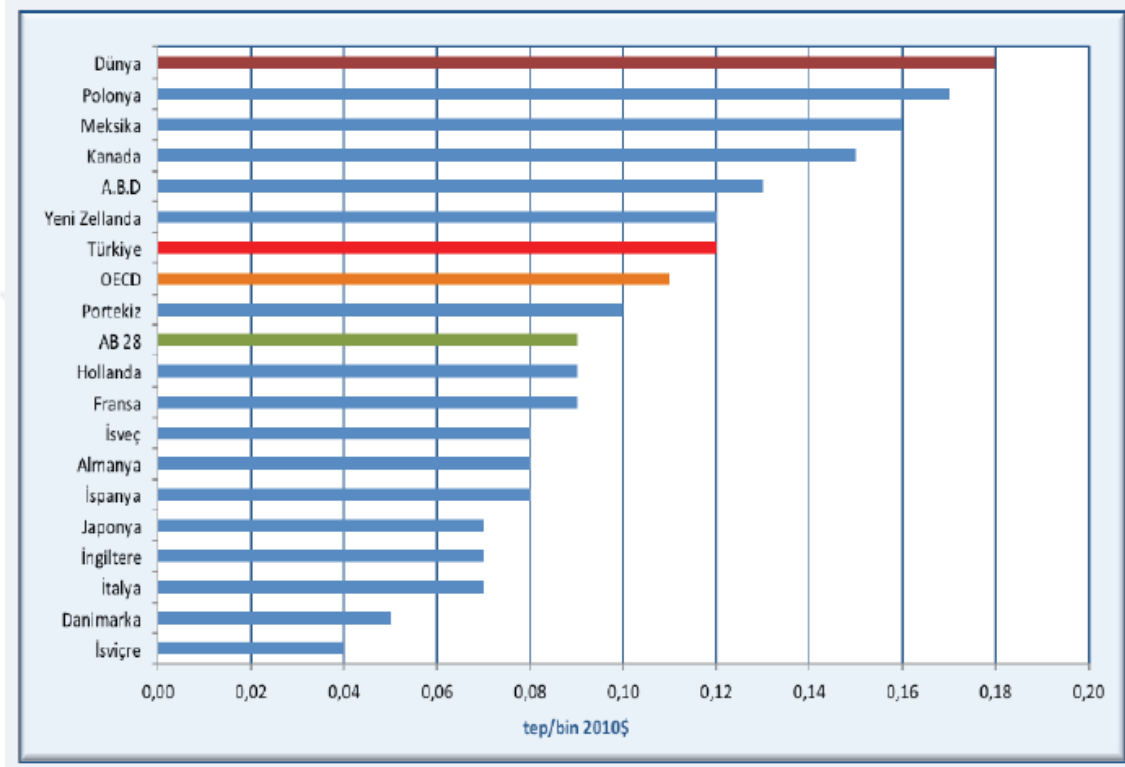
Bir ülkenin kalkınmışlık seviyesi, kişi başına enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu göstergeleri ile ifade edilebilmektedir. Kişi başına enerji tüketiminin yüksek seviyelerde olması hem ülkede ekonominin canlandığına hem de ulaşım araçları ile elektrikli aletlerin yoğun kullanıldığına ve yüksek konforlu barınma olanaklarının arttığına işaret eder. Öyleyse bir ülkede enerji bakımından kalkınmışlığının göstergesi, kişi başına enerji tüketiminin yüksek, enerji yoğunluğunun da düşük olmasıdır. Türkiye'nin enerji yoğunluğu ve Onuncu Kalkınma Planı'nda yıllara göre Şekil 1.3'deki gibi gerçekleşeceği beklenmektedir [24].



Şekil 1.3 Türkiye'nin Enerji Yoğunluğu

Birincil enerji yoğunluğu dünya ortalaması 0,18 kep/2010\$'dır. OECD ve AB-28 ülkelerinin ortalaması ise 0,11 ve 0,09 kep/2010\$'dır (Şekil 1.4). Bu duruma göre Türkiye birincil enerji yoğunluğunun dünya genel ortalamasından daha iyi bir düzeyde olduğu ve OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development)

ülkelerinin genel ortalamasına da hayli yakın bir seviyede bulunduğu gözlenmektedir. AB-28 ülkelerinin ortalaması ile oranlandığında ise Türkiye'nin birincil enerji yoğunluğu seviyesi yüksek kalmaktadır.



Şekil 1.4 Ülkelerin Birincil Enerji Yoğunlukları (2015)

25.02.2012 tarihli ve 28215 sayı ile Resmi Gazetede yayımlanan, 20.2.2012 tarihli ve 2012 \1 karar numarası ile “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı” yönetiminde kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımları ile düzenlenen ekli “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023” kabulüne, karar verilmiştir. Bu belge ile sonuç merkezli ve somut hedeflerle güçlendirilmiş bir politika seti oluşturulmasına ve hedeflere ulaşmak için yapılması şart olan eylemlerin, bu eylemlerin yerine getirilmesinden sorumlu kuruluşlarla birlikte tanımlanması; kamu kesimi, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımcı bir yaklaşımla ve iş birliği çerçevesinde hareket etmesinin sağlanması planlanmıştır.

1.4 ENERJİ TASARRUFU TANIMI VE EKONOMİK FAYDALARI

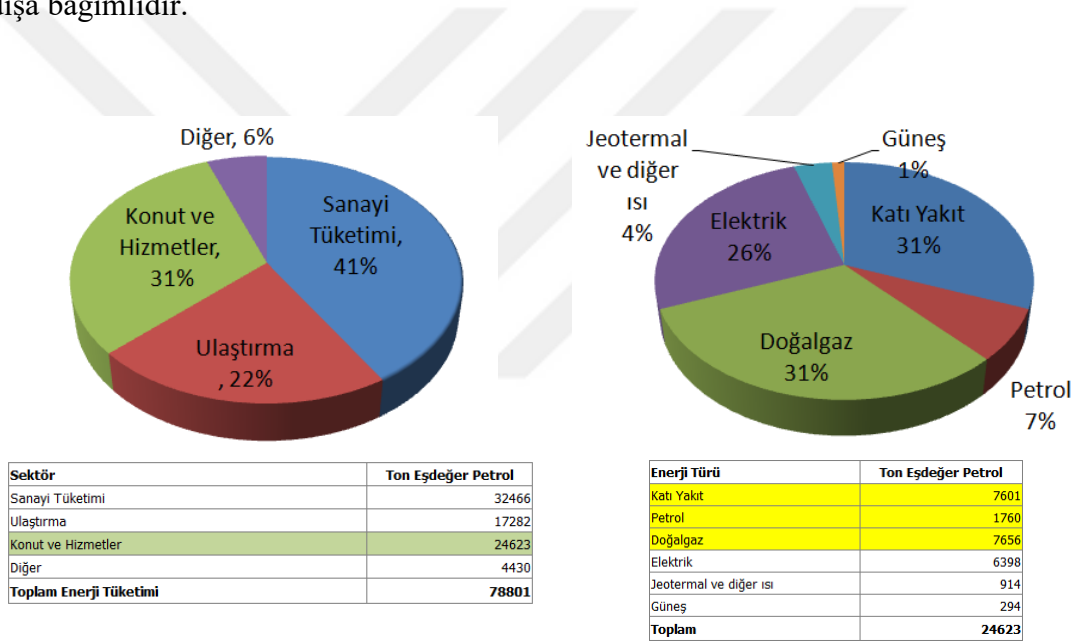
Enerji tasarrufu enerji verimliliği üzerindeki değinilmesi gereken en önemli faktördür, enerji tüketiminin optimum düzeyde gerçekleştirilmesi olarak değerlendirilir ve bu kapsama enerji atıklarının değerlendirilmesi, enerji kayıplarının önlenmesi gibi kavramlarda dahil edilmektedir. Enerji tasarrufu ve enerji verimliliği farklı terim ifadeler olmasına karşılık kavramsal olarak yakın ilişki içindedirler. Enerji tasarrufu az enerji kullanma süreçlerini içerirken, enerji verimliliği teknolojik herhangi bir fonksiyon ya da bir süreç, bir önceki duruma göre, daha az enerjiyle gerçekleştirilebilme fonksiyonlarını içermektedir. Bu sebeptendir ki enerji tasarrufu, üretkenliğin artışı veya teknolojik ilerlemeler gibi, bazı proses veya gelişmelerin sonucunda oluşur. Öte yandan enerji verimliliği, çıktıyı, tüketimi veya konfor düzeylerini etkilemeden, belirli bir ürün, proses veya üretim alanındaki enerji yoğunluğunun düşürülmesiyle oluşur [2].

Enerji tasarrufu ana fikrinde daha az enerji harcamayı kriter almaktadır ve açıktır ki enerji tasarrufu yapıldığında enerji verimliliği de artırılmış olur. İnsanların yaşamları boyunca kullandıkları tüm enerji kaynakları tükenen cinstendir, bilinçsiz ve aşırı tüketildiğinde ise daha sonraki yıllarda gerek kaynakların tükenmesi ve gerekse de çevresel zararlı etkilerinin ortaya çıkması gibi büyük sorunlara sebep olacaktır. Günümüz güncel enerji kaynaklarından olan yenilenebilir güneş ve rüzgâr gibi kaynakların kullanımları ise ekonomik maliyetleri sebebi ile yeterli değildir. Hazır kaynakların kullanılması daha az maliyet gerektirdiğinden, daha caziptir.

Günlük hayatta enerji tüketiminin önemli bir kısmının yaşam alanlarında (ev, büro, okul, vb.) yapıldığı düşünülürse yaşam şeklimizdeki küçük farklar oluşturarak yapacağımız enerji tasarrufunun ülke ekonomisi açısından ne kadar büyük kazançlar doğuracağı ortadadır. Enerji tasarrufunun görünen en önemli faydaları; kaynak tüketimini azaltarak, doğaya ve ekolojiye katkı sağlayıp, ülkenin enerji ihtiyacını ve dışa bağımlılığını azaltarak da ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. Sadece evlerde değil, iş yerlerinde, ulaşımda ve sanayide de bu tedbirler uygulanarak enerji tasarrufu sağlanabilir. Sonuçta enerji tasarrufuyla ek kaynak kullanılmadığından çevre de korunmuş olacaktır.

1.5 BİNALARDA ISI YALITIMI KAVRAMINA ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÇERÇEVESİNDEN BAKILMASI

Enerji tüketiminin artışı beraberinde ülke ekonomisine yük, insan ve çevre sağlığına ciddi anlamda zararları da getirmektedir. Bu açıdan bakıldığında insan geleceğinin üzerindeki bu ipoteği kaldırmak veya yükünü hafifletmek için enerji tüketimi ile ilgili tedbirlerin alınma zorunluluğu kaçınılmazdır. Binalarda ısı yalıtımı uygulamaları ile binalardaki ısı kayıplarının dolayısı ile enerji israfın oluşması engellenebilmektedir. Şekil 1.5.a'daki grafik incelendiğinde Türkiye'de binalarda kullanılan enerji, toplam enerjinin içinde %31'e yakın bir payı oluşturmaktadır. Türkiye enerjide yaklaşık %75 dışa bağımlıdır.



Şekil 1.5.a Türkiye Enerji Tüketim Oranları [25]

Şekil 1.5.b Binalarda Enerji Tüketim Dağılımı [25]

Şekil 1.5.b'deki grafik incelendiğinde ise konut ve hizmet sektörlerinde kullanılan katı yakıt, petrol ve doğalgaz büyük çoğunlukla ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Isıtma ve soğutmada elektrikte kullanılmaktadır. Bu grafiğe göre Türkiye Toplam Enerji Tüketiminde Konutlarda doğalgaz tüketimi toplam enerji tüketiminin %9'dur. Ayrıca konut ve hizmetler sektöründe katı yakıt, petrol ve doğalgaz enerji tüketimi toplam ülke enerjisi tüketiminin %21,6 sını oluşturmaktadır.

Doğru bir ısı yalıtımı yapıldığında %50 enerji verimi elde edilmesiyle çok yüksek oranlarda enerji tasarrufu yapılabilmektedir [26]. Enerjide yüksek oranlarda dışı bağımlı olan Türkiye'nin bu konudaki önceliği tasarruf ve enerjinin etkin kullanımı olmalıdır. Binalarda kullanılacak farklı teknikler ve alınacak farklı önlemler ile büyük miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabileceği, bu yüzden enerji verimliliğini iyileştirebileceği bugüne kadarki birçok uygulamada görülmüştür.

Dünya üzerinde enerji verimliliği konusuna bağlı olarak geliştirilen politikalarda ısı yalıtımı (sıcak/soğuk) en önemli dilimi oluşturmaktadır. Türkiye binalara uygun ısı yalıtımı uygulanması ile Türkiye'nin genel enerji faturasını yaklaşık %10'a indirmek mümkündür. Sadece düzgün ısı yalıtımı ile sağlanacak böyle ek bir tasarrufa, sanayi, ulaşım, tarım veya diğer birçok sektörler de dahil olmak üzere, aynı yatırım maliyeti ve amortismanına sahip diğer bir yöntem ile ulaşmanın çok zor olduğu ifade edilmektedir[27]. Konutlarda enerji verimliliği için ısı yalıtımı çerçevesinde alınabilecek önlemler; dış cephe, iç cephe ısı yalıtımının yapılması, ısı köprülerinin oluşmasının önlenmesi, pencerelerde meydana gelen ısı kayıplarının engellenmesi, ortamların dış hava ile bağlantısının azaltılması, gölgeliklerin kullanılması, bina girişlerinde çift kapı kullanılması olarak sıralanabilir [28]. Isı yalıtım uygulamasını etkin bir biçimde gerçekleştirmek meteorolojik (hava sıcaklığı, rüzgâr ve nem) iklimsel özellikleri, coğrafi özellikler (yer alınan bölgenin konumu ve deniz seviyesinden yüksekliği) ve ayrıca bina cephesinin konumu (güneşe bağlı olarak geçirgenlik ve yansıtma gibi) yapı özellikleri dikkate alınmalıdır [29] (Isı Yalıtım Uygulama Kılavuzu, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı).

Türkiye de ısı yalıtımının gelişim süreci; Türkiye ısı yalıtımı ile ilgili ilk resmi çalışmalar 1970 senesinde “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” ve 1981 senesinde “Isı Yalıtım Yönetmeliği” ile yürürlüğe girmesi ile başlamıştır. Daha sonra “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı üzerinde düzenleme çalışmaları yapılmaya başlanmış ve 1998 senesinde onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Yalıtımsız binaların çokluğu ve bilinçsizce yapılan yalıtımlar göz önünde bulundurularak bugünkü çalışmaların temelini oluşturan “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği” 2000 yılında çıkartılmıştır. Bu yönetmelik ile yeni yapılacak binalarda enerji performansının, ısı yalıtımı açısından iyileştirilmesi hedeflenmiştir ve binalarda ısı yalıtımı zorunlu hale getirilmiştir. Ayrıca bu yönetmeliğe göre yeni yapılar zorunlu ısı yalıtımı uygulamasını

gerçekleştirip, eski binalarda 02.05.2017 tarihine kadar enerji kimlik belgesini almak zorunlu hale getirilmiştir (Binalarda Enerji Kimlik Belgesinin (EKB) aranması şartı 01.01.2020 tarihine ertelenmiştir).

Konutlara uyguladığımız ısı yalıtımının yaşam kalitesine ve bina sakinlerine faydaları ise;

- Dört mevsim süresince doğru yalıtım yaparak soğuk ve sıcaklığı iletmeyecek etkili performans için ısı yalıtımı gerçekleştirilmelidir.
- Doğru yalıtım planlanması ile %40 ile %60 oranında ısıtma ve soğutma açısından tasarruf sağlanabilir.
- Üç yıl gibi kısa bir süre içerisinde masrafını amorti edip ilerleyen yıllarda ekonomik olarak kazanç sağlamak için ısı yalıtımı gerçekleştirilmelidir.
- Isı yalıtımı uygulamaları sayesinde binalarda özellikle dış cephelerdeki korozyonu engellenerek daha sağlıklı bir yaşam ortamı sağlanabilir.
- Isı yalıtımıyla binalarda her alanda konfor sağlayarak ve binayı olumsuz dış hava koşullarından koruyarak bakım ve onarım masraflarını azaltılmasını sağlar.
- Isı yalıtım uygulamaları ile kömür, petrol türevli ve doğalgaz gibi fosil yakıtların tüketimi düşürülerek gelecek nesiller için daha temiz bir çevre sağlanabilir.

şeklinde sıralanabilir.

1.6 ENERJİ VERİMLİLİĞİ POLİTİKALARI VE KANUNLARI

Türkiye uzun yıllardır enerji açığını ithal kaynaklarla gidermeye çalışmaktadır ve bu durumun önüne geçmek için, kendi enerji kaynaklarını sağlamak ve enerjide arz güvenliğini kabul edilir oranlara çekmek için farklı ve güvenilir politikalar geliştirmek zorundadır. Bu sebeple aşağıda belirtilen yasal mevzuatlara başvurmuştur.

Enerji verimliliğinde hedeflenen gelişime ulaşmak için, 02.05.2007 tarihinde yürürlüğe giren 5627 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu (EVK)” çıkarılmıştır. Bu kanun kapsamında, enerji verimliliği alanında üniversitelere, meslek kuruluşlarına, sivil toplum örgütlerine ve enerji danışmanlık şirketlerine çeşitli yetkiler verilmektedir. Bununla

birlikte, daha çok elektrik tüketen işletmeler enerji yönetimi bölümleri oluşturmakla yükümlü kılınmıştır. Ayrıca, çeşitli şartlara göre işletmelere, enerji kalite belgesi verilecektir. Bu kanun beraberinde benzeri birçok tedbir planlanarak, milli gelir başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğu) yaklaşık %15 oranında azaltılması planlanmaktadır (5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu, T.C. Resmî Gazete, Sayı: 26510, Tarih: 02.05.2007). Bu kanun; binalarda, sanayi işletmelerinde ve ulaşım sektöründe verimliliğinin artırılmasına yönelik tedbirleri de sunmaktadır.

1.6.1 BİNALARDA ENERJİ PERFORMANS YÖNETMELİĞİ (BEP)

BEP yönetmeliği; konutları, ticari amaçla ve hizmet amaçlı kullanılan yapıları kapsamaktadır. Bir dizi önlem paketi kullanarak binalarda enerji verimliliği artırmanın yöntemlerini aramaktadır. Bu yönetmelik çerçevesinde göz önünde bulundurulması gereken hususlar; mekanik tesisat, mimari tasarım, otomasyon, ısı yalıtımı, aydınlatma, ısıtma/soğutma, yenilenebilir enerji kullanımı, kojenerasyon sistemleri olarak sıralanabilir. 05.12.2008 tarihinde çıkarılan Enerji Performans Yönetmeliğinin amacı;

- Binaların bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesi,
- Birincil enerji ve karbondioksit emisyonu açısından sınıflandırmasını,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini,
- Sera gazı emisyonlarının sınıflandırılması ve çevrenin korunması.

Kapsamı ise;

- 200 m²'nin üzerinde kullanım alanı olan binalarda, elektrik, ısı ve sıcak su ihtiyacının kojenerasyon sistemi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretiminin ekonomikliğinin araştırılması,
- Bilinçlendirme ve eğitim faaliyetleri,
- Mevcut ve yeni yapılacak binaların performans kriterlerine uygunluğunun belirlenerek enerji kimlik belgesinin hazırlanmasıdır.

1.6.2 ENERJİ KİMLİK BELGESİ (EKB)

Binalarda enerji performansı yönetmeliğine göre 01.01.2011 tarihinden itibaren halen mevcut ve yeni yapılan binaların enerji kimlik belgesi (EKB) zorunluluğu vardır. Bu belge ile ;

- Asgari olarak binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, yalıtım özellikleri ve ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinin verimi ile ilgili bilgileri içerir,
- Enerji kimlik belgesi vermeye yetkili kuruluş tarafından hazırlanır ve ilgili idarece onaylanır,
- Bu belge, yeni binalar için yapı kullanma izin belgesinin ayrılmaz bir parçası olacaktır,
- Toplam kullanım alanı 1.000 m² ve üzerinde olan mevcut binalar ve işletmeye alınan yeni binalar için düzenlenir,
- Yeni inşa edilen binaların enerji performansının EKB sınıfı minimum C olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir
- EKB geçerlilik süresi 10 yıldır.

Enerji kimlik belgesinde;

- Bir binanın enerji performansının belirlenmesi,
- Binanın m² başına düşen yıllık enerji tüketiminin belirlenmesi,
- Bu değere göre CO₂ salınımının hesaplanması,
- Bu değerlerin referans bir binanın ki ile kıyaslanması.

Kıyaslama sonucuna göre binanın A-G arası bir enerji sınıfına yerleştirilmesi ile gerçekleşir. Tablo da m² başına düşmesi gereken değerler verilmiştir [30].

Bina Enerji Sınıfı	Enerji Sınıfı Endeksi (EP)
A	0-39
B	40-79
C	80-99
D	100-119
E	120-139
F	140-174
G	≥175

Tablo 1.3 Enerji Sınıfı ve Değerleri (İzolasyon Dünyası Dergisi, 2010)

Şekil 1.6'da gösterilen enerji kimlik belgesine göre, tüketim değerleri ve emisyon değerleri incelenerek bina için A sınıfı ile G sınıfı arasında bir kimlik tanımlanacaktır. A sınıfı, en verimli bina çeşidi olurken G sınıfı en düşük verimin elde

edildiği bina tipi olmaktadır (Tablo 1.3) [19]. Bina enerji kimliğinde mevcut bir binanın enerji sınıfının en az C olması beklenmektedir.

Şekil 1-6 Bina Enerji Kimlik Belgesi

Binaya ait enerji kimlik belgesinde binanın aylık ve yıllık bazda ne miktarda enerji tükettiği ($\text{kw/h-m}^2/\text{yıl}$) binanın bir yılda ürettiği sera gazı miktarı ($\text{CO}_2/\text{kg-m}^2$) belirtilir. Yani binanın havayı ne kadar kirlettiğini göstermektedir. Enerji Verimliliği Kanunu gereği binalarda enerji kimlik belgesi mevcut binalar için 2020 yılı Ocak ayına kadar, yeni binalarda ise Ruhsat Başvurusu ile beraber alınması zorunluluğu mevcuttur.

1.7 LİTERATÜR TARAMASI

Binalarda duvarlarda oluşan ısı kayıplarının azaltılmasındaki temel kavramlardan olan, en iyi yalıtım kalınlığının belirlenmesiyle ilgili olarak literatürde ulusal ve uluslararası birçok çalışma mevcuttur. Türkiye’de birçok il için yalıtım kalınlığıyla ilgili farklı çalışmalar yapılmış ve birçok farklı modeller önerilmiştir. Yapılan çalışmaların çoğunda derece gün yöntemi ve ömür maliyet analizi başta olmak üzere

sayısal yöntemler kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunda ısı kayıplarının belirgin olduğu bölgelerde noktasal değerler üzerinde durulmakta ve histogram sıcaklık dağılımları kullanılmaktadır. Bu çalışmada, farklı ısı yalıtım malzemelerinin deneysel incelemeleri ve sayısal modelleme yapılarak elde edilen veriler üzerinde hibrit bir model olan ANFIS ile makine öğrenmesi modelinin kurgulanması ve bu model ile inşa edilecek yapılar için bir karar destek yapısı oluşturulmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu aşamalarda çalışan bilim adamları ve akademisyenler için var olan enerjiyi daha verimli kılmanın yollarını araştırmaktadır. Bu araştırmalarda ısı yalıtımı konusunda yoğunlaşmakta ve verimin nasıl arttırılacağı tartışılmaktadır. Yapılan çalışmada binalarda ısı yalıtımı ve optimum yalıtım kalınlığı üzerinde durulmaktadır ve ömür maliyet analizi ve sayısal yöntemlerden farklı olarak sezgisel yöntemler kullanılarak problem için farklı bir öneri sunulmaktadır.

Türkiye’de enerji verimliliği ve ısı yalıtımı kavramları üzerine birçok TEZ çalışması yapılmıştır. Tablo 1.4’ de bu çalışmaların özet bir listesi görülmektedir. Bu tez çalışmaları son on yıl içerisinde farklı akademik bilim alanlarında gerçekleştirilmiş ve bu bilim alanlarının kapsamı dahilinde problemlere yaklaşımlar veya bilgi birikimleri oluşturmayı hedeflemişlerdir.

Özel ve Pıhtılı, binalarda duvarlara gerçekleştirilen yalıtımın farklı konumlarının ısı kazanç ve kayıplarına etkisini sayısal olarak sonlu farklar yöntemi ile çözümlenmişlerdir. 6 cm kalınlığa sahip yalıtım malzemesini duvara 5 farklı şekilde monte ederek; yaz ve kış aylarında, ısı kayıp ve kazançları açısından en iyi konumlandırma durumunu tespit etmeye çalışmışlardır. Farklı konumlandırmaların etkilerini inceleyerek en iyi ve kötü durumların tespiti üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca, yalıtımı bir bütün olarak dış yüzeyde yerleştirme durumunun ortada ve iç yüzeyde yerleştirme durumuna göre daha iyi olduğunu da göstermişlerdir [31].

Gölcü vd. Denizli ili için; yapıların ısıtılmasında iki değişik enerji kaynağı kullanarak ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılarak dış cephede optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaya çalışmışlardır. Hesaplamalarda ömür maliyet analizi (LCCA) kullanmışlardır. Farklı kaynaklar için farklı maliyetler ve yıl olarak ömür süreleri belirlemişlerdir [32].

Yazar	Tez Başlığı	Tez Türü	Yılı	Üniversitesi
Orhan Topal	Binalarda Enerji Verimliliği	Yüksek Lisans	2009	Yıldız Teknik Üniversitesi
Murat Can YAMAN	Bir Üniversite Binasının Enerji Verimliliği: İYTE İdari Bina'nın Enerji Performansının Belirlenmesi	Yüksek Lisans	2009	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Mustafa ERDABAK	Binalarda Isı Yalıtımındaki Eksikliklerin Enerji Tasarufuna Olan Etkilerinin Uygulamalı Olarak Araştırılması	Yüksek Lisans	2010	Cumhuriyet Üniversitesi
Koray KARABULUT	Yapı elemanlarındaki ısı kayıplarının sayısal olarak incelenmesi	Yüksek Lisans	2010	Cumhuriyet Üniversitesi
Bülent BALOĞLU	Trakya Bölgesinde Enerji Verimliliğine Yönelik Bina Tasarımı Çorlu Örneği	Yüksek Lisans	2011	Namık Kemal Üniversitesi
Ferhat KILINÇ	Sivas için farklı yalıtım malzemelerinin ısı kaybına olan etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenme	Yüksek Lisans	2011	Cumhuriyet Üniversitesi
Arzu YILMAZ	Apartmanların Dış Kabuğuna Uygulanan Isı Yalıtımının Bina Enerji Performansına Etkisi (Konya Ve Erzincan Örneği)	Yüksek Lisans	2012	Selçuk Üniversitesi
Anıl KILIÇLI	Binalarda Enerji Verimliliği: UBE Binası Örneği	Yüksek Lisans	2012	Ege Üniversitesi
Onur ÖZUTKU	Binalarda Isı Yalıtımı Yoluyla Enerji Tasarufu MKÜ Mühendislik Fakültesi Binası Örneği	Yüksek Lisans	2012	Mustafa Kemal Üniversitesi
Nurten CEYLAN	Türkiye'de Konut Dış Duvar Sistemlerinde Gerçekleştirilen Isı Yalıtım Uygulamalarının Üretim Ve Yapım Süreçlerinin Çevresel Değerlendirmesi	Yüksek Lisans	2012	İstanbul Teknik Üniversitesi
İbrahim Hakkı ÖZİÇ	Binalarda Isı Yalıtımı Üzerine Deneysel Bir Çalışma	Yüksek Lisans	2013	Pamukkale Üniversitesi
Selnta CHASAN	Dış Cephe Bitirme Sistemlerinde Isı Yalıtımının Sıcaklık Ve Nem Performansına Etkisinin İncelenmesi	Yüksek Lisans	2013	Trakya Üniversitesi
İlker FIRAT	Erzincan İlindeki Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları Ve Isı Yalıtımının Enerji Tasarufuna Etkisinin Ekonomik Analizi	Yüksek Lisans	2013	Atatürk Üniversitesi
Murat KOCAGÜL	Isı Yalıtımında İdeal Yalıtım Malzemesi Kullanılmasının Deneysel Araştırılması	Yüksek Lisans	2013	Fırat Üniversitesi
Günay ÖZDEMİR	Konut Dışı Binalarda Enerji Verimliliği Ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullan	Yüksek Lisans	2013	İstanbul Teknik Üniversitesi
H. Aktan TOYGARLAR	Endüstriyel Tesiste Enerji Verimliliği Üzerine Bir Çalışma	Yüksek Lisans	2014	Dokuz Eylül Üniversitesi
Berkem ÖZ	Enerji Verimliliği Kriterlerine Göre Otel Tasarımı Ve Enerji Modellemesi	Yüksek Lisans	2015	İstanbul Teknik Üniversitesi
İrfan İPLİK	Konutlarda Kullanılan Yapı Malzemelerinin Enerji Verimliliği Ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi	Yüksek Lisans	2015	Gazi Üniversitesi
Faruk ANIL	Kentsel Dönüşümü Bir Fırsat Kabul Ederek Binalarda Isı Yalıtımının Faydalarının Araştırılması	Yüksek Lisans	2015	İstanbul Zaim Üniversitesi
Mehmet TÜRKMEN	Bina Kabuğunda Isı Yalıtım Uygulamalarının Yapısal Performansı Ve Etkinliğinin İstanbul'da Bir Alan Çalışması İle İncelenmesi	Yüksek Lisans	2016	İstanbul Teknik Üniversitesi
Mehmet BAHADIR	Diyarbakır İlindeki Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Tekno-Ekonomik Analizi	Yüksek Lisans	2016	Harran Üniversitesi
Sinan MERAL	Binalarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından çatı elemanının malzeme ve yapım olarak incelenmesi	Yüksek Lisans	2017	Trakya Üniversitesi
Özgür BAYATA	Binalarda Enerji Verimliliği Optimizasyonu İçin Çok Amaçlı Bir Model Geliştirilmesi Ve Uygulama	Doktora	2017	Gazi Üniversitesi
Erge BOSTANCI	Yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna olan etkilerinin deneysel ve sayısal incelenmesi	Yüksek Lisans	2017	Cumhuriyet Üniversitesi

Tablo 1.4 Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Isı Yalıtım Konularında Yapılan Tez Çalışmaları [34]

Karabulut, ısı köprüleri hakkında en genel bilgileri vererek, kirişlerde meydana gelen ısı köprüleri üzerinde değişik geometrilerin, dış ve iç ortam sıcaklığının ve yalıtım kalınlığının, sıcaklık dağılımına olan etkilerini incelemiş ve iç ve dış yüzey sıcaklık ve ısı akılarının değişimini karşılaştırmıştır [33].

Erdabak, Sivas ilinde farklı konumlardaki binaların iç ve dış ortamlarında, termal kamera görüntüleri alarak, bu binalarda ısı kaybının gerçekleşebileceği kritik noktalar üzerinde durmuştur. Kaydettiği görüntülerin bilgisayar ortamında analizlerini gerçekleştirmiş ve sonucunda yüzey sıcaklık haritalarını elde etmiştir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında; düzlem duvar, ısı köprüsü, lokal ve radyatör arkası yalıtımın, dolgu malzemesinin, pencerenin sıcaklık dağılımına etkisi sayısal olarak incelenmiştir [35].

Buyruk vd. Sivas şehir merkezindeki binalar için; kolon, kiriş, duvar köşeleri ve pencereler gibi farklı yapı birimlerinde oluşan ısı köprülerini incelemişlerdir. Çalışmanın deneysel olan bölümünde termal kamera görüntüleme ile sayısal kısmını ise Fluent uygulama programıyla gerçekleştirmişlerdir. Farklı yalıtım kalınlıkları için dıştan uygulanan yalıtım modellerini incelemişler ve uygun yalıtım kalınlığını araştırmışlardır [36].

Buyruk vd. çalışmalarında değişik yalıtım kalınlıklarını dıştan yalıtım ve sandviç duvar tipi yalıtım uygulaması için incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı iç ve dış ortam durumlarında farklı yalıtım uygulamalarının dış yüzey sıcaklıklarını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Sandviç duvar tip uygulamasında belirgin olarak ısı köprülerinin ortaya çıktığını, dıştan yalıtım uygulaması ile bu durumun önlendiği sonucunu elde etmişlerdir [37].

Bayer gerçekleştirdiği çalışmada, bir yapı inşaatı projesinde, “TS 825 Isı Yalıtım Kuralları” na elverişli değişik türde ısı yalıtım malzemeleri kullanarak dış cepheden ısı yalıtım sistemi gerçekleştirmiştir. Başlangıçta “TS 825 Isı Yalıtım Kuralları” na göre hali hazırdaki binanın ısı yalıtımı olmayan durumundaki yıllık ısıtma enerjisi gereksinimini ve yapının özgül ısı kaybı hesabını yapmıştır. Bu bağlamda gerçekleştirdiği çalışmalarda dış cephe duvarda dıştan ısı yalıtım sistemi daha elverişli görülmüş ve ısı yalıtım malzemesi olarak ekspande polistren, ekstrüde polistren ve taş yünü yalıtım malzemesi olarak tercih etmiştir. Bununla beraber dolgu duvarlara gaz beton denenerek kolon kirişler

dış cepheden ekspande polistren ile yalıtım çözümlerini geliştirmiştir, bu çözümlerin maliyetleri ve olumlu yönlerini incelemiştir. Yapılan çalışma neticesinde ısı yalıtımında kullanılan malzemelerin standartlara uygun olması, kullanılan ayrıntılara göre malzemelerin tercihi, ısı yalıtım malzemelerinin en düşük kalınlık belirlemelerinin doğru yapılması, yalıtımın performansı, yapı sağlığı ve yalıtım maliyeti bakımından büyük önem oluşturduğunu tespit etmiştir [38].

Candan gerçekleştirdiği çalışma ile örnek bir yapı inşaatı projesinde farklı seçeneklerde ısı yalıtım malzemelerini farklı yöntemler kullanarak TS-825 ısı yalıtım kurallarına göre hesaplamalar gerçekleştirmiştir. Birinci olarak, daha net karşılaştırma yapabilmek için binanın yalıtım yapılmamış halindeki hesaplamaları yapılarak enerji gereksinimleri ve özgül ısı kayıplarını hesaplanmıştır. Isı yalıtım sistemleri arasındaki olumlu benzerliklerin daha iyi anlaşılması için bina ekspande polistren ve ekstrüde polistren malzemeleri ile ayrı ayrı iç cepheden, sandviç ve dış cepheden olmak üzere üç değişik yöntem ile yalıtılarak aralarındaki ekonomik karşılaştırmaları yapmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde elde edilen senelik ısıtma enerjisi ve bina özgül ısı kaybı değerlerini kıyasladığında binalarda ısı kayıplarının çok olduğu dış cephe duvarın ısı yalıtımı ile ısı enerjisi tüketiminde ortalama %40, binanın özgül ısı kaybında ise ortalama %57 düşüş sağlandığını belirlemiştir [39].

İlgin gerçekleştirdiği çalışmada, değişik yalıtım konumlarındaki duvar yapılarının kalınlıkları boyunca oluşan yoğuşma olayını “TS 825 Standartları” esas alınarak MATLAB uygulama programında GUI araç kutusu ile incelemiştir. Bu çalışmayı yapmak için, yalıtım malzemesinin net kalınlığı aynı olacak biçimde; tek tabaka, iki eşit tabaka ve üç eşit tabaka şeklinde duvarın içine değişik konumlara yerleştirilerek her bir yalıtım şartı için yoğuşma ve buhar geçişini araştırmıştır. Duvar modelinde yoğuşan su yıl içerisinde tamamen buharlaşmadığı için standart duvar yapısı olmadığını ortaya koymuştur [40].

Kaynaklı ve Yaman Karadeniz gerçekleştirdikleri çalışma ile bir bölgenin gün-derece sayısının hesaplanmasına ve dış cephe duvarlara uygulanacak yalıtım kalınlığının tespitine yönelik olarak bir akış sunmuşlardır. Birinci olarak günlük dış hava sıcaklığından faydalanarak gün-derece değeri ve yıllık ısıtma enerji ihtiyacını hesaplamışlardır. Yakıt olarak doğalgaz tercih edildiği durumda yıllık yakıt maliyetlerini

farklı yalıtım uygulamaları için hesaplamışlardır. Yakıt maliyetlerine yalıtım maliyetleri de ilave ederek ısınma için toplam maliyeti hesaplamışlardır. Sonrasında, faiz ve enflasyon oranları gibi ekonomik değerlerinin de dikkate alındığı ömür maliyet analizleri ile yıllık yakıt giderinin o günkü değerlerini hesaplamışlardır. Değişik yalıtım kalınlıkları için maliyet grafikleri oluşturularak, toplam maliyeti en küçük yapan yalıtım kalınlığını belirlemişlerdir. Analizler, farklı duvar tipi ve gün-derece değerleri için de uygulanarak bulgular Türkiye'deki çeşitli iklim bölgeleri için genişletilmiştir [41].

Kılınç gerçekleştirdiği çalışmada, Cumhuriyet Üniversitesi kampüsünde yaklaşık 30 m² iç kapalı alana sahip iki odalı özel bir uygulama binası inşa ettirmiştir. Bu binada değişik iç/dış ortam şartlarının iç ve dış yüzey sıcaklıklarına olan etkileri, değişik ısı yalıtım malzemelerinin değişik sıcaklıklardaki özellikleri, aynı duvar malzemesinin farklı ortamlarında denenmesi, bims tuğlanın yalıtımsız ve yalıtımlı uygulanması, değişik pencere türlerinin karşılaştırılması gibi kavramları incelemiştir. Çalışmanın deneysel olan bölümünü termal kamera kullanarak yapmıştır. Her duvarda değişik bir model bulunan binada kış aylarında termal kamera görüntüleri almıştır. Sonlu hacimler temeline dayalı Fluent uygulama yazılımı aracılığı ile binanın 3 boyutlu analizini gerçekleştirmiş ve binanın deneysel verileri ile 3 boyutlu modelinin verilerini karşılaştırmıştır. Sonuç olarak binanın bir kısmını oluşturan 6 cm ekspande polistren (EPS) uygulamasının duvar iç tarafından bölünerek uygulandığı 2+2+2 cm yalıtımlı bölümü ile 3+3 cm yalıtımlı bölümü diğer bölümlere göre daha elverişli sonuçlar ürettiğini hem deneysel hem de 3 boyutlu modelde ispat etmiştir. Yalıtım konusunda toplumumuzu bilinçlendirerek daha verimli bir yalıtım olanağı sağlamıştır [42]. (Bu tez çalışması da bu binadan elde edilen farklı yalıtım özelliklerindeki duvarlardan elde edilen ölçümlerin ANFIS modelinde kurgulanmasıdır)

Özkutlu ve Karakuş gerçekleştirdikleri çalışmada, Mustafa Kemal Üniversitesi kampüsündeki Mühendislik Fakültesi binasının önce yalıtılmamış hali üzerinden yıllık enerji ihtiyacını ve binanın özgül ısı kaybını tespit edip binanın yalıtılmamış halde hacim başına düşen ısıtma enerjisi gereksinimini hesaplamışlardır. Binanın yalıtımı için 5 cm'lik ekstrüde polistren (XPS) (yoğunluk 30kg/m³) sıkıştırılmış köpük uygulamışlardır. Yalıtım yapıldıktan sonra binanın yıllık ısıtma gereksinimi ve özgül ısı kaybı hesaplanmıştır. Aynı şartlarda bina cam yünü ile yalıtılmış ve XPS ile karşılaştırılmıştır. Her iki şart altında da binanın yalıtım giderleri hesaplanıp karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda Mustafa Kemal Üniversitesi mühendislik binası yapılan yalıtım ile bina ısı yalıtım kurallarına uygun ve uygulanan yalıtım malzemesi, yalıtım kalınlığı, cam kaplama oranının TS 825 Standardı ve mevsimsel koşullara uygun olarak yapılmış olduğu belirlenmiştir [43].

Kaya ve Oğuz gerçekleştirdikleri çalışmada, ısı yalıtımının günlük hayatın tüm boyutlarında gerekli olduğunu ve tüm tesisatlar için elverişli şartlar dikkate alınarak uygun yalıtım kalınlığının hesaplanması gerektiğini öne çıkarmışlardır. Enerji tasarrufu sağlamak için gerçekleştirilen ısı yalıtımıyla beraber, yoğuşmayı da azaltacak olan elverişli yalıtım kalınlığının doğru olarak belirlenmesi ve uygulamanın dikkatli bir şekilde yapılması gerektiğine değinmişlerdir. Hatların olması gerektiği gibi yalıtıldığında mekanik sistemlerin ömrü uzayacak ve sistem performansını uzunca bir süre koruyacağını ispatlamışlardır. Yaşam ortamlarının (mekanlarının) daha sağlıklı iklimlendirilmesi ile ideal ısı konforu elde edileceğini, doğru yalıtım malzemelerinin seçilmesi ile yalıtım malzemesi verimini tesisat ömrü süresince koruyabileceğini, tesisatta korozyon riski daha da azalacak, soğuk hatların önemli sorunu olan yoğuşma problemi için emek, zaman ve para harcanmasına gerek kalmayacağını göstermişlerdir [44].

Kangji Li vd. çalışmalarında, alternatif bir yaklaşım, yani, hibrid genetik algoritması-adaptif ağ tabanlı bulanık kesmesi sistemi (GA-anfis) sunmuşlardır. Bu modelde, GA, kural tabanı oluşturmak en iyi duruma getirir ve anfis tahmin performansını en iyi duruma getirmek için öncül ve sonuç parametrelerini ayarlar. Önerilen modelin performansı, toplanan iki farklı veri setleri kullanarak YSA ile karşılaştırılır. Sonuçlar hibrid GA-ANFIS modelinin tahmin doğruluğu terimi ANN daha iyi performans olduğunu göstermektedir. Önerilen model de ANN olarak modelleme süresi aynı ölçekte vardır GA yordam parametreleri dikkatle seçilir. Bu bina enerji tahmini alternatif bir yöntem olarak kabul edilebilir [45].

Jin Yang vd. çalışmalarında; bina enerji tahmini için, gelen verilerde beklenmedik şekil değişikliklerine uyum sağlayabilen uyarlanabilir ANN modellerinin performansını değerlendirmekte ve bu özellikleri ile kullanılabilir. Gerçek zamanlı online bina enerji tahmini için iki farklı uyarlamalı YSA modeli önerilmiştir ve test edilmiştir: (birikimsel eğitim ve sürgülü pencere eğitimi) [46].

S. Karatasou vd. çalışmalarında, binalarda enerji tüketimini tahmin etmek için uygulanan sinir ağlarının, hipotez testi, bilgi kriterleri ve çapraz doğrulama gibi istatistiksel prosedürler tarafından nasıl geliştirilebileceği, avantajlı bir şekilde geliştirilebileceği tartışılmışlardır. Enerji kullanımını modellemek ve saatlik yük profillerini tahmin etmek için besleme iletimi sinir ağlarını tasarlamak için böyle bir yaklaşım kullanmışlardır. Kısa vadeli tahmin edicilerin öngörü performansı da tahmin ufku açısından incelenmiştir. Geliştirilen modellerin ve tahmin edicilerin performansı iki farklı veri seti, üzerinden denenmiştir. Sonuçlar, nöral modellerin ayrılmaz bir parçası olarak istatistiksel analizin, enerji uygulamaları binaları için basit ama verimli nöral modellerin tasarlanması için değerli bir araç sunduğunu göstermektedir [47].

M. Tosun vd. yaptıkları çalışmada; Bina dış cephe kaplamasının oluşturulmasında, iki önemli kriterden birisi olan duvar tipi seçiminde (kalınlığı ısı yalıtım katmanı hesabı), yeni bir yaklaşım olarak, yapay sinir ağı (YSA) kullanarak termal yalıtım tabakasının belirlenmesini önermişlerdir. Bu teknikte, Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde farklı duvar tipleri seçilmiştir. ANN, MATLAB kullanılarak eğitilmiş ve test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, YSA modelinin çalışmalarının güvenilir bir modelleme yöntemi olarak kullanılabilirliğini göstermiştir [48].

Tanaya Chaudhuri vd. çalışmalarında, Singapur binalarındaki enerji tüketiminin büyük kısmının binaların iklimlendirmelerinden (ısıtma/soğutma) kaynaklandığı öngörüsünden yola çıkarak, sağlıklı bir iç ortam elde edilmesi için insanların termal rahatlığı hakkında önceden bilgi sahibi olmanın, enerji tüketimini azaltmada yararlı olabileceği düşüncesinden yola çıkmışlardır. Makalelerinde, bireysel termal konfor seviyesini 'serin rahatsızlık', 'konfor', 'sıcaklık kaybı' öngörmek için veri odaklı bir yaklaşım önermektedirler. Çevresel ve insan faktörlerini girdi olarak kullanmak için altı tip sınıflandırıcı uygulanmıştır; Destek Vektör Makinesi (SVM), Yapay Sinir Ağı (YSA), Lojistik Regresyon (LR), Doğrusal Diskriminant Analizi (LDA), KNearest Komşular (KNN) ve Sınıflandırma Ağaçları (CT), Havalandırmalı ve serbest çalışan binalar için ayrı ayrı 817 kişilik kamuya açık veri tabanı kullanmışlardır ve sonuçları yayınlamışlardır [49].

Haydararslan K. vd. çalışmalarında; Binalar, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için tüketilen toplam enerjinin yaklaşık üçte birinin kullandığını

önermişlerdir. Dış ortamdaki fiziksel faktörlerden korunmasını sağlayan bina kaplaması, tüketilen enerji miktarı üzerine oldukça etkili olduğunu belirterek, enerji verimli çözümler için, bina kaplamasının ısıtma ve soğutma performansını arttırmanın gerekliliğini vurgulamışlardır. Bu amaçla, Antalya ilinde sıcak iklim bölgesi ve her yıl vardiyalı olan bir simülasyon programı ile referans olarak oluşturulan bir bina ile ısıtma ve soğutma amacıyla tüketilen enerji yükleri hesaplamışlardır. Isı yalıtım kalınlığı ve pencere-duvar alanı oranı değiştirilerek geliştirilen alternatif modellerin ısıtma ve soğutma yükleri incelemişlerdir. Çalışmada, çok boyutlu binaların enerji performansını arttırmak için modern, etkili yapay zeka yöntemleri kullanmışlardır. Daha önce ısıtma ve soğutma yükü hesaplamalarının yapılmadığı modellerden termal yükler için tahminler bir enerji simülasyon programı kullanılarak yapılmış ve ısı yalıtım kalınlığının ve pencere-duvar alanı oranının üzerinde etkisi olduğunu göstermişlerdir [50].

David Bienvenido-Huertas vd. çalışmalarında, yetersiz veya eksik enerji davranışlarına sahip binaların cephelerinin termal iletimlerinin U-değerini belirlemek için ISO 9869-1'den depolama etkilerinin düzeltilmesi ile hesaplama yöntemi, termometrik yöntemle uygulamışlardır. Hesaplamayı uygulamak için duvarı oluşturan katmanların sayısını ve türünü belirleme ihtiyacı nedeniyle, U-değerini tahmin etmek için çok katmanlı bir perceptron geliştirilmiştir. Önerilen farklı model yapılandırmalarından, en uygun mimari, giriş katsayısında dönüşümler yapmadan, gizli katmandaki 14 düğüme sahiptir. Farklı bina periyotlarından analiz edilen vaka çalışmaları için çok katmanlı perceptron tarafından geçerli sonuçlar elde edilmiştir, sapma değeri ile beklenen değer arasında%20'den az sapma, duvarın ısı direncine ve sıcaklık değişimlerine göre test süresinin değiştirilmesi, Ayrıca, model için bir veri sonrası işleminin yapılması gerekli değildir, bu nedenle bu gerçek, hesaplama yöntemini basitleştirir ve hızlandırır [51].

Binaların kaplaması, termal radyasyon, güneş radyasyonu, konveksiyon ısı ve infiltrasyon ısı gibi iklimsel faktörlerden etkilenir. Bina dış kaplamasının eşdeğer bir ısı direncinin elde edilmesi, bina dış kaplamasının ısıya duyarlı ısı kontrolüne karşı ısı kaybını / ısı kazanımını dikkate almakta önemli bir güçtür.

K.Venkatesan vd. çalışmalarında, EnergyPlus yazılımı kullanılarak bölgedeki ısı akışı göz önünde bulundurulduğunda, iklime duyarlı soğutma kontrolü sağlanır. EnergyPlus'tan elde edilen verileri kullanarak bina dış kaplama ısı akışını deşifre eden

Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirmişlerdir. Bina soğutma sisteminin YSA, model tahmin kontrolörü ve Gri kutu modeli kullanılarak Simulink, MLE +, BCVTB ve EnergyPlus kullanılarak yapılan simülasyonlarla termal performans elde edilmiştir. ANN zarf ısı yükü kestiricisi, ısıya dayalı modelin, eşdeğer ısı direnç ve atmosferik sıcaklık kullanılarak belirlendiği, sıcaklık bazlı modele göre enerji verimliliğini artırır. Chilli için %1.05 hata ile %6.25, Trichy için % 2.21, Shillong iklimi için %0.08 hata ile %7.25 enerji tasarrufu sağlanmışlardır [52].

Bu tez çalışmasında; Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde kurulan “Isı Evi Projesinden” elde edilen veriler ile farklı kalınlıklarda farklı ısı yalıtımı malzemelerinin davranışlarının sayısal olarak modellendiği diğer çalışmaların aksine bir makine öğrenmesi modeli üzerinden değerlendirme yapılması planlanmaktadır.

Tezin organizasyonu, Birinci bölümde genel kavramlar ve literatür özetine geniş yer verilerek problemin anlaşılmasına odaklanılmıştır. İkinci bölümde, problemin kaynağı olan ısı yalıtımı kavramı tüm bileşenleri ile detaylandırılmaya çalışılmıştır. Üçüncü bölümde makine öğrenmesi modeli olarak seçilen ANFIS modelini oluşturan bileşenler ve kavramlar üzerinde detaylı bir inceleme sunulmuştur. Dördüncü bölümde uygulama verileri ile ANFIS modelinin oluşturulması, sonuçların elde edilmesi ve sonuç grafiklerinin üzerinden modelin anlaşılması ve irdelenmesi için gerekli adımların incelendiği kısımdır. Son bölümde ise gelecek önerileri ve sonuçların özet yorumlamaları ile tez çalışması sonlandırılmıştır.

2. ISI YALITIMI VE KONUTLARDA YALITIMININ ÖNEMİ

2.1 SICAKLIK VE ISI KAVRAMLARI

Isı tanım olarak belli bir sıcaklık değerindeki bir sistemin, daha düşük sıcaklık değerindeki bir sisteme, sıcaklık farkı nedeni ile aktarılan enerjidir. Bir cismin sahip olduğu ısı miktarı o cismin sıcaklığı ile direk olarak orantılıdır. Sıcaklık ise tanım olarak bir cismin veya sistemin herhangi bir noktasından ölçülebilen pozitif veya negatif sayısal bir değerdir. Bir maddenin ısı şartlarını anlatan sıcaklık, ısı geçişlerine sebep olan etken olarak da açıklanmaktadır. Fakat sıcaklık değeri artmadan da ısı akışı olabileceği (hal değişimleri esnası) unutulmamalıdır. Bu nedenle ısı akışı;

- Soğuk havalarda bina içinde sağlamaya çalışılan daha sıcak iç mekândan dış ortamlardaki daha soğuğa doğru,
- Sıcak havalarda ise tam zıttı olarak sıcak dış ortamdan bina içinde sağlamaya çalıştığımız serin iç mekanlara doğru ısı geçişleri olmaktadır [53].

2.2 ORTAMLARDA ISI YALITIMI KAVRAMI VE ÖNEMİ

Türkiye’de gerek sanayi gerekse binalarda kullanılan enerji miktarları her geçen gün daha da artmaktadır. Sanayide kullanılan enerji üretim amaçlı iken, binalarda kullanılan enerji daha çok ısıtma ve soğutma amaçlıdır. Bundan dolayı binadaki konfor ortamının oluşabilmesi için kışın kaybolan ısının bir ısıtma sistemiyle sağlanması yazında kazanılan ısının iç ortamdan bir soğutma sistemiyle atılması gerekmektedir.

Enerjinin daha verimli kullanılabilmesi ısı kazanç ve kayıpların sınırlandırılması binalara yapılacak ısı yalıtım ile sağlanabilir. Yapı bileşenleri arasındaki sıcaklık farkını azaltmak amacıyla yapılan işleme ise ısı yalıtımı denir. Isı yalıtımı ile binalarda harcanan enerjiyi azaltmak ve daha konforlu bir yaşam sürmek için; binaların dış cephe duvarları, döşemeleri, çatıları, tesisatları, cam ve doğramaların da, ısı akışını azaltan önlemler almaktır (izoder).

Isı yalıtımı, kapalı ortamlardaki iç sıcaklıklarını istenilen seviyede tutabilmek için dış iklim koşullarına karşı yapılan ısıtma soğutma işlemlerinde kullanılan enerji tasarrufunu oluşturmak, çevre ile ilgili oluşan sorunlarını çözmek ve hava kirliliğini en az seviyeye indirmek için yapılarda alınan her türlü önlemler bütünüdür. Yalıtımın önemli

özelliği yapıyı dış etkenlerden koruması ile ömrünü uzatmakta ve yapı fiziği koşulları oluşturulduğu için de düşük işletme maliyeti göstermektedir [54].

Isı yalıtımı yapılsa bile yapıların sağlam ve yıllarca değerini koruması için yapı tasarımının çok iyi yapılması, dış ve iç etkenlerden doğru biçimde korunması ile gerçekteşmektedir. Dolayısıyla yapıların dış ve iç etkenlerden korunması doğru şekilde yapılan yalıtım ile sağlanmaktadır.

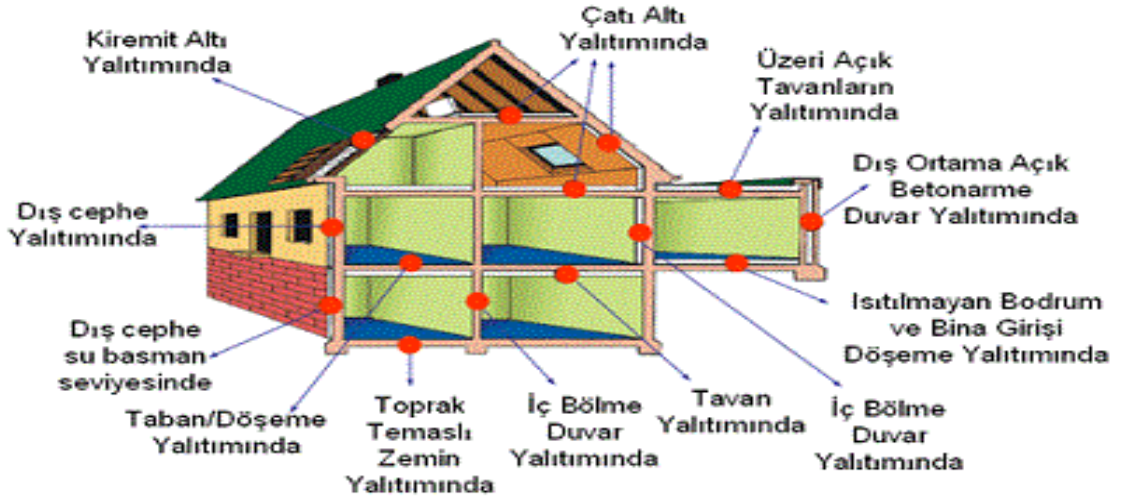
Yalıtım uygulamalarındaki asıl amaç; taşıyıcı sistemi ve yapı bileşenleri dış etkilerden mümkün olduğunca korumak, kullanım amacına uygun sağlık ve konfor şartlarının bina içerisindeki hâkimiyeti oluşturmaktır. Yapı içerisindeki insan sağlığı için önemli olan konforlu yaşam şartlarının oluşturulması, yapının dış yüzeyindeki etkenlere karşı korunması da içinde yaşanılan, uzun ömürlü ve dayanıklı olması beklenen binalar için de aynı öneme sahiptir.

Bina ve tesisatlar da ısı yalıtımının kurallara uygun şekilde gerçekteştirilmesi kişiler ve ülkeler açısından önemi aşağıda listelenmiştir:

- Konforlu ve sağlıklı yaşam konforu sağlar.
- Yüksek oranda enerji tasarrufu sağlar.
- Zararlı madde emisyonunu (çevreye yayılımı) azaltarak sağlıklı çevreyi oluşturur.
- Yapılarda ilk yatırım ve kullanım maliyetlerini düşürür.
- Binalarda yoğuşma nedeniyle oluşan korozyonu önleyerek betonarme demirlerinin çürümesine engel olup, yapı güvenliğine yardımcı olur.
- Toplam enerji tüketiminin azalmasına ve ülkenin ekonomi yönünden kalkınmasına yardımcı olur. Buhar ve kaynar su tesisatlarında yüzey sıcaklığının yüksek olması nedeniyle insanların kazaya uğramasını, kazan dairesinin aşırı ısınmasından dolayı diğer sistemlerin zarar görmesini ve ısı köprüleri önler.
- Soğuk iklim koşullarıyla karşılaşan tesisatlardaki suyun donmasını önleyerek tesisat sistemini korur (İZODER Bina ve Tesisatta ısı yalıtımı 2013 syf:4).

2.3 YAPILARDA ISI YALITIMI

Binalarda (yapılarda) iklim koşullarından kaynaklanan olumsuz etkileri azaltmak veya bu etkilerden korunmak için (insan sağlığını etkileyen faktörleri azaltmak, onarım giderleri ve yatırım maliyetlerini indirmek, yakıt tasarrufu sağlamak) ısı yalıtımı önemlidir. Isı yalıtımının amacı, binayı olumsuz iklim koşullarından yeterli olarak korumak ve daha konforlu yaşam alanlarının oluşması için zemin hazırlamaktır. İnsanlar yaşadıkları ortamlardaki ısı seviyesinin uygunluğu (sıcak/soğuk) ve bundan dolayı oluşan ısıtma giderleri, binayı oluşturan yapı malzemelerinin birim zamanda ısı yayma özelliklerine bağlıdır. Isı yalıtımı işlemleri uygulanarak binaların ısı yayma kabiliyetleri düzenlenmektedir. Bununla beraber dış ortamın yeterli şekilde mevsimsel ısı etkilerinden korunması ile yüzey ve iç kısımlardaki hacmi saran yapı bileşenlerinde yoğuşma olayını, tesisat borularının donmasını ve bunlardan dolayı oluşan zararları önleyerek, yapının bakım, onarım ve tadilat giderlerini azaltmaktadır [55].



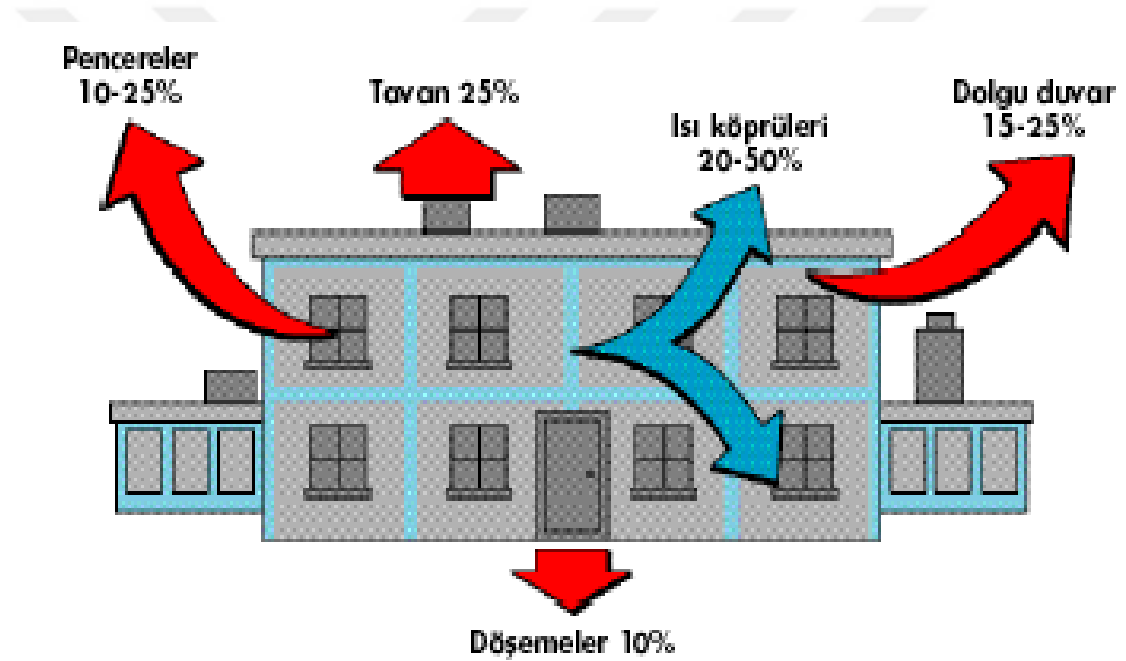
Şekil 2.1 Konutlarda Isı Yalıtımı Yapılması Gereken Yerler [56]

Isı yalıtımı yapılmayan binalar incelendiğinde; dış kaplama duvarlarında, tavanlarda, pencere kenarlarında, merdiven boşluklarında, ısıtılmayan hacimler üzerindeki döşemelerde, zemine oturan döşemelerde ve açık geçitler üzerindeki döşemelerde ısı kaybedilmekte olduğu ve bu sebepler ile binanın iklimlendirilmesi için

harcanan enerji tüketiminde artış olduğu görülmektedir. Yapılarda çalışılan yalıtımlar Şekil 2.1’de uygulama bölgeleri ile beraber genel olarak verilmiştir [53].

2.4 YALITIMSIZ KONUTLARDA ISI KAÇAKLARI

Isı yalıtım yeteneği, yapı bileşenini oluşturan katmanların kalınlığına, malzemenin gözenekli olup olmamasına, bu gözeneklerin kesit içindeki dengeli dağılımına, özgül ağırlığına ve içindeki nem oranına bağlı olarak değişmektedir. Genel ilke olarak bir yapı malzemesinin kalınlığının ve gözeneklerinin artması, yoğunluk ve nem miktarının azalması ısı yalıtımı yönünden olumludur [57].



Şekil 2.2 Yalıtımsız Binalarda Isı Kaçaklarının Oluştığı Bölgeler [58]

Yalıtımsız yapılardaki ısı kayıp ve kaçaklarına karşı korunmanın en etkili yolu, ısı yalıtım yöntemlerinin en uygun olanı seçilerek yapılara uygulanmasından geçmektedir. Şekil 2.2’de yalıtımsız binalardaki ısı kaçakları gösterilmiştir. Yapılardaki toplam ısı kayıplarının yaklaşık olarak; %10’u döşemelerde (temeller), %10-25’i pencerelerde, %25’i tavanlarda, %15-25’i dolgu duvarlarda, %20-50’si ısı köprülerinde meydana gelmektedir [59]. Yalıtım uygulamalarındaki yetersiz oluşumlar, binalardaki ısınma için harcanan yakıt tüketiminin her yıl daha fazla artmasına neden olur. Yalıtım yapılmamış bir duvarda ki ısı kaybını %100 olduğunu varsayarsak, ortalama bir yalıtım

uygulaması yapılmış ise bu oran %40-60' lara, yeterli bir yalıtım uygulaması ile de % 15-35' lere düşmektedir [60].

2.4.1 ISI KÖPRÜSÜ

Ülkemizde çok yaygın kullanımlarından birisi de betonarme binadır. Deprem riskinin büyük olduğu binalarda kiriş-döşeme ve kolonlardan oluşan taşıyıcı elemanları bina içinde önemli bir paya sahiptirler. Beton elemanların bina dış yüzeyindeki oransal ağırlığı yaklaşık %20-25 derecelerindedir [61]. Bu ağırlık, binalarda ısı kaybı ve kazancı için betonun yüksek ısı iletim katsayısından dolayı ($2.5W/mK$), fazladan bir yük oluşturmaktadır. Elemanlara dik yönde oluşan ısı transferinin yanında döşemelerde, döşemeye paralel yönde oluşan sıcaklık gradyantından dolayı ek bir ısı transferi meydana gelmektedir. Bu durum ısı köprüsü olarak isimlendirilmektedir [62] [63].

Isı köprüleri, yapılarda meydana gelen enerji kayıplarının en büyük nedenlerindedir ve yapı elemanlarının çevrelerine göre ısıyı daha az yalıtan bölgeleridir. Bu durumda bu bölgede hava sınır tabakasının ısı geçirme direnci üzerindeki payı artar, böylece ısı köprüsü iç yüzeyinin yüzey sıcaklığı düşer ve orada yoğunlaşma meydana gelir. Normal bir yapının dış köşesi ısı köprüsü meydana getirir çünkü burada ısıveren küçük bir iç yüzeyle, ısıalan büyük bir dış yüzey karşı karşıyadır. En az ısı yalıtımı olan duvarların köşelerinde bunun için yoğunlaşma ve küflenme meydana gelir. Isı köprüleri kış aylarında etkili olduğu gibi yaz aylarında da etkili olmaktadır. Yazın da binanın diğer bölümlerine göre ısının daha fazla kazanıldığı bölümlerini oluşturmaktadır [64].

Isı köprüsünden dolayı binalarda oluşan sorunlar;

Isı Kayıpları; Isı köprüleri yüksek ısı kaybına yol açmaktadır. Kuramsal olarak yalıtım standartlarına uygun şekilde yalıtılmış olan bir yapıda, yüksek ısı kaybına uğrayan yüzeylerin (ısı köprülerinin) yalıtılmış yüzeye oranı büyük değildir. Buna rağmen ısı köprülerinin meydana getirdiği ısı kaybı genelde bir binadaki ısı kaybının çok önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Isı köprüleri bir binanın toplam yüzeyinde önemsiz bir oran oluştursa da binanın belli bir bölümündeki ısı iletimini üç veya dört misli etkileyebilir. Örneğin: Müstakil kare bir ev: Sandviç duvar yalıtım uygulamasını incelediğimizde ısı köprülerinin etkisi, balkonlar (%13), kapı yüzleri (%10), pencere pervazları (%7) gibi

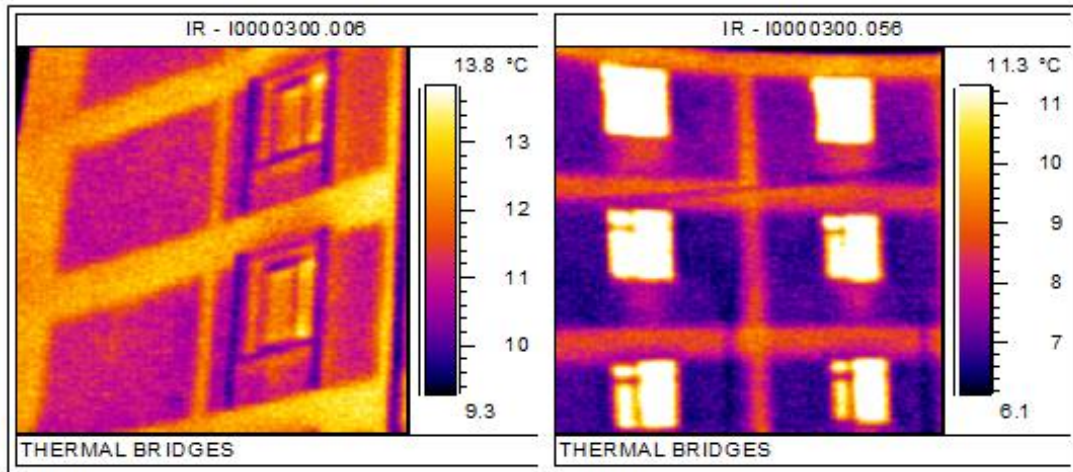
unsurların oluşturduğu ısı iletim kayıplarının toplamının %20-30'unu meydana getirmektedir [64].

Yoğuşma; Yüzeysel yoğuşma, yüzey ısısının kendisiyle temas eden hava sıcaklığının yoğuşma noktasından daha düşük olduğu zaman meydana gelir. Yüksek nem ve yüzeysel yoğuşma riski doğrudan doğruya kaplamanın ısı kalitesine bağlıdır. Yüzeysel yoğuşma sorunu ısı köprü noktalarında iç ısının düşük olduğu yerlerde ortaya çıkar.

Küf Oluşumu; Küf oluşumu, belli bir ısıda ve belli bir zaman süresinde, bir beslenme yüzeyinde ortalama su aktifliği belli bir eşik değeri aştığında gerçekleşir. Bu eşik değer küfün türüne bağlıdır.

Yüzeyde Hasar; Düzgün olmayan tabakalaşma, yüzeyde dökülme, lekeler, değişik yüzeysel sıcaklıklar, ısı köprülerine bağlı tamir ve yeni baştan dekorasyon gerektiren diğer estetik, sorun yaratabilir. Yapıda ısı streslerinin yarattığı çatlaklar çok aşırı durumlarda meydana gelebilir.

Konfor Azalması; Yüzey ısısı çevre ısısından iki veya üç derece daha düşük olduğunda odadakiler rahatsız olacaktır. Büyük alanlar, örneğin dış duvarın içine giren yalıtımsız yer karoları söz konusu olduğunda bu etki daha fazla hissedilecektir (Anonim).



Şekil 2.3 Bina Duvarlarındaki Isı Köprüleri (9)

(9) <http://www.bina.com.tr/32/33/tr/Isi-Yalitimi-Nedir.html>

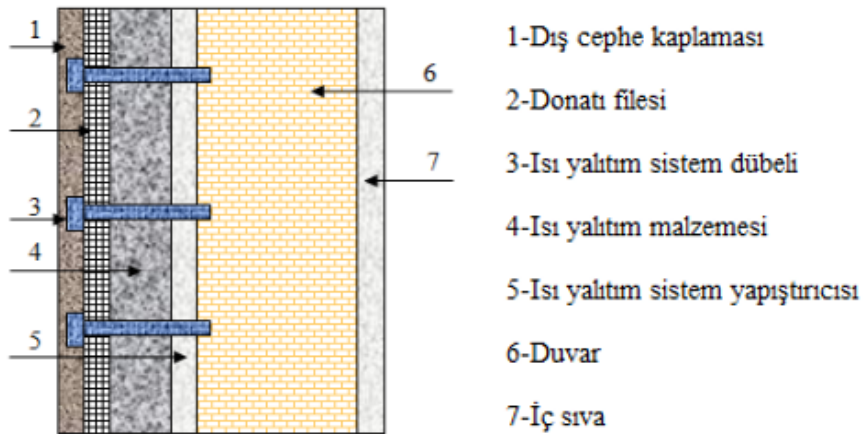
Şekil 2.3'e baktığımızda binanın betonarme kolon ve kirişleri diğer bir ifadeyle ısı köprüleri net bir şekilde görülmektedir. Şekil 2.3 içerisi ısıtıldığı bir anda dışardan çekilen bir termal görüntü örneğidir. Buna göre soldaki şekilde bina duvarlarında hiç yalıtım yapılmadığı, sağdaki şekilde ise duvarlarda içerden ya da sandviç duvar arası yalıtım yapıldığı görülmektedir. Dolayısı ile iç sıcaklıktan dolayı duvarların ısısının sağdaki şekle göre soldaki şekilde daha fazla dış yüzeye ulaştığı bu yüzden de duvarların daha sıcak olduğu anlaşılmaktadır. "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği" ne göre ısı köprülerinin yalıtılması zorunlu olan ısı köprülerinin en kolay ve en sağlıklı yalıtımın dıştan olacağı yapılan uygulamalarla görülmektedir [65].

2.5 BİNALARA ISI YALITIMI UYGULAMALARI

2.5.1 DIŞ CEPHE (ORTAM) ISI YALITIMI

Binalarda ısı kayıplarının en önemli kısmı dış cephelerde oluşmaktadır. Bu nedenle binaların içeriden yalıtıldığı gibi dışarıdan da yalıtılması gerekmektedir. Ayrıca dış yalıtım enerji kayıplarına karşı yapıları korur ve konfor şartının sürekliliğini sağlar.

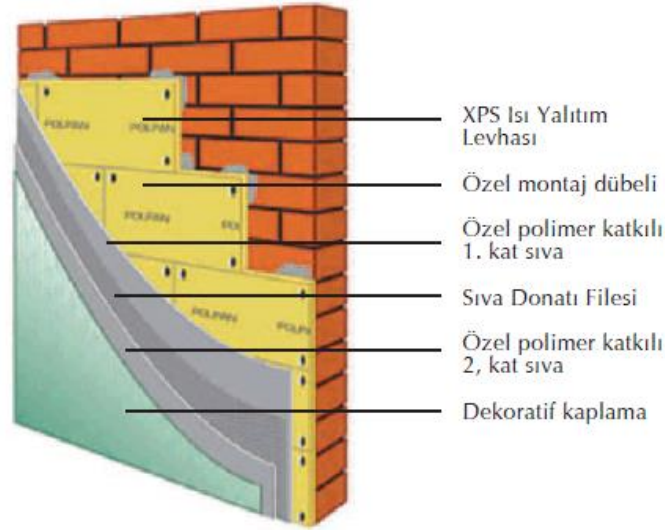
En uygun sistem yapı fiziği yönünden dışarıdan yapılan yalıtım olarak kabul edilmektedir. Dışardan yapılan yalıtım binayı bir manto gibi sarmakta, ısı köprüsü oluşturmamaktadır. Böylece sıcaklık değişimlerinden oluşacak gerilme ve çatlaklar önlenmekte, havalandırma sayesinde konstrüksiyonun sürekli kuru kalması sağlanmaktadır [66].



Şekil 2.4 Binalarda Dış Cephe Isı Yalıtımı Yapısı [67]

Duvarlarda yapılacak ısı yalıtımı için (Şekil 2.4) seçilen malzemenin kalınlığı ve malzeme seçimi önemli iki unsurdur. Isı yalıtımı için uygulanacak işlemlerde seçilen malzemenin kendi yapısına su almaması (su geçirgenlik direnci), buhar difüzyon direncinin yüksek olması, üzerine direk olarak sıva uygulaması yapılabilmesi, darbelere ve basınca karşı dayanıklı olması ve ısı iletim katsayısının düşük olması gerekmektedir. Bunlara ek olarak, ısı yalıtım kalınlığı seçilirken yoğuşmada ki oluşacak problemlerin önlenmesi için gerekli hesapların kesinlikle yapılması gerekir [35].

Dıştan ısı yalıtımı uygulamalarında, yalıtım plakaları, duvarların yüzeyine reçine katkılı çimento bazlı harçlar aracılığı ile yapıştırılır. Daha sonra bu plakalar, 1 m²'ye 6 adet plastik çivili yalıtım dübelleri ile tutturulacak şekilde mekanik tespiti yapılır. Yapıştırımda kullanılan harç ile ince sıva katmanı uygulanır. İnce katman sıva üzerine tüm duvar yüzeyini kaplayacak şekilde alkaliye dayanıklı cam elyafı file kaplama uygulanır. Daha sonra, üzeri tekrar koruyucu bir sıva katmanı uygulanır ve sıva kurduktan sonra boyanarak işlem bitirilir (Şekil 2.5). Bu uygulamada sıva kalınlığı asgari 5 mm civarında olmalıdır [42].



Şekil 2.5 Dıştan Yalıtılmış Bir Duvarın Yalıtım Detaylarının Perspektif Görünümü [66]

Dış cephe ısı yalıtım sisteminin performans bakımından binalara kattığı yararlar;

1. Isıl Konfor; 20-24°C sıcaklığa ve %40- 60 bağıl nem değerine sahip ortamlar ısı konforu olarak değerlendirilir. İnsanların konforlu bir yaşam

sürebilmeleri bu ortamlarda mümkün olabilir. Isıl konforu sağlamak için ortam sıcaklığı ile duvar iç yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının en çok 3°C olması gerekir. Yalıtımsız binalarda sıcaklık farkı çok daha fazla olduğundan ısı konfor söz konusu değildir. Bunu sağlamanın tek yolu ısı yalıtımı yapılmasıdır. Isı yalıtımı ile mekanın her noktasında homojen bir sıcaklık sağlanır ve böylece hava akımları engellenerek hem konforlu hem de sağlıklı bir ortam oluşturulur.

2. Isı Kayıp ve Kazançlarının Azaltılması; Isı yalıtımı yapılmamış dış cephe yapıların cephelerinden aşırı derecede ısı kaçakları ya da kazançları oluşabilir ve eğer bu problem ortadan kaldırılmazsa büyük miktarda enerji tüketimi ve dolaylı maliyetlerine neden olur. Dış cephe yalıtım uygulaması, yapının dış çevresinde hava sızdırmaz bir set oluşturarak hava kayıp/kazançlarına neden olan tüm boşluk, kılcal çatlak vb. kısımları mühürler.

3. Yoğuşmanın Önlenmesi; Katmanlar arası yoğuşma, bina içinde bulunan nemli ve sıcak havanın, yapısal bölümlere sızıp soğuk bir yüzey ile karşılaşması ve bünyesindeki su buharı taşıma kapasitesinin düşmesi sonucu katman yüzeyinde yoğunlaşmasıdır. Yapı bünyesine dış cephe yalıtım sistemi uygulanması, katmanlar arası yoğuşmanın oluşmasını engeller, çünkü yoğuşma noktası sıcaklığı, yalıtımlı yapının dış cephesine doğru kayar ve iç katmanlarda yoğuşma riski ortadan kalkar. Buhar geçirimli bir yalıtım malzemesinin kullanımı, su buharının geçirimine olanak tanıyarak yapının nefes almasını sağlayarak yoğuşma riskini daha da azaltır.

4. Isı Köprülerinin Ortadan Kaldırılması; Dış cephe yalıtım sistemi, uygulandığı yapının dış bölgesinde sürekli bir katman oluşturduğu için, mevcut yapılarda ısı köprüleri büyük oranda azaltılırken, yeni yapılarda neredeyse tamamen ortadan kaldırılır. Bu nedenle, var olan ısı köprülerini (örnek dış giriş ve kolon birleşim noktalarını) yalıtım ile kaplamak, önemli ısı kayıplarını engeller ve yoğuşma riskini önler.

5. Duvarlarda Rutubet Oluşumunun Önlenmesi; Mevcut dış duvarlarda oluşan rutubetin büyük bir kısmı nem penetrasyonu, nem artımı veya yoğuşma (özellikle yüzey yoğuşması) kaynaklı meydana gelmektedir. Bu durum cephe duvarlarında küf veya mantar oluşumuna neden olur. Özellikle bina dış duvarlarında yapılacak dış cephe ısı yalıtım sistemi ile ısı dengesinin kurulması ve mevcut yapı bileşenlerinde yenileme

çalışmaları (Örnek eksik veya hasarlı sıvaların yenilenmesi, kötü durumdaki harçların kazınması ve yeniden uygulanması, vb.) yapı cephesinde uzun süreli koruma sağlar.

6. Yangın Koruma Performansı; Mineral yün ile yapılan dış cephe yalıtım sistemi uygulamaları, yapısal yangın koruma gerekliliklerini en üst düzeyde karşılamaktadır. Taşyünü yalıtım levhası kullanılan sistemler, Avrupa normlarına göre en yüksek yanmazlık sınıfı A1 sınıfındadır.

7. Gürültünün Önlenmesi; Dış cephe ısı yalıtım sistemleri yapılarına göre, belli derecelere kadar hava oluşumlu gürültü yalıtımı sağlayarak yapı içerisindeki yaşam kalitesini önemli şekilde artırmaktadır [68].

Dış cephe ısı yalıtım sisteminin sakıncaları ise;

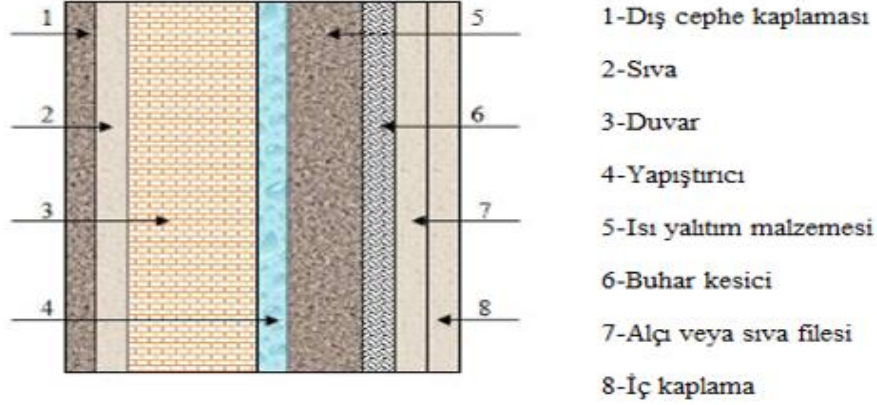
- Uygulama için tüm cepheye iskele kurulması gerekir ve kalifiye ekip ile uygulanmalıdır,
- Maliyeti diğer uygulamalara göre daha yüksektir.

2.5.2 İÇ CEPHE ISI YALITIMI UYGULAMASI

Konutlarda günümüzde de uygulanmakta olan iç cephe yalıtımı; sinema salonları, konser ve büro gibi az kullanılan, sürekli ısıtma gereksinimi olmayan yerler için uygun bir yalıtım yöntemidir. İç cephe yalıtım ile duvarların ısı muhafaza yeteneği az olmakla beraber ön ısınma zamanları kısadır. Yapılarda iç yüzeyden ısı yalıtımının yapılması halinde, ısı yalıtım malzemesinin içindeki yoğuşma olasılığının aşırı yoğunluğu buhar difüzyonu sonucundandır. Bu nedenle, yalıtım levhalarının sıcak bölümlerinde kesinlikle bir buhar kesici malzeme kullanılmalıdır.

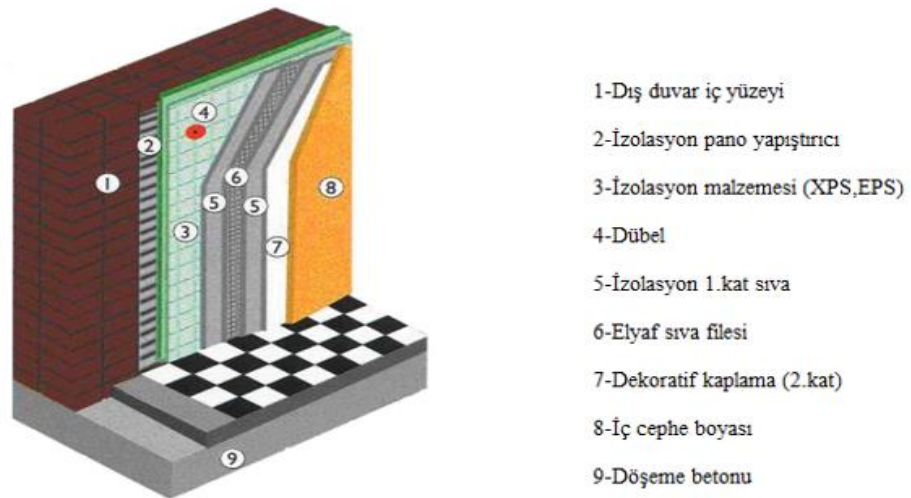
Yalıtımın içeriden yapılması, dışarıdan ısı yalıtımı tercih edilmeyen durumlarda ve özellikle mevcut binaların ısı yalıtımında uygulanmaktadır. Ancak bu uygulamalarda, döşemelerin, kolon, giriş ve perdelerin dış duvara bağlandığı bölümlerde oluşan ısı köprülerini yok etmek için gerekli önlemler alınmalıdır. Dışarıdan yalıtımlı duvarlarda uygulama tekniğinde görülen güçlükler ve maliyet artışı gibi olumsuzluklara rağmen, iç yüzeyden yalıtımlı duvarlarda uygulamadaki kolaylık ve düşük maliyet gibi olumlu özellikleri sayabiliriz. İçeriden yapılan yalıtımın üstünlükleri arasında; iskele ihtiyacının olmaması, bina dış görünüşünün uygulamadan etkilenmemesi, uygulamadaki kolaylık, uygulama sırasında dış hava şartlarından etkilenmemesi, istenilen mekan ya da duvar için

uygulama imkanı vermesi ve daha ekonomik olması sayılmaktadır. Fakat içeriden yalıtımda sıcaklık farkları nedeniyle meydana gelen ısıl gerilmeler neticesinde içyapıda bozulmalar ve çatlaklar oluşabilmekte, yazın ise iç ortam sıcaklığında iklimlendirme cihazı kullanılmadığında yüksek artışlar olabilmekte ve iç hacimde alan kayıpları meydana gelmektedir [66].



Şekil 2.6 İç Cephe Isı Yalıtım Sistemi [67]

İçten ısı yalıtım uygulamalarında (Şekil 2.6), kat yüksekliğindeki ekstrüde polistren (boşluksuz) ısı yalıtım levhaları çimento bazlı yapıştırma harcı ile duvara yapıştırıldıktan sonra ek yerlerine file bant yapıştırılıp üzerine alçı sıva uygulanarak bitirilir. Plastik çivili yalıtım dübelleri ile fiksaj yöntemi, duvar yüzeyinin uygun olmaması veya kat yüksekliğinin 3m'yi aştığı durumlarda (Şekil 2.7) kullanılmalıdır [42].



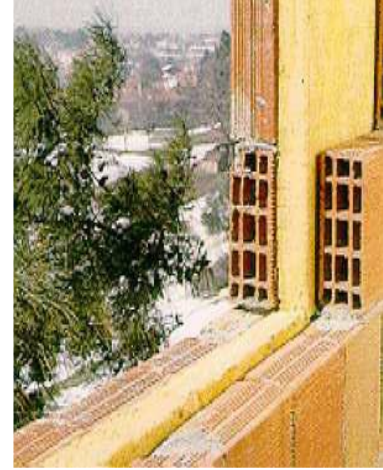
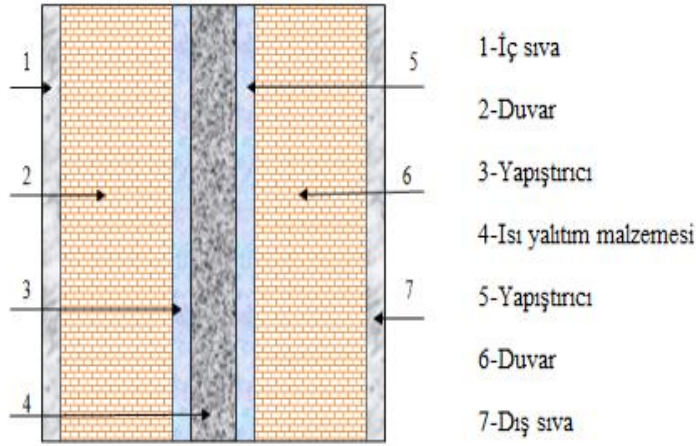
Şekil 2.7 İçten Yalıtılmış Bir Dış Duvarın Yalıtımına Ait Perspektif [69]

Dış cephe yalıtım ile iç cephe yalıtım arasındaki farklar;

- Dış cephe yalıtım, yüksek oranda ısı yalıtımı sağlamasının nedeni binayı bir kabuk gibi sarmasından dolayıdır. İç cephe yalıtım ise yalnız iç duvarlara uygulanabildiğinden etkin bir yalıtım sağlayamaz ve ısı köprüleri oluşmasına neden olur.
- Dış cephe yalıtım yapıdaki tüm rutubeti engellemektedir. İç cephe yalıtım sadece duvarlardaki rutubeti engelleyebilir (yüzeyde su sızıntısı yoksa) ama döşemeler ve tavanda rutubeti artırmış olur.
- Dış cephe yalıtım tüm dış etkilerden binayı korur. İç cephe yalıtım, nem ve rutubeti tam olarak önleyemediği gibi artmasına da neden olabilir, içten yapılan yalıtım malzemelerinin ve boyasının zarar görmesine ve dökülmesine neden olur.
- Dış cephe yalıtımda, ısı iletim katsayısı düşük daha kalın ısı yalıtım levhaları kullanıldığından ısı yalıtımından tam verim alınmasını sağlar. İç yalıtım 2 ya da 3 cm lik ısı yalıtım levhası kullanılabilir, bu da etkin bir ısı yalıtımı sağlayamaz.
- İçten yalıtım uygulaması sonucu oluşan ısı köprüleri; yoğuşma, küf, mantar, terleme ve donatıda korozyona neden olacaktır. Tüm bunlar ise; insan ve yapı sağlığını etkileyecek çok önemli problemlere yol açacaktır [70].

2.5.3 SANDVIÇ DUVAR ISI YALITIM UYGULAMASI

Isı yalıtım uygulamalarında kullanılan bir diğer yöntem ise çift sıra duvar yalıtım sistemi veya yaygın kullanılan ismi ile sandviç duvar sistemleridir. Bu tür uygulamalarda dıştaki duvar örüldükten sonra iç tarafta ısı yalıtım uygulanır. Daha sonra boşluk kalmayacak şekilde ikinci duvar örülür. İki örme duvar yatay ve dikeyde 50 cm aralıklarla özel tespit elemanları ile bağlanır. Kullanılan ısı yalıtım malzemesinin su buharı difüzyon direnci ve kalınlığına göre yoğuşma kontrolü yapılmalıdır, ihtiyaç olursa buhar kesici kullanılmalıdır. Dış duvarda buhar geçirimsiz sıva, boya veya tuğla kullanılmamalıdır. Geçirimsiz katmanlar hem inşaat boyunca yapı elemanlarında oluşan nemin çıkmasını engeller, hem de yoğuşma ve tuzlanma riskini artırır [71].



Şekil 2.8.a Sandviç Duvar Isı Yalıtım Sistemi [67]

Şekil 2.8.b Sandviç Duvar Isı Yalıtım Uygulaması

Sandviç duvar uygulamalarında da dış duvarda kolon, döşeme, kolon, perde duvar kısımları ısı köprüsünü engellemek için yalıtılmalıdır. Böylelikle yoğuşma, mantar, küf oluşumu, yüzey problemleri ve korozyonun önüne geçilmiş olur. Kolon, kiriş ve perde duvarların yalıtımı beton dökülmeden kalıp içine yalıtım levhaları yerleştirilerek de yapılabilmektedir. Perde duvarı gibi geniş yüzeylerde file yerine galvanizli rabbitz teli kullanılır. Bu uygulamada en az 8 adet/m² olacak şekilde mekanik sabitleme yapılmalıdır [71].

Sandviç duvar uygulamaları (Şekil 2.8.a) boşluklu veya boşluksuz olmak üzere iki şekilde uygulanabilir. Boşluklu sandviç duvar uygulamalarında ısı yalıtım levhaları, iç tarafta bulunan duvar yüzeyine belirlenir. Boşluk levha ile boş duvar arasında bırakılmalıdır. Boşluksuz sandviç duvar uygulamalarında ısı yalıtım levhaları (xps, eps, camyünü, taş yünü gibi) dış duvarın iç tarafa bakan yüzeyine yapıştırıldıktan sonra, iç duvar boşluk bırakılmayacak şekilde örülür (Şekil 2.8.b). Sandviç duvar yalıtım en önemli nokta, ısı yalıtım levhalarının arasında boşluk kalmayacak şekilde yatay ve dikey olarak aynı duvarda olmak üzere sabitlenmesidir [72].

2.6 ISI YALITIM MALZEMELERİ

Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları en önemli özellikleridir. TS 825 Standardına göre ısı iletim katsayısı 0,065 W/mK değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi, olarak tarif edilirken diğer malzemeler ise yapı malzemesi kapsamına

girmektedir (TSE, Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları). Isı yalıtım malzemeleri yapıların tesisat sistemlerin de duvar, döşeme ve çatılarını oluşturan yapı elemanlarında kullanılabilirler. Bu malzemelerle birlikte pencerelerde kullanılan yalıtım camı üniteleri ve kaliteli doğramalar da etkin ısı yalıtımında büyük öneme sahiptir. En iyi ısı yalıtım malzemelerini uygun bir şekilde seçebilmek için ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerini iyi bilmek gerekmektedir [73].

2.6.1 ISI YALITIM MALZEMELERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

- Isı geçişine karşı yüksek direnç (Düşük ısı iletkenlik katsayısı).
- Yeterli basınç dayanımına sahip olması, zamanla çökme yapmaması.
- Yeterli çekme direncine sahip olması.
- Kullanılan sıcaklıkta bozulmaması.
- Özelliklerini zaman içinde kaybetmemesi ve çürümemesi
- Birlikte kullanılan malzemelerle tepkimeye girmemesi ve bozulmaması. (Kimyasal kararlılık ve dayanıklılık).
- Yanmazlık ve alev geçirmezlik.
- Suya ve neme karşı yüksek dayanım.
- Uygulama ve işçilik kolaylığı.
- Boyutsal kararlılık.
- Kokusuz olması.
- İnsan sağlığına ve çevreye zarar vermemesi, alerji ve kaşıntı yapmaması.
- Detay bazında ekonomik olması.
- Hafiflik.
- Küf tutmaması.

olarak sayılabilir [39].

Bir yalıtım malzemesinde, yukarıda istenen şartların tamamının bir arada bulunması genellikle zordur, bu sebeple yalıtım malzemeleri seçilirken, ortama uygunluğu ve maksimum ortak şartları sunan malzemenin seçilmesi önemlidir.

2.6.2 ISI YALITIM MALZEMELERİNDEN BEKLENEN ÖZELLİKLER

Isı İletkenlik;

Yalıtım amaçlı kullanılan malzemelerin, ısı iletkenliklerinin düşük olmasının sebebi lifli veya gözenekli yapıda olmalarıdır. Kristal yapıdaki katılara göre şekilsiz yapıdaki katılar daha çok gaz boşluklarına sahip olmaktadır. Bu yüzden bu tip malzemelerin ısı iletkenlikleri daha küçüktür. Isı yalıtım malzemelerinden beklenen tasarrufun sağlanması bakımından önemi; diğer tüm faktörlerin eşit olduğu durumda ısı yalıtım malzemeleri içinde en düşük ısı iletkenliğe sahip malzemenin seçilmesidir.

Mekanik Hasara Karşı Direnç;

Isı yalıtım malzemeleri mekanik olarak zayıf olmaktadır. Bu nedenle nadiren korumasız olarak kullanılabilirler. Yalıtım uygulamasından sonra yalıtımın üzeri çoğu zaman koruyucu bir tabaka ile örtülmektedir.

Absorbsiyona Karşı Direnç;

Sıcaklığa bağlı olarak ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliklerinin artmasına bağlı olarak nemi absorbe etmemesine sebep olmaktadır. Yapılan yalıtım uygulaması atmosferik ya da nemli şartlarda ise yalıtımın üst tarafının su geçirmez bir katman ile örtülmesi gerekmektedir. Aksi halde yapılan uygulamada bozulmalar yaşanabilmektedir.

Yanmaya Karşı Direnç;

Isı yalıtım malzemelerinde yanmaya karşı direnç özelliğinin bulunması gerekmektedir. Oluşturulacak uygulamada ısı yalıtım malzemeleri belirtilen derecenin üzerinde bir sıcaklıkta çalıştırılmamalıdır. Malzemelerin sıcaklığa dayanma limiti maksimum yüzey sıcaklığının daima üzerinde olmak durumundadır.

Yeniden Kullanımı;

Plastik yalıtım malzemeleri dışında diğer birçok malzemenin yerini değiştirmek mümkün olmaktadır. Metal malzemelerin yer değiştirmesi kolaydır. Plastik malzemelerin hasara karşı ufakta olsa bir direnci vardır fakat yeniden kullanılması uygun değildir.

Ekonomik Olması;

Yalıtımın maliyetini, amacına uygun malzeme seçimi ve malzemenin ekonomik oluşu belirlemektedir. Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta hangi malzemenin hangi

ortam ve kalınlıkta ve uzun ömürlü kullanılabilirliğinin seçiminin yapılmasıdır. Yalıtımın üzerinde kullanılan koruyucu tabaka ve örtüler yalıtımın ömrünü uzatmaktadır.

Sağlık Tehlikesi;

Yalıtım için kullanılan malzemelerden çıkan ve solunum yoluyla ciğerlere gidebilecek tozlar insan sağlığına zarar verebilir. Özellikle asbest insan sağlığına en çok zarar veren malzemedir. Bu tür malzemelerin kesiminin çalışma ortamından uzak bir yerde yapılması gereklidir. Bazı yalıtım malzemeleri ise deri ile temas ettiğinde kaşıntıya sebep olur, bu tür malzemeler mutlaka eldiven ile taşınmalı ve uygulanmalıdır.

2.6.3 BİNA YALITIMINDA KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ

Binaların dış duvarlarında yapılacak ısı yalıtımı için seçilen malzemenin kalınlığı ve malzeme seçimi önemli iki faktördür. Seçilecek malzemenin kesinlikle su almaması gerekmektedir. Ayrıca buhar difüzyon direncinin yüksek olması, basınç ve darbe dayanımı, ısı iletim katsayısı ve sıcak tutuculuk gibi kriterler de önemli etkenlerdir.

Günümüzde en çok tercih edilen ısı yalıtım malzemeleri; camyünü, taşyünü, EPS (Ekspande Polistren), XPS (Ekstrüde Polistren), PUR (Poliüretan), Neopor (Karbonlu EPS), sıklıkla kullanılmayan öteki ısı yalıtım malzemelerinden bazılarında ahşap yünü levhalar, cam köpüğü, fenol köpük, mantar levhalarıdır [67].

Cam Yünü

Cam yünü, çok yüksek sıcaklıklarda silis kumunun ergitilerek lif haline getirilmesi ile elde edilmektedir. Ahşap oturtma, metal ve sandviç panelden oluşan çatılarda, dış ve ara bölme duvarlarda, sandviç panel cephelerde, radyatör arkasında, klima ve borularda, şilte, levha ya da boru kılıfı şeklinde kullanılabilir [66].

- Isı iletkenlik hesap değeri: 0.04 W/mK
- Kullanım sıcaklığı: max. 250°C
- Yoğunluk: 14–100 kg/m³
- Yanma sınıfı: DIN 4102'ye göre A sınıfı yanmaz
- Buhar difüzyon direnç katsayısı: 1
- Su emme: hacimce %3–10
- Mekanik dayanım: 1.5–6.5 ton/m² basma dayanımı [42].

Taş Yünü

İnorganik hammadde olan bazalt taşının çok yüksek sıcaklıklarda elyaf haline getirilmesi sonucu üretilen bir ısı ve ses yalıtım malzemesidir. Taş yünü malzemesi şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilmektedir. Kullanım alanları; metal, ahşap ve teras çatılarda, zemin döşemelerinde, dış duvarın içten yalıtım uygulamalarında, merdiven ve asansör boşluklarının komşu duvarlarında, havalandırılmalı cephelerde yangın güvenliği amacı ile kullanılır [72].

- Isı iletkenlik hesap değeri: 0.04 W/mK
- Kullanım sıcaklığı: max.750°C
- Yoğunluk: 30–200 kg/m³
- Yanma Sınıfı: DIN4102'e göre A sınıfı yanmaz
- Buhar difüzyon direnç katsayısı: 1
- Su emme: hacimce %2,5–10
- Mekanik dayanım: 1.5–6.5 ton/m² basma dayanımı [42].

Ekstrüde Polistren Köpük (XPS)

XPS levha, polistren hammaddesinin ekstrüzyonla levha halinde çekilmesiyle üretilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Üretim tekniği nedeniyle kapalı gözenekli ve yapısına su almayan bir ısı yalıtım malzemesidir. Ekstrüde polistren köpük yapılarında; dış duvarlarda, toprakla ilişkili temel duvarlarında, çatılarda, döşemelerde ısı yalıtımı amacıyla kullanılmaktadır [66] .

- Isı iletkenlik hesap değeri: yüzeyi pürüzsüz iken 0.028 yüzeyi pürüzlü iken 0.03W/mK
- Kullanım sıcaklığı: -50 ila +75/+80°C
- Yanma sınıfı: B1 sınıfı zor alev alan
- Yoğunluk: 25–45 kg/m³
- Buhar difüzyon direnç katsayısı: 80–250
- Su emme: hacimce %0–0.5 max.
- Mekanik dayanım: 100–500 kPa (10–50 ton/m²) max. basma dayanımı[42].

Expande Polistren Köpüğü (EPS)

Deneysel çalışmaların yapıldığı ısı binasına EPS yalıtım malzemesinin uygulaması yapılmıştır (referans Bostancı, E. ve Kılınç, F.). Bu çalışmalarda yoğunluğu 20 kg/m^3 ve kalınlığı 3-5-8 cm uygulaması olan ısı binasının duvar yapısına uygun üretilen, malzeme kullanılmıştır. EPS ısı yalıtım malzemesi; Petrol türevi olan polistren hammaddesinin genişletilerek şişirilmesi yöntemiyle blok halinde üretilen ve sonra levha şeklinde kesilen, kapalı gözenekli ve homojen hücre yapısına sahip ısı yalıtım malzemesidir. Üretiminde pentan gazı kullanılmaktadır. Malzemenin %98'i hareketsiz hava, %2'si polistrendir. Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde, değişik kenar ve yüzey şekillerinde levha halinde üretilebilmektedir. Halk arasında strafor adıyla da bilinmekte olup ısı yalıtımı ve ambalaj amacıyla kullanılmaktadır. EPS ürünlerinin yalıtım amaçlı kullanım alanları: Binalarda duvarların, tavanların, döşemelerin, eğimli ve teras çatıların ve teras bahçelerin, soğuk hava depolarının, boruların yalıtımında kullanılmaktadır. Yapıların ses yalıtımı için asansör ve merdiven gibi bölümlerinde de kullanılabilir.

- Isı iletkenlik hesap değeri: ortalama 0.037 W/mK
- Kullanım sıcaklığı: $-50^\circ\text{C} / +75^\circ\text{C}$
- Yanma sınıfı: DIN 4102'e göre B1 sınıfı zor alev alan, B2 sınıfı normal alev alan
- Yoğunluk: $15-100 \text{ kg/m}^3$
- Buhar difüzyon direnç katsayısı: 20-80
- Su emme: hacimce %0-5
- Mekanik dayanım: $50-150 \text{ kPa}$ ($5-15 \text{ ton/m}^2$) max basma dayanımı.

Yalıtım levhalarının boyutların, sabit kalması önemli konularındandır. Yapılarda, farklı sıcaklıkların etkisi sonucu boyut değişimi ısıl genleşme ile olduğu gibi; üretimi izleyen belirli bir zaman içinde dış etkilerden bağımsız olarak da meydana gelebilir. Bununla birlikte boyutların kararlılığı zamana ve sıcaklığa göre ayrı ayrı düşünülmelidir. EPS yalıtım malzemesinin sıcaklık karşısında boyut değişim unsuru ($170 \text{ C}^\circ\text{lik}$) sıcaklık farkında yaklaşık 1mm/m bir değişim olur. Bu derecedeki boyut değişimi bu koşullarda ve normal uygulamalarda, sorun oluşturmamaktadır. EPS ısı yalıtım levhalarının üretiminde hava ile çok hızlı bir şekilde yer değiştirildiği için şişirici gaz kullanılmaktadır. EPS ısı yalıtım levhalarının ısı iletkenlikleri, üretimi takip ederek

sonuca ulaşır ve zamanla kötü bir durum oluşturmaz; uygulamanın ısıl direncini etkileyecek bir değişimin görülmemesi için gerekli kıldığı yoğunluklarda ve kalınlıklarında kullanılmalıdır. EPS ısı yalıtım levhalarının en nemli avantajları; ısıl dirençlerinin ve ısı iletkenliklerinin kullanım ömrü boyunca sabit kalmasıdır [74]. EPS malzemesi sonsuz ömürlüdür. Malzemenin yok olmasının mümkün olmadığı koşulu, doğru yerde, doğru kalınlık ve yoğunlukta, inşaat ve yapı fiziği kurallarına göre uygulanmasından kaynaklanmaktadır.

Dış taraftan yapılan EPS yalıtım uygulamaları, hem duvar elemanlarının meydana getirdikleri yüzeylerle birlikte, kolon, kiriş, hatıl, lento, perde duvar gibi betonarme yüzeylerinde yalıtılarak ısı köprülerinin yok edilmesini sağlar. Hem de yapı bileşenlerinde meydana gelen fiziksel değişimlerin önlenmesi bakımından binaların atmosferik koşullara karşı korunarak sıcaklık farklılıklarından oluşan genişleme ve büzülme yok eder. Isı köprülerinin oluşmasını ve yazın aşırı ısınmayı önler. Su buharının kesit içinde yoğuşma riski en azdır. Bu sistemde, ısı yalıtım levhaları arasında boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmeli ve gerekli yerlerde çift duvar arasında oluşabilecek suyun, kolaylıkla dışarı atılmasını sağlayacak detaylar çözülmelidir. Boşluğa yerleştirilecek ısı yalıtım levhalarının sürekliliğinin sağlanması sistemin verimi için çok önemlidir [75]. E. Bostancı tarafından yapılan çalışmada diğer ısı yalıtım malzemelere göre EPS'nin tercih edilmesindeki önemli etkenler; Sivas'ta EPS üretim fabrikasının bulunması, yazın soğutma, kışın ısıtma giderlerini düşürerek işletme masraflarının azaltılmasında önemli bir katkıda bulunur, yalıtım malzemesinin performansının teknik özelliklere göre kullanıldığı yerde, ömrünün uzun oluşu, az yakıt kullanımı, yapısının bozulmaması, istenilen şekilde kolayca kesilebilmesi sonucunda çevre kirliliğindeki artışın engellenmesi ile EPS ısı yalıtım malzemesini kullanmadaki önemini artırmıştır [67].

Poliüretan köpük (PUR)

Poliüretan, iki ayrı kimyasal bileşiklerin bir araya getirilerek üretilmesidir. Levha, püskürtme ve sandviç panel yöntemiyle kullanılan bir ısı yalıtım malzemesidir [75].

- Yoğunluk(kg/m³) 30 – 40
- Isıl İletkenlik Hesap Değeri (W/mK) 0,035
- Su Emme Değeri (%) Hacimce %3-5

- Sıcaklık Dayanımı(°C) -200 / +110°C
- Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı (μ) 30–100

Karbonlu EPS (Neopor)

Neopor, içeriğindeki grafit ısı reflektörleri yardımıyla yalıtım özelliği geliştirilmiş bir EPS (Expanded Polistren) çeşididir. Neopor'a gri rengini veren de içeriğindeki bu grafit ısı reflektörleridir. Grafit, soğuk ve sıcakta daha iyi yansıtarak alışılmış EPS'ye göre ısı yalıtımın daha iyi olmasını sağlamaktadır. Neopor, B1 sınıfı, yeni nesil bir yalıtım malzemesidir, düşük yoğunluklarda bile ısı iletkenlik grubu 0,35'e dahildir. Düşük yoğunluklarda ısı iletkenlik grubunun 0,35 olması sayesinde alışılmış EPS'ye göre çok daha az veya daha ince malzemeyle aynı ısı yalıtımı sağlanmaktadır. Uygulandığı yerler; Bina dış ve iç duvarları [76] . Neopor ısı yalıtım malzemesi aynı zamanda eko-verimlilik analizinde hem çevre hem de maliyet üzerindeki baskıyı azaltmakla diğer yalıtım malzemelere göre daha üstün performans göstermektedir [77].

2.7 TS 825 “BİNALARDA ISI YALITIM KURALLARI” STANDARDI VE SON GELİŞMELER

2.7.1 GİRİŞ

Enerjinin üretiminden kullanımına kadar olan süreçte israfın önlenmesi, enerji yoğunluğunun düşürülmesi ve verimliliğin artırılması ülkemiz açısından oldukça önemlidir. Türkiye’de uygulanan enerji verimliliği politikalarının hedefleri üç ana başlıkta toplanabilir. Bunlar;

- Enerji arz güvenliğinin sağlanması,
- Enerjide dışa bağımlılıktan kaynaklanan risklerin azaltılması ve
- İklim değişikliği

ile mücadele etkinliğinin artırılmasıdır. Binalardan kaynaklı enerji verimli kullanılmasına ve enerji tüketimlerinin azaltılması yönelik yürütülen politikalar, hazırlanan yasa ve yönetmeliklerden oluşan mevzuatı, ulusal strateji belgelerini, toplumun bilinçlendirme faaliyetlerini kapsamaktadır. Anayasadan başlayarak kanun ve yönetmeliklerde enerjinin verimli kullanılmasına ilişkin yaptırımlar içeren, bu konuda ilgili kişilere ve kuruluşlara sorumluluk veren hükümler yer almaktadır.

1970 yılından itibaren binaların enerji ihtiyacını azaltmak ve yakıt tüketiminde tasarruf sağlamak amaçlı çeşitli düzenlemelerin yapıldığı, mevzuatların yürürlüğe konulduğu görülmektedir.

2.7.2 TS 825 BİNALARDA ISI YALITIM KURALLARI STANDARDI

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı Binalarda enerji verimliliği ile ilgili ilk önemli çalışma 1970'te Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanan "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı" dır. Standardın amacı yapılardaki ısı kayıplarının ve yakıt tasarrufunun azaltılmasıdır [3]. Temel olarak ısı yalıtım projelerinde yapılacak gerekli hesaplamaları içermektedir. TS 825 Standardı 14.06.2000 tarihinden itibaren "Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği" ile Mecburi Standart Tebliği olarak yayımlanarak zorunlu standart haline gelmiştir ve yeni yapılacak binalarda uygulanmaya başlamıştır. Bu standart Türkiye'yi derece gün bazında sıcaklık bölgelerine ayırmakta ve bir binanın toplam ısı kaybına bir sınır getirmektedir. 1985 yılında yapılan değişiklik ile bir önceki standarda göre izin verilen ısı kaybı tüm bölgelerde yaklaşık yarı yarıya düşürülmüştür. Standarda göre Türkiye, ısı olmak üzere dört ana sıcaklık bölgesine ayrılmıştır (baz sıcaklık+19°C) [29].

2.7.3 STANDARDIN AMACI

Bu standardın amacı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu artırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir. Bu standart

- 1- Yeni yapılacak bir binaya ait çeşitli tasarım seçeneklerine bu standartta açıklanan hesap metodunu ve değerlerini uygulayarak, ideal enerji performansını sağlayacak tasarım seçeneğini belirlemek,
- 2- Mevcut binaların net ısıtma enerjisi tüketimlerini belirlemek,
- 3- Mevcut bir binaya yenileme projesi uygulamadan önce, uygulanabilecek enerji tasarruf tedbirlerinin sağlayacağı tasarruf miktarlarını belirlemek,
- 4- Bina sektörünü temsil edebilecek muhtelif binaların enerji ihtiyacını hesaplayarak, bina sektöründe gelecekteki enerji ihtiyacını millî seviyede tahmin etmek.

Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacını etkileyen faktörler:

- Bina özellikleri: İletim, havalandırma ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısıl kapasite ve ısı kayıpları (varsa ısı geri kazanımı),
- Isıtma sisteminin karakteristikleri: Özellikle ısıtma sistemi ve kontrol sistemlerinin, ısıtma enerjisi ihtiyacındaki değişmelere cevap verme süresi,
- İç iklim şartları: Binayı kullananların istediği sıcaklık değeri, binanın farklı bölümlerinde ve günün farklı zamanlarında bu sıcaklık değerlerindeki değişmeler,
- Dış iklim şartları: Dış hava sıcaklığı, hâkim rüzgârın yönü ve şiddeti,
- İç ısı kazanç kaynakları: Isıtma sistemi dışında, ısıtmaya katkısı olan iç ısı kaynakları, sıcak su elde etme, yemek pişirme, aydınlatma gibi amaçlarla kullanılan ve ortama ısı yayan çeşitli cihazlar ve insanlar,
- Güneş enerjisi: Pencere gibi saydam bina elemanlarından ısıtılan mekâna doğrudan ulaşan güneş enerjisi miktarı.

2.7.4 STANDARDIN UYGULAMA ALANLARI

- Konut olarak kullanılacak binalara,
- Büro ve idarî binalara, kongre ve konser salonlarına, tiyatrolara, kültür merkezlerine,
- Eğitim yapılarına, öğrenci yurtlarına, kütüphanelere, spor tesislerine,
- Hastanelere, bakım evlerine, huzur evlerine, ceza evlerine ve kışla binalarına, doğum evlerine ve kreşlere,
- Konaklama tesislerine,
- Alışveriş merkezlerine, banka ve borsa binalarına, iş hanlarına,
- Genel kullanım amaçları dolayısıyla iç sıcaklıkları asgarî 15°C olacak şekilde endüstri ve sanayi binaları ile ısıtılan iş yerlerine uygulanmaktadır.

3. KURAMSAL TEMELLER

ANFIS- Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems), Yapay Sinir Ağları Modellerine - YSA ait öğrenilebilir ve paralel hesaplama özelliklerini Bulanık Mantık -BM (Fuzzy Logic) modellerinin çıkarım özellikleri ile birleştiren hibrid bir yaklaşım olarak bilinmektedir. İlk olarak Jang [78] tarafından önerilen yöntem sınıflandırma, kontrol, zaman serileri analizi gibi farklı disiplinlerde ve özellikle de doğrusal (nonlinear) olmayan fonksiyonların modellenmesinde, kaotik zaman serilerinin tahmininde yoğun bir şekilde uygulanmıştır [79]. Bu yaklaşım modeli, BM'nin uzman tecrübesini ve öngörülerini sisteme aktarırken, mimarisinin getirdiği avantajlarından dolayı doğrusal veya doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilen YSA'nın öğrenilebilir yeteneklerini kullanarak veriden hareketle farklı formlardaki fonksiyonel yapıyı başarıyla modellemekte ve herhangi bir formdaki fonksiyona kabul edilebilir oranlarda yakınsayabilmektedir [80] [81] [82]. ANFIS eğitilmek için veri setine güçlü bir şekilde (tüm girişler ve çıkışlar) bağlıdır ve mevcut olan ölçüm setinden sistem davranışını öğrenerek karmaşık sistemlerin davranışlarını modellemeye yatkın olan, doğrusal olmayan fonksiyonlar için klasik istatistiksel yaklaşımlara göre daha elverişli esnek hesaplama aracıdır [79].

ANFIS yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışma ile kurgulana modelin başarısını ve sonuçlarını daha iyi irdeleyebilmek için bileşenleri olan YSA ve BM yaklaşımlarının da anlaşılması bir gerekliliktir.

3.1 BULANIK MANTIK – BM (FUZZY LOGIC – FL)

Bulanık mantık temelde çok değişkenli mantık, olasılık teorisi, genetik algoritmalar ve yapay sinir ağları yaklaşımları üzerine oluşturulmuş; olayların gerçekleşme olasılığından daha çok gerçekleşme derecesiyle ilgilenen kavramı ortaya atmaktadır [83]. Prof. Zadeh BM'yi "*yüksek mekanik IQ'lu insana yakın bir teknik*" olarak tanımlamaktadır. BM'nin başlangıç fikri 1920 li yıllarda mantıkçılar tarafından ortaya konulan "her şey bir derecelendirme sorunudur" ile başlamıştır. Mantık üzerine yoğun çalışmalar yapan Jan Lukasiewicz, 1920'li yıllarda önermelerin ikili 1 ve 0 değerleri arasında kesirli değerler alabileceğini gösteren ilkeler üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalarını ışığı altında, Kaliforniya Üniversitesi'nden Lotfi A. Zadeh alanda çığır açan "Bulanık Kümeler" adlı yazısını yayınlamıştır. Lotfi A. Zadeh

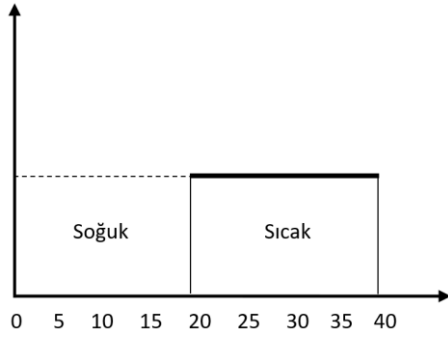
bir kümenin tüm elemanlarına Lukasiewicz'in mantık geliştirimlerini uygulayarak bulanık kümeler için bir aritmetik geliştirdi [83]. Buradaki temel mantık, olayların gerçekte iştimalinden çok gerçekte derece ile alakalıdır. Yakın kavramlar gibi gözükse olasılık ve bulanıklık aslında birbirlerinden oldukça farklı kavramlardır. Olasılık, bir olayın olup olmayacağını daha doğru bir söylemle olma iştimalini, bulanıklık ise bir olayın hangi dereceye kadar olacağını, bir şartın ne dereceye kadar var olacağını ölçer.

Bulanık mantık özünde; insan düşüncesi ile özdeş işlemlerin gerçekte sağlanarak, gerçek dünyada yoğunlukla karşılaşılan belirsiz ve kesin olmayan olayları modellenmesinde açıklayıcı veya yardımcı olmaktadır. Klasik mantıkta herhangi bir önerme “doğru” veya “yanlış” tır. Ancak gerçek dünyadaki olaylar modellenirken ne derece doğru veya ne derecede yanlış olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bulanık küme yaklaşımı biraz, az, orta, düşük, çok, daha çok, birçok gibi dilsel yapıları kullanarak dereceli veri modellenmesini gerçekteştirmektedir. Böylelikle olayların modellenmesinde daha doğala yakın, gerçekçi ve ifade edilebilirliğe yakın sonuçların üretilmesini sağlar.

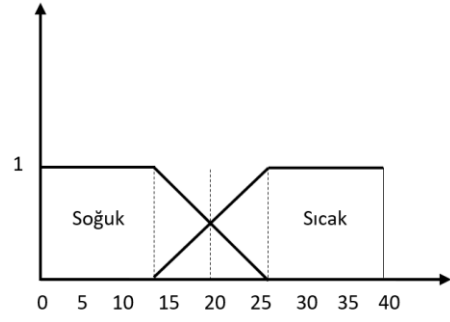
3.1.1 KESKİN KÜME VE BULANIK KÜME KAVRAMLARI

Bilinen klasik ikili mantık yönteminde bir nesne (eleman) bir kümeye ya aittir (üyesidir) veya değildir (0 veya 1) ve bu tür kümeler keskin (crisp) olarak adlandırılır. BM ise keskin mantığın kesin kavramlarla sınırladığı ikili kavramlarını az kısa/az uzun, biraz yavaş/biraz daha yavaş veya hızlı gibi daha yumuşak belirleyiciler temsil ederek gerçek dünya verileri (günlük hayat ifadeleri) ile uyuşan daha elverişli bir mantık yaklaşımı oluşturur [84]. Biraz daha açıklayıcı olarak, klasik (keskin) kümeler kendisine ait olan elemanlarına 0 veya 1 değerleri vererek, o elemanın kendisi ile olan ilişkisini belirler

Klasik küme teorisinde, bir küme ait olduğu elemanına 1 veya 0 değerini atayarak, o elemanın kendisiyle olan ilişkisini belirler. Yani eleman 1 değerini alırsa aittir, 0 değerini alırsa ait değildir. Şekil 3.1.1'de görüldüğü gibi 20 derecelik bir sıcaklık “sıcak” olarak kabul edilirken, ikili mantığa ve klasik kümeye göre 19,5 derecelik sıcaklık soğuk olarak kabul görmektedir. Bu yaklaşımın sınırlarının kesin olduğu ve esneklikten yoksun olduğu çok açıktır ve birçok gerçek dünya probleminin bu kadar kesinlik sınırlarının olmaması sebebi ile bu yapı ile modellenmesinin güçlüğü de aşıkardır.

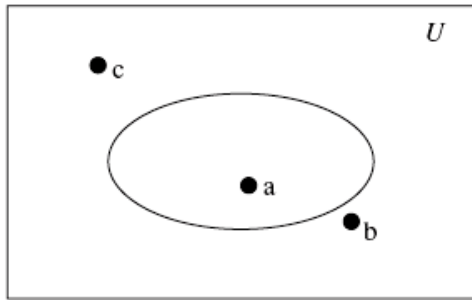


Şekil 3.1.1 Klasik Küme Teorisi

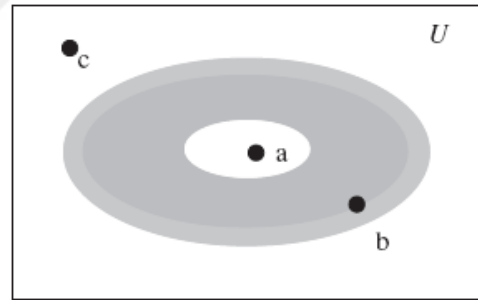


Şekil 3.1.2 Bulanık Küme Teorisi

Klasik küme teorisi Alman matematikçi George CANTOR (1845-1918) tarafından geliştirilmiştir. Bu teoride; bir eleman ya bahsedilen kümenin elemanıdır ya da değildir (Şekil 3.1.3). Hiçbir zaman kısmi üyelik olamaz. Elemanın üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanı, 0 ise elemanı değildir. Başka bir şekilde ifade edilecek olursa, klasik kümelerde elemanların üyelik değerleri $\{0,1\}$ dir.



Şekil 3.1.3 Klasik Küme Sınırları



Şekil 3.1.4 Bulanık Küme Sınırları

Klasik bir küme $A = \{x \in U \mid p(x)\}$ olarak ifade edilebilir. Burada A klasik kümeyi, P kümenin özelliğini ve U ise bu kümenin ait olduğu uzayı temsil etmektedir. Karakteristik fonksiyon, $\mu_A(x): U \rightarrow \{0,1\}$, eğer x bu kümeye ait bir eleman ise '1' olarak, eleman değil ise '0' olarak tanımlanır.

Bulanık küme teorisinde ise, üyelik fonksiyonu olarak bilinen karakteristik fonksiyon daha genelleşmiş bir yapıyı temsil eder, $\mu_A(x): U \rightarrow [0,1]$. Şekil 3.1.4' de bulanık bir kümenin venn şeması ile ifadesi görülmektedir. Burada 'a' elemanı bulanık kümenin kesin elemanıdır. Bu elemanın üyelik derecesi 1 olarak ifade edilir. 'c' elemanı

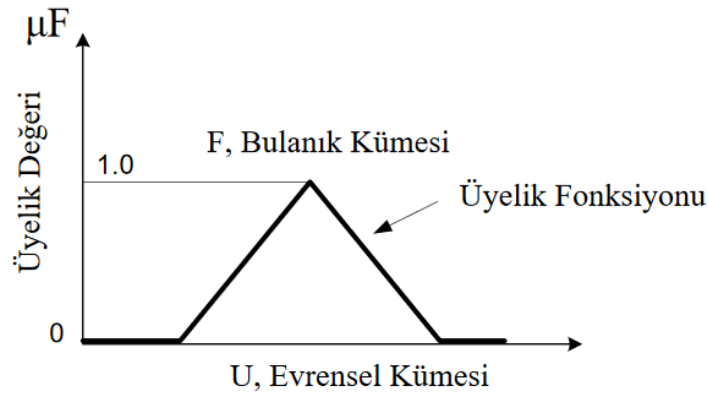
bulanık kümeye ait değilse üyelik derecesi 0 olarak kabul edilir. ‘b’ elemanı ise bulanık kümeye belli bir derecede (seviyede) üyedir. Bu üyelikte [0,1] aralığında bir üyelik derecesi ile ifade edilir. Üyelik fonksiyonunun derecesi önemlidir.

3.1.2 BULANIK KÜME YAKLAŞIMI

Bulanık küme yaklaşımında ise Şekil 3.1.2’deki görüldüğü gibi 0-10 derece arasındaki değerler kesin soğuk (soğuk küme grubuna göre üyelik derecesi 1, sıcak küme grubuna göre üyelik derecesi 0), 25 ile 40 derece arasındaki değerler kesin sıcak (soğuk küme grubuna göre üyelik derecesi 0, sıcak küme grubuna göre üyelik derecesi 1) olarak derecelendirilmektedir. 15- 25 dereceler arasındaki değerler ise dereceli olarak sıcak veya soğuk bulanık kümelerinde üyeliklere sahiptir. Bu bölgedeki değerler hem sıcak hem soğuk olarak üyelik derecelerine göre kabul edilebilmektedirler. “X” evrensel kümesinde tanımlanan, bulanık (fuzzy) küme A için, μ_F üyelik fonksiyonu şu şekilde elde edilir. Şekil 3.1.5’te μ_F üyelik fonksiyonu [0,1] kapalı aralığında gerçek bir sayıyı göstermektedir.

$$\mu_F = X \rightarrow [0,1]$$

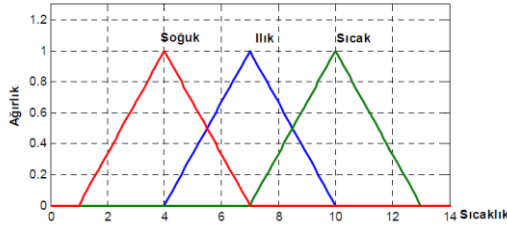
Eşitlik 3.1.1



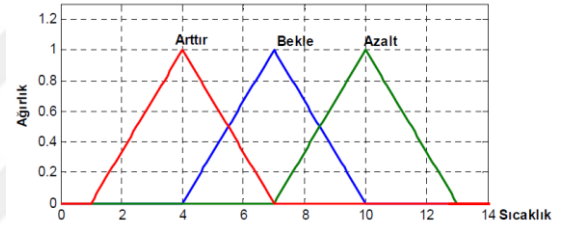
Şekil 3.1.5 Üyelik Fonksiyonu ve Üyelik Değeri

Günlük hayatta insanlar nesnelere ait sıcaklık derecelerini değer olarak değil soğuk, ılık, sıcak gibi dilsel ifadeler ile belirler. Bu belirlemeler önceden edinilen tecrübelerden yola çıkılarak hissedilen sıcaklıklardır. Gerçek hayatta karşılaşılan ve

modellenmesi gereken birçok problemde bu tür değerlendirmeler yapılarak gerçekleştirilmektedir. Bu mantık çerçevesinde uyarlamalar yapılarak sistemlerin kontrol edilmesi bulanık kontrol olarak adlandırılır. Bir nesnenin sıcaklık kontrolünü gerçekleştirecek bir sistem tasarlandığında Şekil 3.1.6’da gösterilen yapıda bir bulanık küme mantığı oluşturulmalıdır. Görüldüğü gibi soğuk, ılık ve sıcak değerleri kapsama alanları iç içe girmiştir. İnsan düşünce yapısında olduğu gibi burada da nicelikler hakkında kesin yargılar yapılamamakta ve bu sayede de bulanıklık denilen kavram oluşmaktadır.



Şekil 3.1.6 Giriş Üyelik Fonksiyonları
[85]



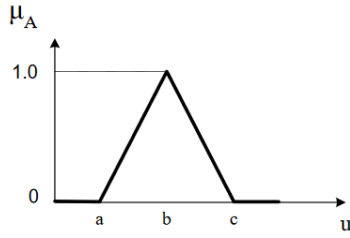
Şekil 3.1.7 Çıkış Üyelik Fonksiyonları
[85]

Uzman kişiler tarafından Sıcaklığın hangi ağırlık değerlerine karşılık geleceği belirlenir ve sonrasında sıcaklık bulanık kümesi için hangi işlemlerin yapılacağına dair kurallar oluşturulur Şekil 3.1.7;

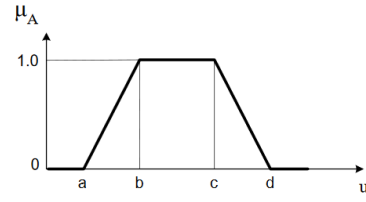
Bulanık sistem için geliştirilecek kurallar;

1. Eğer Sıcaklık Soğuk ise, sıcaklık değerini artır
2. Eğer Sıcaklık İlık ise, hiçbir işlem yapma bekle
3. Eğer Sıcaklık Sıcak ise, sıcaklık değerini azalt

şeklinde belirlenebilmektedir. Giriş ve çıkış işlemlerinin davranışlarını modellemek üzere kuralları belirlemek için kullanılan bu fonksiyonlara üyelik fonksiyonları adı verilir [86] [84]. Üyelik değerleri (veya ağırlıkları), belli bir değer, bir bulanık küme içinde var olmasının (yer almasının) güvenilirliğini gösteren bir işarettir. Üyelik fonksiyonları biçim olarak değişik formlarda olabilir. Genellikle Şekil 3.1.8’de görüldüğü gibi, üyelik fonksiyonları üçgen, çan, dörtgen veya yamuk şeklinde olabilir ve hatta çok değişik formlardaki fonksiyonlar da olabilir [87].



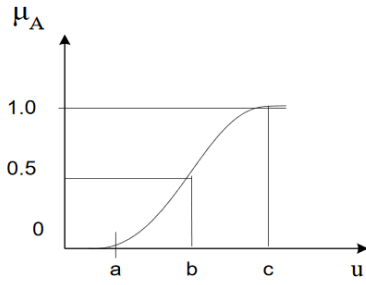
$$\tilde{U}(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ (u-a)/(b-a) & a \leq u \leq b \\ (c-u)/(c-b) & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases}$$



$$Y(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ (u-a)/(b-a) & a \leq u < b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ (d-u)/(d-c) & c < u \leq d \\ 0 & u > d \end{cases}$$

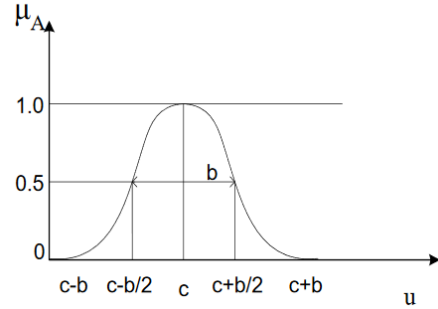
Şekil 3.1.8.a Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Şekil 3.1.8.b Yamuk Üyelik Fonksiyonu



$$S(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ 2[(u-a)/(c-a)]^2 & a \leq u \leq b \\ 1 - 2[(u-c)/(c-a)]^2 & b \leq u \leq c \\ 1 & u > c \end{cases}$$

Şekil 3.1.8.c S Üyelik Fonksiyonu



$$\pi(u; b, c) = \begin{cases} S(u; c-b, c-b/2, c) & u \leq c \\ 1 - S(u; c, c+b/2, c+b) & u \geq c \end{cases}$$

Şekil 3.1.8.d π Üyelik Fonksiyonu

3.1.3 BULANIK SİSTEMLER

Bulanık sistemler, girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerinin durumunun belirlenmesi için bulanık küme ilkelerini kullanan sistemlerdir. En büyük avantajları da uzman kişi deneyimlerinin ve sözel olarak ifade edilen verilerin modele katılarak çözümlere ulaşılmasıdır. Bulanık model, bulanık “Eğer-İse” kurallarından oluşmaktadır. Burada “Eğer” kısmında sonuca sebep olacak giriş değişkenleri ve bunlar arasındaki ilişkiler, “İse” kısmında ise bu değişkenlere bağlı olarak oluşan sonuç değişkenleri mevcuttur. Bulanık kurallar genel olarak aşağıda gösterildiği formlardadır:

Kural 1: **Eğer** $x = A_1$ ve $y_1 = B$ **İse** $z = N_1$

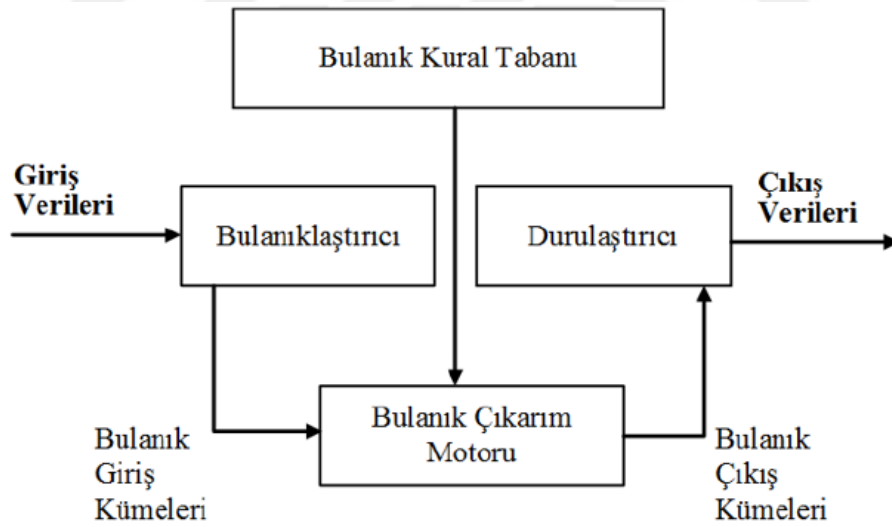
Kural 2: **Eğer** $x = A_2$ ve $y_2 = B$ **İse** $z = N_2$

Şekil 3.1.9’da genel bir bulanık model sisteminin yapısına yer verilmiştir. Sistemi oluşturan bileşenler ise:

1) Giriş Verileri: İncelenecek probleme ait verileri temsil eden yapıdır ve bu veriler hakkındaki tüm bilgileri tutar. Buradaki bilgilerin türü sayısal ve/veya sözel olabilir. Veri tabanı olarak da değerlendirilebilir.

2) Bulanıklaştırıcı: Sayısal türdeki giriş verilerine ait değerlerini sözel olarak nitelendirilmiş bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine atayan bir işlemcidir.

3) Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanından sisteme sunulan girişleri Eğer-İse türünde kurallar formunda çıkış değişkenlerine bağlayan kuralların tümünü içerir. Bu kuralların oluşturulmasında sadece giriş verileri ile çıkış verileri arasındaki tüm ara (bulanık küme) bağlantılar düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlayarak tüm kural tabanını oluşturur.



Şekil 3.1.9 Bulanık Model Sistemi [88]

4) Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında oluşturulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu

içeren yapıdır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

5) Durulaştırıcı: Bulanık işlemler sonucunda üretilen bulanık çıkarım sonuçlarını keskin sayısal çıkış değerlerine dönüştürür.

6) Çıkış Verileri: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru aracılığı ile etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir [89].

Bulanık kümelerin kullanılması kesinlik içermeyen verilerle ilgili modellerin yönetilmesine olanak sağlamaktadır. Bulanık sonuç çıkarma sistemi kullanılarak sözel bulanık kurallar yardımıyla doğrusal olmayan davranışlar taklit edilebilmektedir. Farklı bulanık modeller bulunmasına karşın, literatürde yoğun olarak Mamdani ve Takagi–Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemleri tercih edilmektedir. Aşağıda bu modeller ile ilgili özet bilgi verilmiştir.

3.1.3.1 MAMDANI BULANIK MODEL

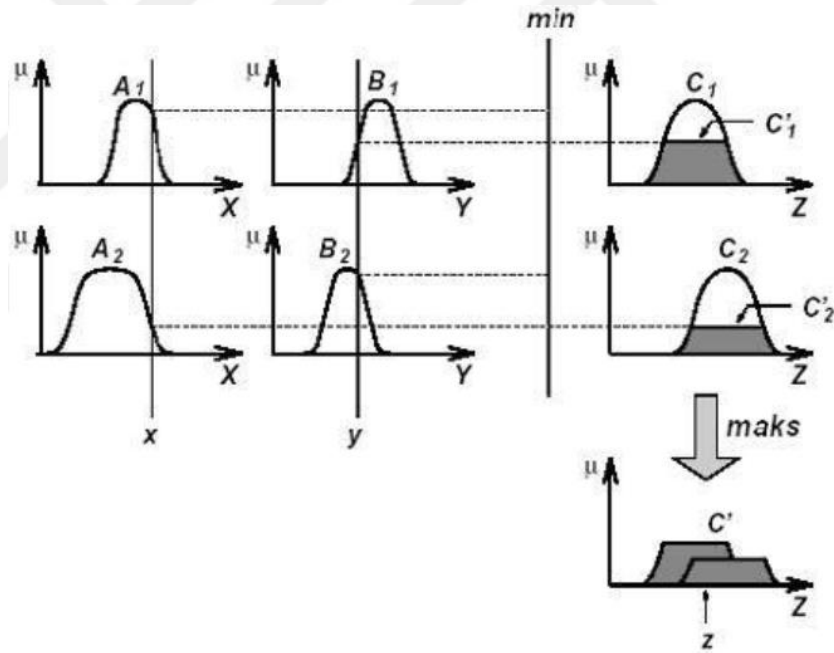
Mamdani tipi bulanık model insan davranışlarını modellemeye yakın olması, kolaylıkla oluşturulması gibi avantajları nedeni ile oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir ve diğer bulanık mantık modellerinin de temelini oluşturur. 1975 yılında Ebrahim Mamdani tarafından, deneyimli bir insan operatöründen elde edilen bir dizi dilsel kontrol kurallarını sentezleyerek bir buhar motoru ve kazan kombinasyonunu kontrol etme çabası olarak önerilmiştir [90]. Bu modelde hem girdi değişkenleri hem de çıktı değişkeni üyelik fonksiyonları ile ifade edilir [91]. Mamdani bulanık çıkarımı en yaygın görülen bulanık yöntemdir ve bulanık küme kuramı kullanılarak yapılan ilk kontrol sistemleri arasında yer almıştır. Mamdani'nin çabası, karmaşık sistemler ve karar süreçleri için bulanık algoritmalar konusunda Lotfi Zadeh'in 1973 tarihli makalesine dayanıyordu [92]. Mamdani tipi bir bulanık modeli oluşturan aşamalar:

- Bulanıklaştırma: Öncül kısımdaki bütün bulanık ifadeleri kullanarak, girdi değişkenleri için [0 1] aralığında üyelik derecelerinin belirlenmesi,
- Bulanık mantık işlemlerini kullanarak kural ağırlıklarının belirlenmesi,
- Bulanık küme mantıksal işlemcilerinin (VE-VEYA) uygulanması,
- Sonuçların toplanması: Her bir kuralın çıktısını temsil eden bulanık kümelerin birleştirilmesi,

- Durulaştırma: Tek bir sayıya dönüştürülmüş toplam bulanık küme sonuçlarının durulaştırılması [89].

Şekil 3.1.10’da gösterilen x ve y gibi sayısal iki değişkenli iki kuralı olan bir “Mamdani tipi bulanık modelde”, z çıkış değerinin C_i bulanık küme fonksiyonlarından hesaplanma yöntemi gösterilmiştir. Bu bulanık modelin hesaplanmasında kullanılan iki kural formu da yukarıda “Kural 1” ve “Kural 2” olarak verilmiştir.

Bulanıklaştırılan giriş verilerine daha önceden belirlenmiş kurallar uygulanır. Bu kurallar uygulanır iken, şartlar arasındaki “VE” ilişkisinde giriş üyelik değerlerinden en küçük olanı, “VEYA” ilişkisinde ise en büyük olanı seçilerek çıkış üyelik fonksiyonunda bu sayının altında kalan alan bulunur. Her bir kurala ait çıkış üyelik fonksiyon bölgeleri bulunduktan sonra bu alanlar çeşitli berraklaştırma yöntemleri yardımıyla kesin çıkış bilgisinin elde edilmesinde kullanılır [93].



Şekil 3.1.10 Mamdani Bulanık Mantık Modeli [94] [93]

3.1.3.2 TAKAGİ-SUGENO BULANIK MODELİ

Sugeno veya Takagi-Sugeno-Kang bulanık modeli Takagi, Sugeno ve Kang tarafından tanıtılmış ve ilk kez 1985 yılında kullanılmaya başlanmıştır [94]. Orijinleri itibarı ile Mamdani bulanık mantık yönteminin bir uyarlamasıdır. Bulanık çıkarım

sürecinin ilk iki bölümü, girişleri bulanıklaştırmak ve bulanık operatörü uygulamak işlemleri aynıdır. Mamdani ve Sugeno tipi bulanık modellemede temel fark Sugeno’da çıktı üyelik fonksiyonları doğrusal ya da sabit olmasıdır. Çıktı üyelik fonksiyonları sabit olduğu zaman sıfıncı derece, birinci dereceden bir doğru fonksiyonu olduğu zaman birinci dereceden “Sugeno bulanık model” olarak isimlendirilir. Bu modele ait en temel kural formu aşağıda gösterildiği gibidir;

Kural : Eğer Giriş1 = x ve Giriş2 = y, ise Çıkış z = ax + by + c

Sıfıncı dereceden bir sugeno model için z sabittir (a=b=0). Burada Giriş1 ve Giriş2, z f(x, y)’ye bağlı keskin çıkış veren bir fonksiyon olmasına rağmen, giriş değişkenlerinin bulanık kümeleridirler. z çıkış değişkeni değeri ise x ve y değişkenlerine bağlı bir polinom fonksiyondur. Fakat z çıkış değeri bulanık kuralın girişi tarafından belirtilmiş bölge içinde, bir sistemin çıkışını niteleyebildiği sürece herhangi bir fonksiyon da olabilir.

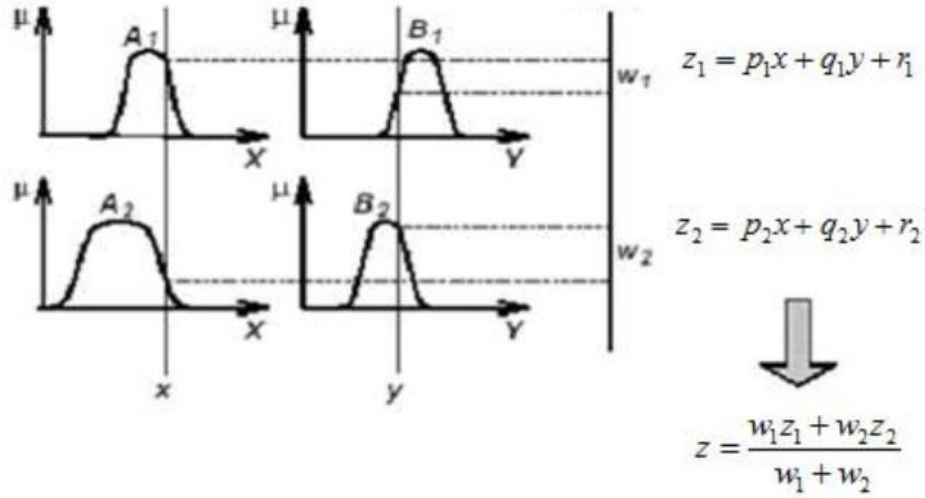
Şekil 3.1.11’de Birinci dereceden Sugeno bulanık modeline ait çıkarım mekanizması görülmektedir. Sugeno bulanık yönteminde hem girişim katsayılarının hem de kural ağırlıklarının uzman kişi tarafından oluşturulması ile ilgili oluşacak zorluklar nedeni ile, bu değerlerin herhangi bir optimizasyon algoritması aracılığı ile üretilmesi gerekir. Her bir kural keskin çıkış değerine sahip olduğu için, sonuç keskin çıkış değeri ağırlıklı ortalama ile üretilir. Bahsi geçen bu yöntem Mamdani modelindeki durulaştırma işleminde oluşan hesaplama ve zaman yükünü hafifletiren daha basit ve daha fonksiyonel bir yaklaşım olup, sistem modelleme ve kontrolör tasarımına daha yatkın bir çıkarım mekanizmasıdır.

Pratikte bazen ağırlıklı ortalama operatörü yerine,

$$z = ((w_1 z_1 + w_2 z_2) / (w_1 + w_2))$$

Eşitlik 3.1.2

Eşitlik 3.1.2’deki gibi z operatörü kullanılır. Bu sadeleştirme işlemi sayesinde, kuralların tetikleme katsayılarının toplamı “1” e $(\sum_i w_i = 1)$ yakınsamadıkça üyelik fonksiyonlarının dilsel anlamının kaybolmasına neden olabilir.



Şekil 3.1.11 Takagi-Sugeno Bulanık Mantık Modeli [89] [93]

Sıfırıncı dereceden bir Sugeno bulanık model komşu üyelik fonksiyonlarının kriterleri ile yeterince özdeşleşebildiği taktirde kendi giriş değişkenlerine bağlı olarak düzgün bir fonksiyon olur. Mamdani bulanık modelde ise, üyelik fonksiyonlarındaki örtüşmeler, ara değerlendirmenin düzgünlüğü üzerinde belirleyici etkiye sahip değildir. Numerik hesaplamalara uygunluk, doğrusal olmayan sistemlerin kontrolü için doğrusal yöntemler kullanımı, optimizasyon teknikleri ile performanslı çalışma ve matematiksel analizler için uygunluk gibi avantajlara sahiptir. Bunun yanında bulanık modellemede oldukça karmaşık bir yapı, giriş alt kümelerinin sayılarının artması ile karşılaşılan eğitilme zorlukları ve insan sezgilerinden uzak olmak gibi dezavantajlara da sahiptir [95].

Sugeno ve Mamdani bulanık sistem modelleri, giriş parametrelerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri açısından tamamen eşittir. Sugeno bulanık model, parametrelerinin optimize edilebilmesindeki basitliği yönünden Mamdani bulanık modelden daha elverişlidir (avantajlıdır). Bu iki bulanık sistem modellerini birbirlerinden ayıran en önemli özellik Mamdani modelde çıkış parametrelerinin tanımlanmasıdır. Sugeno tipi bulanık modellemede çıkış değerleri doğrusal ya da sabit fonksiyonken, Mamdani modelde çıkış değerleri üyelik fonksiyonları ile ifade edilir. Bu nedenle, Sugeno model Mamdani modelden daha karmaşık ve gösterim açısından daha elverişli olup, Sugeno tipi bulanık model uyarlanabilir tekniklerle birlikte kullanılabilir [89].

3.2 YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

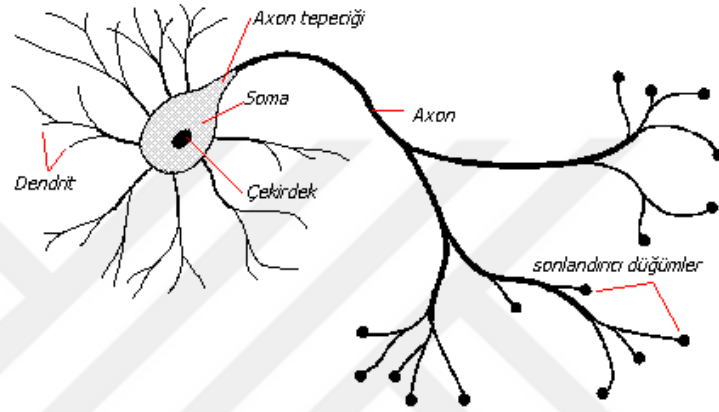
3.2.1 BİYOLOJİK SİNİR SİSTEMİ

Zekanın tanımı; Algılar ve kavramlar birlikteliği ile soyut veya somut nesnel arasında var olan ilişkileri kavrayabilme, soyut düşünme, yargılayabilme ve bu zihinsel işlevleri uyumlu olarak bir amaca yönelik olarak kullanabilme becerisi olarak yapılmaktadır. Zeka, kişinin doğarken sahip olduğu ve merkez sinir sisteminin işlevlerini kapsayan; öğrenme, deneyim ve çevresel etkenler ile şekillenen bir bileşimdir. İnsan beyinde 10 milyardan daha fazla sinir hücresi yer almakta ve her bir hücre yaklaşık olarak 10.000 hücre ile bağlantılı olarak işlevini yürütmektedir. Bu sinir hücrelerinde (Nöronlarda) sinyaller karmaşık elektro-kimyasal işlemler zinciriyle oluşan ve saniyede 1000 taneye kadar olabilen titreşimler şeklinde iletilmektedir. Biyolojik sinir sistemi, merkezinde bilgiyi alan, değerlendiren ve uygun kararlar üreten merkezinde beyin olduğu üç katmanlı bir yapıdır. Alıcı sinirler yapı içerisinde veya dış ortamlardan topladıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri ise, beyin tarafından üretilen elektriksel darbeleri yapı dışına çıktı olarak uygun tepkiler şeklinde dönüştürür. Merkezi sinir sisteminde ise bu veriler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir (Şekil 3.2.1). Merkezi sinir sisteminin temel işlem elemanı, sinir hücresidir (nöron) ve insan beyinde yaklaşık 10 milyar nöron olduğu öngörülmektedir. Dendritler, öteki hücrelerden aldıkları bilgileri hücre gövdesine (soma) bir ağaç dallanması biçiminde ince yollarla iletir. Aksonlar ise elektriksel darbeler formundaki bilgiyi hücre dışına taşıyan uzun bir yoldur. Aksonların bitimi, ince yollara ayrılabilir ve bu yollar, diğer hücreler için dendritleri oluşturur. Şekil 3.2.2’de görüldüğü gibi akson-dendrit bağlantı elemanı sinapsis olarak söylenir.



Şekil 3.2.1 Sinir Sisteminin Blok Gösterimi

Bu yapının görevi bilgiyi işlemek, değerlendirmek ve merkezi sinir sisteminde depolanan bilgiyle karşılaştırmaktır. Bu işlemler sonucunda komutlar merkezi sinir sisteminde üretilerek motor organlara iletilir. Motor organlar eylemi doğrulayan geri beslemeli bağlantılarla merkezi sinir sistemini denetler ve yönetir. Hem iç hem de dış geri beslemeli kontrol, komutlar ile gerçekleştirilir. Açıkça görüldüğü üzere gibi tüm sinir sisteminin yapısı kapalı-çevrim bir kontrol sistemini modellemektedir [96].



Şekil 3.2.2 Biyolojik Sinir Hücresi ve Bileşenleri

İnsan beyni gücünü, nöronlar arasındaki çoklu bağlantılar, ilişkiler ve nöronların genetik programlanma ve öğrenme yeteneklerinden almaktadır. Özet olarak nöronlar, farklı bölümlere ayrılmış alt sistemler ve kontrol mekanizmalarına sahip oldukça karmaşık yapılardır [97].

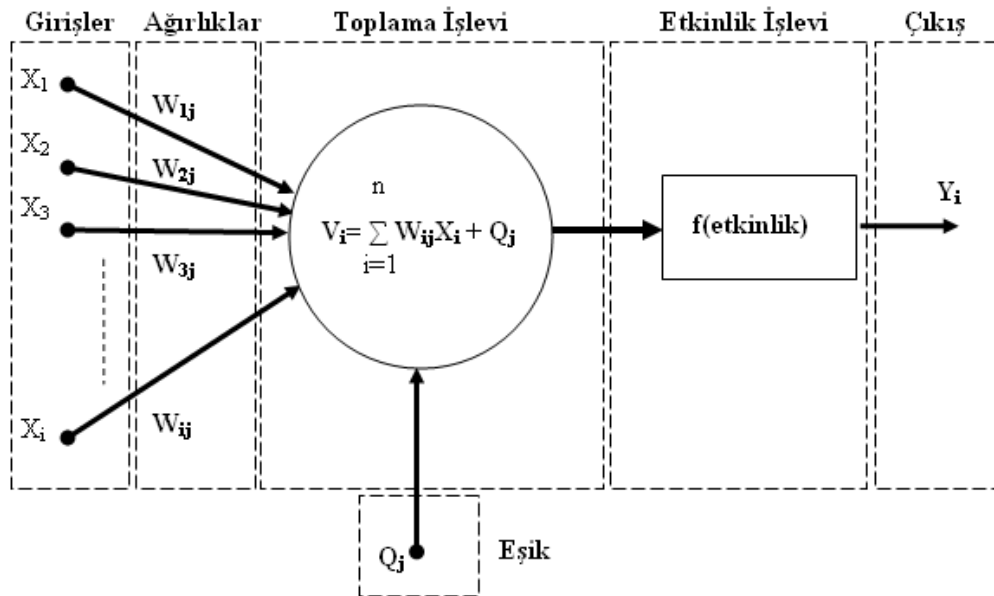
3.2.2 YAPAY SİNİR AĞI

Bilim insanları, insan beyninin özelliklerden yola çıkarak beynin nörofiziksel yapısını incelemiş ve matematiksel modelini çıkartmak için yoğun çalışmalarda bulunmuşlardır. Yapay Sinir Ağları bu çalışmaların sonucunda günümüz bilgisayarlarının algoritmik işlem gerçekleştirme yönteminden farklı ve yeni bir yöntem ile ortaya çıkmıştır. YSA, nöronların aralarında bağlanmasından oluşur ve genellikle farklı katmanlar şeklinde organize edilir. Donanımsal devrelerle veya bilgisayar yazılımlarla gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemini modelleyen YSA, modelin eğitilmesi ile başlayan bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları sayesinde bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip olan

paralel olarak dağıtılmış bir sistemdir. YSA'nın gücü olan öğrenme süreci, hedeflenen sonucu üretmek için farklı katmanlardaki nöronlar arasındaki ağırlıklarının güncellenmesini yöneten öğrenme algoritmalarını içerir [98].

YSA nöron modeli, biyolojik sinir hücresinin yapısına göre daha basit bir yapıdadır (Şekil 3.2.3). Temel bir YSA hücresinde girişler (input), ağırlıklar (weight), toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar (output) bulunmaktadır. Sisteme giren (alınan) veriler ağırlıklar yardımıyla nörona iletilir ve bu ağırlıklar ilgili girişin ağ üzerindeki etkisini belirlerler. Toplam fonksiyonu ise ağ girişini hesaplar. Ağ giriş, girişlerle bu girişlerle ilintili (bağlantılı) ağırlıkların çarpımının bir çıktısıdır. Etkinlik (aktivasyon) fonksiyonu ise işlem süresince ağ çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron (hücre) çıkışını belirler. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan (nonlinear) bir fonksiyondur [99].

YSA bilgi işleme yeteneğini, paralel olarak dağılmış mimarisinden, eğitilerek öğrenme ve genelleme yapabilme kabiliyetinden almaktadır. Genelleme yeteneği, eğitim esnasında karşılaşılmayan değerler için de YSA'nın elverişli tepkileri üretmesidir. **YSA doğrusal olmama, öğrenme, genelleme, uyarlanabilme, hata toleransı, donanım ve hız, analiz ve tasarım kolaylığı gibi özellikleri sayesinde problemlerin YSA ile çözümünde önemli kolaylıklar getirmektedir [100] [101].**



Şekil 3.2.3 Temel Yapay Sinir Ağı Hücresi [100]

Nöronlar, tek olarak incelendiklerinde oldukça basit işlemlere sahip işlemcilerdir ve üç ana bölümden oluşmaktadırlar. Sırasıyla sinapsisler, toplayıcılar ve aktivasyon fonksiyonlarıdır. Şekil 3.2.3'te görüldüğü üzere: giriş değerleri sinaptik bağlantılar sahip oldukları ağırlıklar ile çarpılır, bir toplayıcıya uygulanır ve üretilen sonuç, nöronun aktivasyon fonksiyonundan geçirilir ve sonuçta çıkışlar hesaplanır (Eşitlik 3.2.1 ağırlıklı toplamın oluşturulması, Eşitlik 3.2.2 çıkışın hesaplanması).

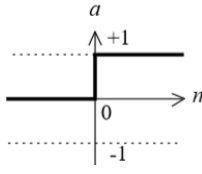
$$s = w_1u_1 + w_2u_2 + w_3u_3 + \dots + w_nu_n - Q = \sum_{i=1}^n w_iu_i - Q \quad \text{Eşitlik 3.2.1}$$

$$y = f(s) \quad \text{Eşitlik 3.2.2}$$

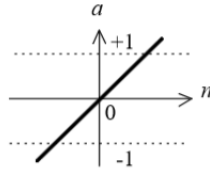
$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_iu_i - Q\right) = f(\underline{w} \cdot \underline{u} - Q)$$

Her girişteki değişim, nöronun çıkışında belirli bir değişim oluşturmaktadır ve bu değişim genliği, girişin model üzerindeki etki derecesini belirleyen bağlantı ağırlıklarına (w_i), toplayıcının eşik değerine (Q) ve nöron aktivasyon fonksiyonunun tipine ($f(s)$) bağlıdır. Eşitliklerinde açıkladığı gibi eşik değeri girişlerden bağımsızdır ve bu durum bütün girişlerin sıfır olması durumunda nöron çıkışında yani $f(0)$ yerine $f(s)$ değerinin gözlenmesini ve bu durumda nöron çıkışının 0 olması gerekliliğini ortadan kaldırır. Eşik değerinin kullanımı, pratikte +1 ya da -1 değerine sahip bir girdinin Q ağırlığına sahip bir bağlantı ile toplayıcıya girdi şeklinde ele alınmasıdır [102].

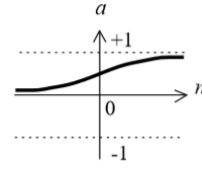
Yukarıdaki eşitliklerde görülen “f” aktivasyon fonksiyonudur. Bu fonksiyon hücreye giren net veriyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşı üreteceği çıktıyı hesaplar. Aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Aktivasyon fonksiyonu belirlenirken göz önünde bulundurulması gerekli husus ise fonksiyonun türevinin kolay alınabiliyor olmasıdır. Genelde doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonunun çeşitli tipleri vardır (Şekil 3.2.4) [103].



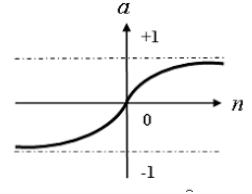
**Şekil 3.2.4.a Eşik
Aktivasyon
Fonksiyonu**



**Şekil 3.2.4.b
Doğrusal
Aktivasyon
Fonksiyonu**



**Şekil 3.2.4.c
Logaritma
Sigmoid
Aktivasyon
Fonksiyonu**



**Şekil 3.2.4.d
Tanjant Sigmoid
Aktivasyon
Fonksiyonu**

YSA'da hangi aktivasyon fonksiyonunun seçileceği problemin doğasına bağlı olarak değişmektedir [99]. Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen değer hücrenin çıktısıdır. Bu değer dış sistemlere veya başka bir hücreye giriş olarak gönderilir. Hücreler ürettikleri çıktıları tekrar kendisine girdi olarak da gönderebilir. Bir işlem elemanının birden fazla girdisi olabilmesine karşın sadece bir çıktısı olabilir [97].

3.2.2.1 YAPAY SİNİR AĞLARI MODELİ

YSA, hücrelerin birbirleri ile farklı formlarda bağlanmaları ile oluşur. Hücre çıkışları, ağırlıklar üzerinden komşu diğer hücrelere veya kendi girişlerine bağlanabilir ve bağlantılarda gecikme üniteleri de olabilir. Hücrelerin bağlantı formlarına, öğrenme kurallarına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre YSA modelleri geliştirilmiştir [99].

3.2.2.1.1 İLERİ BESLEMELİ YAPAY SİNİR AĞLARI

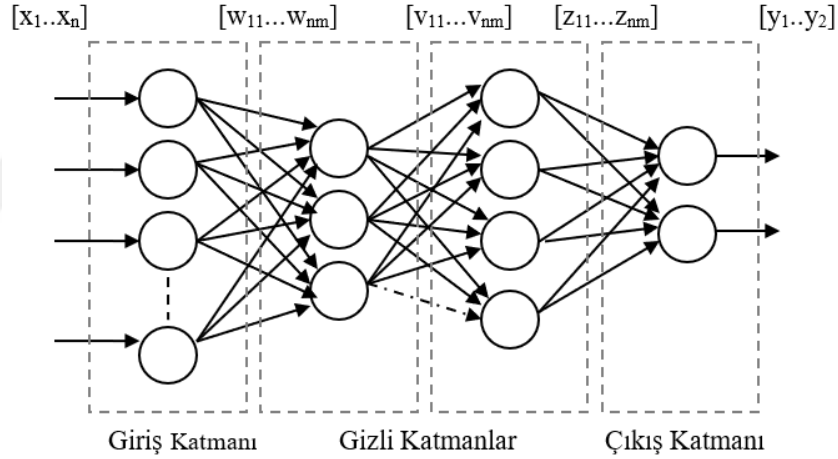
İleri beslemeli Yapay Sinir Ağlarında, giriş verileri n boyutlu girdi vektörü ile giriş katmanı aracılığı ile ağa sunulur, ağırlık değerleri ile buldukları katmanlarda hesaplanarak, sonuç komşu katmandaki tüm nöronlara iletilerek nöronlar arasında tam bir bağlantı yapılır. Gecikmeler yoktur ve işlem girişlerden çıkışlara doğru sürekli ileri yönde devam eder. Üretilen çıkış değerleri istenen çıkış değeriyle karşılaştırılıp bir hata değeri elde edilir ve ağdaki tüm ağırlık değerleri güncellenir [97].

İleri beslemeli YSA'ların prensipleri özetlendiği gibidir:

- Katmanlar ardışık olarak ve bir katmandaki nöronların çıkışları bir sonraki katmandaki nöronlara ağırlıklar üzerinden giriş olarak uygulanır ve veri akışı sürekli ileri yönlüdür,
- Gizli katmanlardaki nöronların doğrusal olmayan davranışları nedeni ile ağda genel olarak doğrusal olmayan yapıya sahiptir,

- Giriş ve çıkış katmanlarındaki nöron sayısı problemin yapısına göre şekillenirken, gizli katmanların yapısının belirlenmesine yönelik analitik bir yöntem henüz belirlenmemiştir. Kişisel tecrübe veya deneme yanılma yöntemi ile veya farklı optimizasyon çözümleri ile en uygun çözüm belirlenir,
- Çok katmanlı ileri beslemeli ağlar, rasgele $g : R^n \rightarrow R^m (g(x) = z)$ yapılandırmalarını gerçekleştirdikleri için oldukça yaygın bir kullanım alanı bulmuşlardır [97].

Şekil 3.2.5'te ileri beslemeli çok katmanlı bir sinir ağı yapısı verilmektedir, açıkça anlaşılacağı üzere veriler hep ileri yönde ilerlemektedir ve giriş katmanı kendisine verilen verileri değiştirmeden gizli katmanlara ağırlık değerleri üzerinden yönlendirir.



Şekil 3.2.5 İleri Beslemeli Çok Katmanlı Yapı [100]

İlk gizli katmana birinci sıradaki nöron üzerine verilecek olan giriş değeri, Eşitlik 3.2.3 ile gösterilecek olursa ve bu şekilde temsil edilen fonksiyon genelleştirilerek Eşitlik 3.2.4 elde edilir.

$$Gizli[1 - 1] = x_1 w_{11} + x_2 w_{21} + x_3 w_{31} + \dots + x_n w_{n1} \quad \text{Eşitlik 3.2.3}$$

$$s_i^{k+1} = \sum_{j=1}^{n_k} w_{ij}^k o_j^k \quad \text{Eşitlik 3.2.4}$$

$$o_i^{k+1} = f(s_i^{k+1})$$

Eşitlik 3.2.4’de $f()$ aktivasyon fonksiyonu için ileri beslemeli YSA modellerinde en önemli olan parametre türevi olan bir fonksiyon olmasıdır. Aksi takdirde hata geriye yayma yönteminde kullanılamaz. Hata geri yayılma yöntemi (Back Propagation), doğrusal olmayan problemlerde ağ parametrelerinin güncellenmesi (ağırlık değerleri) için en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, ikinci dereceden bir fonksiyonunun zamana bağlı olarak, ağ parametrelerinin uyarlanarak kademeli şekilde azaltılmasına dayanmaktadır [102]. Hata geriye yayılma yönteminin asıl noktası eğim düşümü yöntemine uygun olarak, yani Eşitlik 3.2.5’de verilen tek parametrelili bir fonksiyonunun en küçük değerini aldığı noktanın Eşitlik 3.2.6 bağıntısı ile verilen kural (fonksiyona ait kısmi türev) ile yenilemeli olarak bulunabilmesine dayalıdır. Bunu daha iyi açıklayabilmek için belirtilen iki eşitliğe ait fonksiyon grafikleri aynı eksen üzerinde çizdirilir (Şekil 3.2.6).

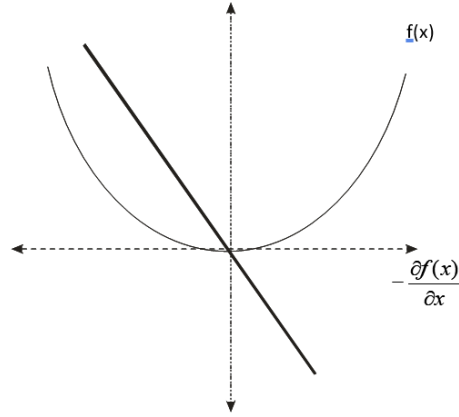
$$f(x) = \frac{1}{2}x^2$$

Eşitlik 3.2.5

$$\Delta x = -\alpha \frac{\partial f(x)}{\partial x}$$

Eşitlik 3.2.6

Şekil 3.2.6’da gözlenen durum yorumlanacak olursa; parametrenin negatif olduğu bölgede sola doğru yönelme, pozitif olduğu bölgede ise sağa doğru yönelme mevcuttur. Burada önemli olan, α değişkeninin alacağı değerdir. Pratikte “öğrenme katsayısı” ya da “adım büyüklüğü” olarak bilinen bu değer çok küçük ise, hata uzunca bir süre orijine doğru yaklaşırken (azalırken), büyük olarak seçilen bir değer orijin etrafında salınımlara veya uzaklaşmalara sebep olur [100].



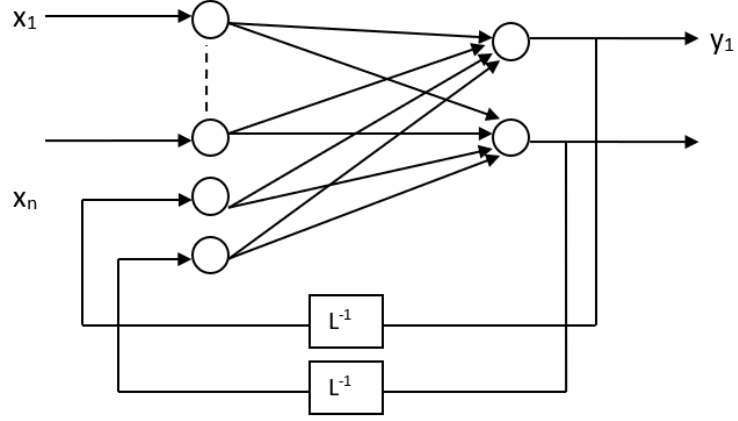
Şekil 3.2.6 Eğim Düşümü Yönteminin Grafiksel Yorumu

3.2.2.1.2 GERİ BESLEMELİ YAPAY SİNİR AĞLARI

Geri beslemeli YSA'larda, en az bir nöronun çıkışı kendisine ya da diğer nöronlara giriş olarak sunulur. Genellikle geri besleme modele dahil edilen bir geciktirme elemanı ile yapılır. Bu işlem, bir katmandaki nöronların kendi aralarında yapılabileceği gibi katmanlar arasındaki nöronlar arasında da yapılabilir. Yapısındaki bu özelliği ile geri beslemeli YSA'lar, doğrusal olmayan dinamik davranış gösterir. Görüldüğü üzere, kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler söz konusudur. Ağın t anındaki çıkışı $o(t)$ ise, $t + \Delta$ anındaki çıkışı ise $o(t + \Delta)$ 'dir. Buradaki Δ sabiti sembolik anlamda gecikme süresidir. İleri beslemeli YSA notasyonu kullanılarak $o(t+\Delta)$ Eşitlik 3.2.7'de verildiği gibi oluşturulabilir:

$$o(t + \Delta) = f[w.o(t)]$$

Eşitlik 3.2.7



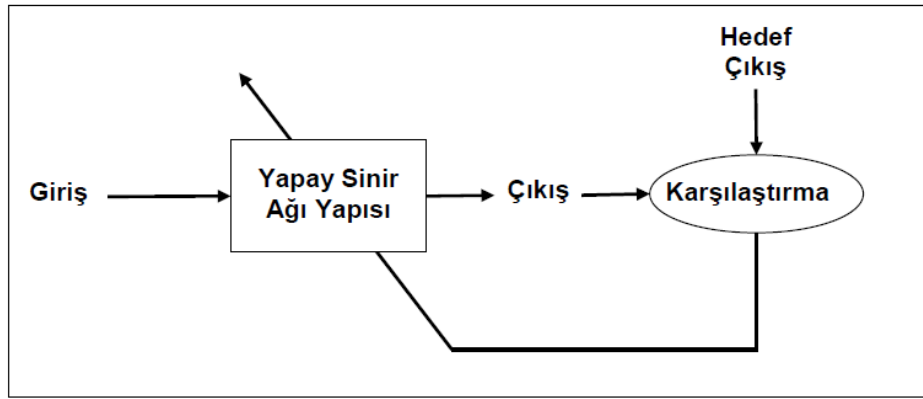
Şekil 3.2.7 Geri Beslemeli Yapı

3.2.2.2 YAPAY SİNİR AĞLARININ EĞİTİLMESİ VE ÖĞRENME ALGORİTMASI

Beyin yaşadıkça gelişir ve tecrübe kazanır, bu gelişme sürecinde çevresinden duyu organları aracılığıyla aldıkları verileri yorumlar ve bunlardan ürettiği sonuçları diğer davranışlarında kullanır. Bu süreç ile devam eden döngü içerisinde olaylar karşısında nasıl tepkiler vereceğini çoğu zaman bilir fakat yine de hiç karşılaşmadığı olaylar karşısında tecrübesiz kalabilir. Yapay Sinir Ağları (YSA)'nın öğrenme sürecinde de veriler, canlı organizmaların tıpkı dış ortamdan vücudun algılama organlarıyla uyarıları toplaması gibi dış ortamlardan girişler aracılığı ile alınır. Aynı beyin merkezine iletilerek burada değerlendirilip tepki üretilmesi gibi YSA'da da aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki üretilir. Bu tepki çıktısı yine tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Farklı öğrenme algoritmalarıyla hata indirgenip gerçekte olması gereken değere yaklaştırılmaya çalışılır. Bu süreçte güncellenen her çevrimde yenilenen YSA ağırlıklarıdır. YSA verilen giriş-çıkış çiftleri ile kabul edilebilir ölçülerdeki sonuçları üretir ise ağırlık değerleri saklanır ve YSA modellenmiş olur. Öğrenme olarak adlandırılan durum ağırlık güncellemelerinin sürekli yenilenerek güncellenmesi ile istenilen sonuca ulaşılan kadar geçen zamandır ve YSA için en önemli kavramlardan birisidir. YSA öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girişler verilir, sinir ağı çıkışıyla gerçek çıkışın yaklaşımı incelenir. Eğer yeni verilen örneklere de doğru yaklaşıyorsa sinir ağı işi öğrenmiş demektir. Eldeki verilerin büyük bir kısmı YSA'nın eğitilmesi için kullanılırken diğer kalan kısmı ile modelin başarısı sınanarak test edilir.

YSA'ların eğitilmesi için farklı öğrenme paradigmaları problemlerin yapısına göre seçilerek uygulanır.

Aslında öğrenme, yapay sinir ağı sistemini oluşturan katsayıların farklı yöntemler kullanılarak hesaplanması işlemine denilir. Öncelikle YSA'nın amacı belirlenmeli diğer bir ifade ile giriş ve çıkışlarının neler olması gerektiğinin belirlenmesi demektir. Eğitim çiftleri oluşturulduktan sonra Şekil 3.2.8'de görüldüğü gibi her bir eğitim girişleri için modelin çıkışı hesaplanır. Hesaplanan bu çıkışlar ile eğitimde kullanılan gerçek veri çıkışları karşılaştırılarak sistemdeki hata hesaplanır. Sonuç olarak da eğitim algoritmaları kullanılarak sistem eğitilmesi sağlanır.

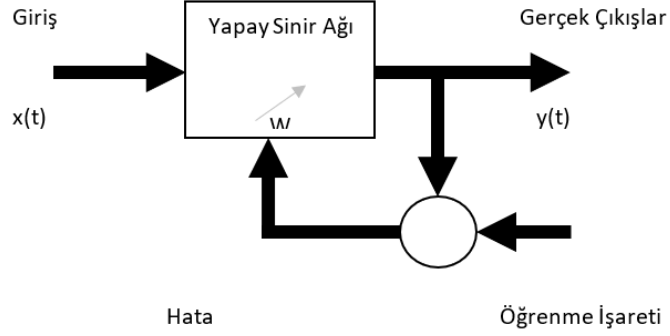


Şekil 3.2.8 Yapay Sinir Ağı Katsayılarının Ayarlanması Şematik Gösterimi

3.2.2.2.1 DANIŞMANLI ÖĞRENME (SUPERVISED LEARNING)

YSA çözümlerinin büyük bir çoğunluğunda kullanılan öğrenme kuralıdır. Bu yöntem, ağ tarafından hesaplanan çıkış değerleri olması gereken gerçek çıkış değerleri ile karşılaştırılarak ağ parametrelerinin güncellenmesi esasına dayanır. Başlangıç ağırlıkları rasgele seçilir ve bir sonraki yineleme değerleri göz önüne alınarak ağırlıklar güncellenir. Böylelikle de gerçek değerler ve hesaplanan değerlerinin birbirine yaklaşması ve tüm işlem elementlerindeki hatanın mümkün olan en küçük değerine ulaşması hedeflenir. Danışmanlı öğrenme metodunda, ağ kullanışlı hale gelmeden önce eğitilmesi zorunludur. Eğitim, "Eğitim Seti" olarak bilinen giriş ve çıkış verilerinin ağa sunulmasından oluşmaktadır. Eğitim için kullanılacak olan setinin yapısı ağ performansı ve öğrenmenin gerçekleşme süreci için önemlidir. İlgili problemin tüm ilişkisel yapısını ve özelliklerini

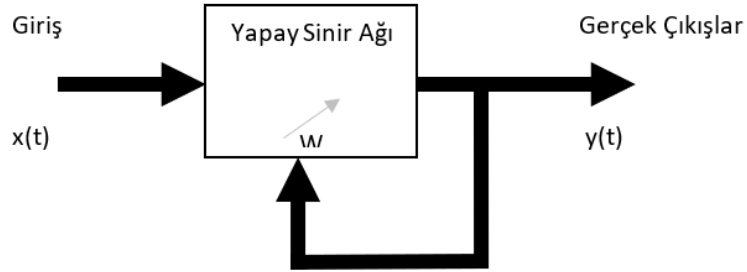
en iyi şekilde temsil edecek veri setinin organize edilmesi ve modellenmesi ile sonuca ulaşmak daha hızlı ve güvenilir olacaktır.



Şekil 3.2.9 Danışmanlı Öğrenme Yapısı

3.2.2.2.2 DANIŞMANSIZ ÖĞRENME (UNSUPERVISED LEARNING)

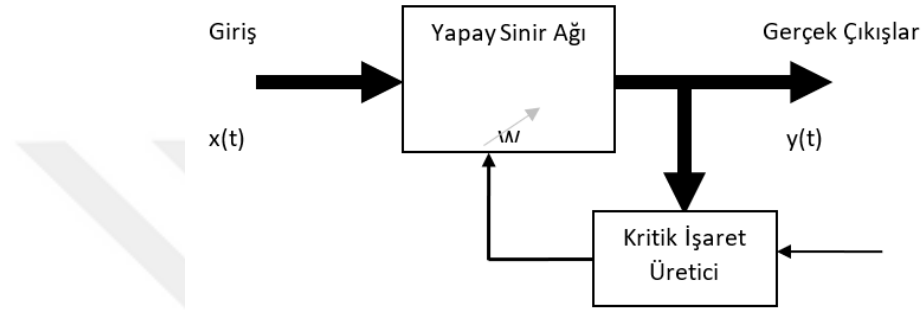
Danışmansız öğrenme algoritmasında, danışmanlı öğrenmeden farklı olan hedef istenilen çıkış değerleri bilinmemesidir. Bu sebeple kesin bir hata bilgisinin ağın davranışını değiştirmek için kullanılması mümkün değildir. Sonucun doğruluğu veya yanlışlığı hakkında bilgi sahibi olunmadığı için öğrenme, girişlerin verdiği cevaplar gözlenerek başarıya ulaşılır. Yani, dışardan herhangi bir etki olmaksızın nöronlar arasındaki ilişki kendi kendine oluşur.



Şekil 3.2.10 Danışmansız Öğrenme Yapısı

3.2.2.2.3 TAKVİYELİ ÖĞRENME

Danışmanlı öğrenmeye yakın bir öğrenme metodudur. Takviyeli öğrenme algoritması, istenilen çıkışın bilinmesine gerek duymaz. Hedef çıktıyı vermek için bir öğretmen yerine burada Yapay Sinir Ağlarına bir çıkış verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşı iyiliğini değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır.



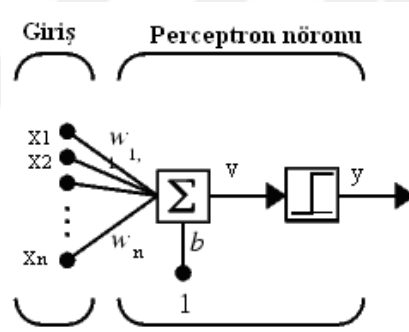
Şekil 3.2.11 Takviyeli Öğrenme Yapısı

3.2.2.3 ÖĞRENME ALGORİTMASI

YSA uygulamalarında modellerin eğitilmesi için birçok öğrenme algoritması kullanılmaktadır ve bunların çoğu en eski öğrenme algoritması olan “Hebb Öğrenme Algoritmasının” türevleridir [99]. Öğrenme algoritmaları ile ilgili yapılan çalışmaların birçoğunda, araştırmacılar biyolojik sinir sisteminin davranış yapısını araştırmaya temel olan algoritmanın merkezine koyarak bunun çerçevesinde modellenmeye çalışmışlardır. Diğer bazı araştırmacılar ise öğrenmenin doğası ile kendi algılamalarını uyarlamaya çalışmaktadır [97].

İlk ve en basit öğrenme kuralı olarak bilinen “Hebb Kanunu”, Eğer ağ içerisinde birbirine bağlı iki hücre (nöron) aynı anda “on” durumunda ise, bu anda bu iki ünite arasındaki ağırlık değerlerinin artması beklenilir ve sinapsislerin gerilimlerinin (ağırlıklarının) ayarlanması ile öğrenmenin oluşacağını ön görür. Başka bir ifade ile eğer bir sinir başka bir sinirden giriş alırsa ve her ikisi de aktif (on) ise (matematiksel olarak aynı işaretli), sinirler arasındaki boyut kuvvetlenir [99] [97] [96]. Hebb kuralı kendisinden sonra geliştirilen birçok kural için temel ve çıkış noktası olmuştur. Perceptron (Basit Algılayıcı) Modeli, temelinde hebb kanununu kullanan fakat daha

güçlü olarak geliştirilmiş ve temel nöron modeline çekirdek teşkil eden öğrenme algoritmasıdır. Tek katmanlı işlem birimidir ve tek bir girdi ve çıktı katmanından oluşmaktadır. Çıktı üniteleri bütün girdi ünitelerine bağlanmaktadır ve her bağlantının bir ağırlık değeri vardır. En basit tek katmanlı sinir ağı modeli Perceptron 'dur. İlk olarak Rosenblat tarafından örüntü (şekil) sınıflandırma amacı ile geliştirilmiştir [26]. Bir sinir hücresinin birden fazla girdiyi alarak bir çıktı üretmesi prensibine dayanmaktadır. Basit olarak bir Perceptron hücresi, algılama, ilişkilendirme ve cevap üniteleri olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.2.12). Çıktının değerinin hesaplanmasında eşik değer fonksiyonu kullanılır. Perceptron eğitilebilen tek bir yapay sinir hücresinden oluşmaktadır. Girdiler ağa sunulmaktadır ve her girdi setine karşılık gelen çıktı değerleri de ağa gösterilmektedir. Daha sonra öğrenme kuralına göre ağın çıktı değeri hesaplanır. Eğer ağın çıktısı olması gereken çıktıdan farklı ise ağırlıklar ve eşik değerleri yeniden ayarlanır.



Şekil 3.2.12 Basit Perceptron Yapısı

Perceptron öğrenme modelinde öğrenme eğitim ve test olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Eğitim aşamasında, farklı özelliklere sahip iki vektör grubunu birbirinden ayırmayı sağlayan ağırlıkları elde etmek amaçlanır. Test aşamasında ise, eğitim sürecinde kullanılmamış ve ağırlıkların oluşumuna katkıda bulunmamış olan, fakat yine iki gruptan birine girdiği bilinen rasgele giriş vektörleri kullanılır.

ALGORTİMA

Adım 0 Başlangıç ağırlıkları ve bias oluşturulur. Basit olarak

$$w_i = 0 \quad (i=1 \text{ den } n' \text{ ye kadar})$$

$$b=0$$

Öğrenme oranı parametresi belirlenir ($0 < \alpha \leq 1$). Basit olarak $\alpha = 1$

Adım 1 Eğitimin bitirilmesi için gereken şart sağlanana kadar Adım 2 ile Adım 6 arasındaki işlemleri gerçekleştir.

Adım 2 Tüm eğitim çiftleri için (giriş, çıkış) Adım 3 ile Adım 5 arasındaki işlemleri gerçekleştir.

Adım 3 Eğitim gurubundaki girişleri ağa sunulur

Adım 4 Çıkış ünitesinin, ağa giren veriler için cevabını hesaplanır:

$$y_{in} = b + \sum_i x_i w_i$$

$$y = \begin{cases} 1 & \text{şart } y_{in} > Q \\ 0 & \text{şart } -Q \leq y_{in} \leq Q \\ -1 & \text{şart } y_{in} < -Q \end{cases}$$

Adım 5 Girilen eğitim grubu için ağırlıklar ve bias değeri düzenlenilir
Eğer Hesaplanılan değer \neq Beklenen değer ise

$$w_i(\text{yeni}) = w_i(\text{eski}) + \alpha x_i$$

$$b(\text{yeni}) = b(\text{eski}) + \alpha t$$

Aksi takdirde

$$w_i(\text{yeni}) = w_i(\text{eski})$$

$$b(\text{yeni}) = b(\text{eski})$$

(formülde t ile beklenen değerini (ağa sunulan giriş, çıkış veri setlerinde çıkış değerini) temsil etmektedir.)

Adım 6 Eğitimin bitirilmesi için gereken şart kontrol edilir. Eğer Adım 2' de hiçbir ağırlık değişimi olmuyor ise eğitim bitirilir, aksi takdirde devam edilir (Fausett 1994).

Ağırlık bağlantıları aktif olan, yani giriş ünitesindeki değer $x_i \neq 0$ olan ağırlıklar yeniden düzenlenir. Belirtilen bu ifadeye ilave olarak, ağırlıklar çıkış değerinin doğru olarak hesaplanmadığı durumlarda yeniden düzenlenir.

3.3 SİNİRSEL BULANIK MANTIK

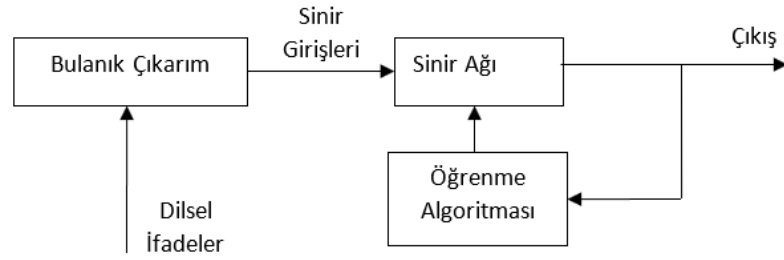
Sinirsel bulanık mantık, bulanık mantık (BM), yapay sinir ağları (YSA) ve uzman sistemler (UZ) gibi bütün yapay zeka teorilerinin kendilerine has yeteneklerini birleştiren bir yaklaşımdır. Bölüm 3.2 de özet olarak incelendiği üzere, YSA yaklaşımının en temel özelliği öğrenebilme yeteneğidir. Bu özelliğinin yanında önemli dezavantajlarından biri öğrenme sonuçlarının çok geniş parametre kümelerinde temsil edilebilmesidir. Bu sebepten dolayı sonuçların kelimeler ile ifade edilmesi imkansızdır. Yine bölüm 3.1’de incelendiği gibi BM’nin temeli doğal dillerde olduğu gibi insanın düşünüş tarzına çok yakın olmasıdır. Fakat kuralları kendisi öğrenemez, UZ veya kişilerin görüşlerine bağlıdır.

İşte sinirsel bulanık mantığın anahtar faktörü burada ortaya çıkmaktadır. Sinirsel bulanık mantık yaklaşımı, YSA’ların öğrenme kabiliyeti ve bağlantılı yapılar gibi, BM’nin insan yetisinde karar verebilme ve uzman bilgisini sağlama kolaylığı gibi avantajlarının birleştirilmesi fikrini ortaya koymaktadır. Bu yöntemle, BM sistemlerine, YSA’ların öğrenme ve hesaplama kapasitesi verebilirken, YSA’lara da bulanık denetim gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama becerileri kazandırılmaktadır.

Sinirsel bulanık denetim sistemi kendi yapısını oluşturacak değişkenlerin değerlerini belirlemek için YSA ve BM tekniklerini kullanmaktadır. BM denetleyicilerde yapısal ayarlama ve değişken ayarlama şeklinde iki farklı ayarlama mevcuttur. Yapısal ayarlama kısmında, hesaplanacak değişkenlerin sayısı, kuralların sayısı, her bir giriş çıkış değişkeninin tanım uzaylarının bölümlenmesi gibi bulanık mantık kuralı yapılarının ayarlarından oluşur. Elverişli kural yapısının belirlenmesinin ardından, denetleyici değişkenlerin ayarlanması gereklidir. Değişkenlerin ayarlanması bölümünde üyelik işlevlerinin uygun merkezleri, eğimleri, genişlikleri, bulanık mantık kurallarının ağırlıkları hesaplanır [100].

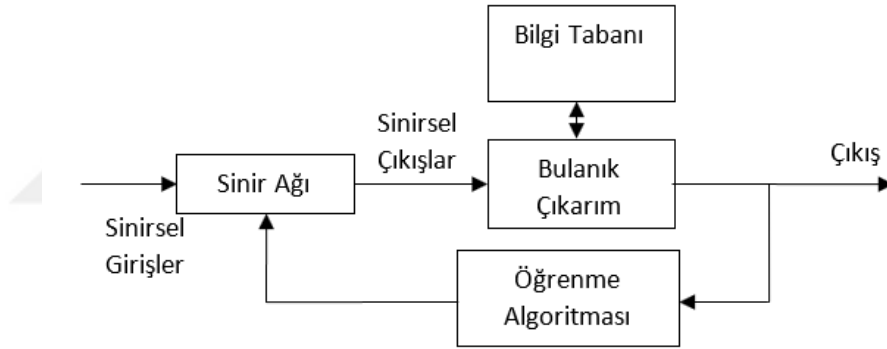
3.3.1 SİNİRSEL BULANIK MANTIK AĞ YAPILARI

Sinirsel Bulanık Ağ Yapıları en genel olarak iki farklı yapıdan oluşmaktadır. Birinci yapıda (Şekil 3.3.1) bulanık çıkarım; dilsel terimlere veya ifadelere göre oluşturduğu çıkışlar, çok katmanlı sinir ağına giriş vektörü olarak uygulanmaktadır. Bu yapıda, sinir ağı eğitilerek istenen çıkışlar sağlanmaktadır.



Şekil 3.3.1 Sinirsel Bulanık Mantık Sisteminin Birinci Yapısı [100]

İkinci sinirsel bulanık mantık yapısında (Şekil 3.3.2) ise çok katmanlı sinir ağının çıkışları bulanık çıkarım mekanizmasını sürmektedir.



Şekil 3.3.2 Sinirsel Bulanık Mantık Sisteminin İkinci Yapısı [100]

Bulanık mantık yaklaşımında uzman bilgilerden elde edilen kurallar dilsel ifadeler ile etiklendiği halde genellikle tasarım; deneme yanılma yöntemiyle yapıldığından uzun zaman almaktadır. Sinir ağları kullanılarak bu kurallar oluşturulabilmektedir. Sinirsel bulanık mantık yaklaşımında, sinir ağları bulanık mantık sistemlerin karar verme sürecinin üyelik işlevlerini uyarlamada kullanılmaktadır.

3.3.1.1 ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System – Adaptif Ağ Yapılı Bulanık Sonuç Çıkarım Sistemi)

ANFIS mimarisi, Sugeno tipi bulanık mantık sistemlerinin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ modeli olarak temsilinden ibarettir. Bu ağ yapısı, her biri tanımlı bir fonksiyonu gerçekleştirme görevini üstlenmiş, farklı katmanlar halinde yerleştirilmiş düğümlerin birbirleri ile birleşmesinden oluşmaktadır [95].

Bulanık çıkarım sisteminin, x ve y olarak iki girişi ve z olarak bir çıkışı olduğu varsayalım. İki tane bulanık Eğer-İse kuralı bulunan, birinci dereceden Sugeno bulanık modeli için tipik kural formu;

$$\begin{array}{ll} \text{Kural-1} & \text{Eğer } x \text{ } A_1 \text{ ise ve } y \text{ } B_1 \text{ ise O halde} & f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \\ \text{Kural-2} & \text{Eğer } x \text{ } A_2 \text{ ise ve } y \text{ } B_2 \text{ ise O halde} & f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \end{array}$$

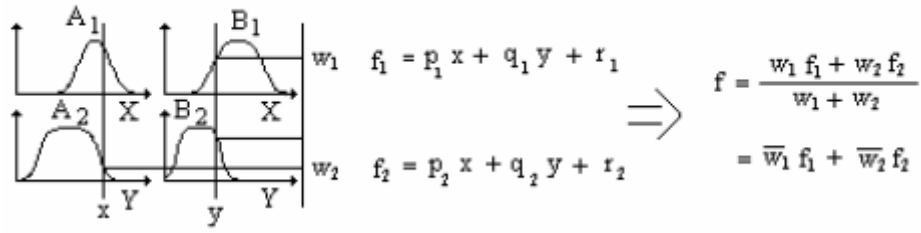
şeklinde gösterilir. Şekil 3.3.3'te bu sugeno bulanık modeli için akıl yürütme mekanizması gösterilmektedir. Bu yapıyı temsil eden, eşdeğer ANFIS mimarisine ait grafik Şekil 3.3.4'te gösterildiği gibidir. Söz konusu bu ANFIS mimarisi için aynı katmanda bulun düğümler, aşağıda da gösterildiği üzere aynı düğüm fonksiyonlarına sahiptirler. (Burada I. Katmandaki i. düğümün çıkışı $O_{I,i}$ şeklinde belirtilmiştir.)

KATMAN I:

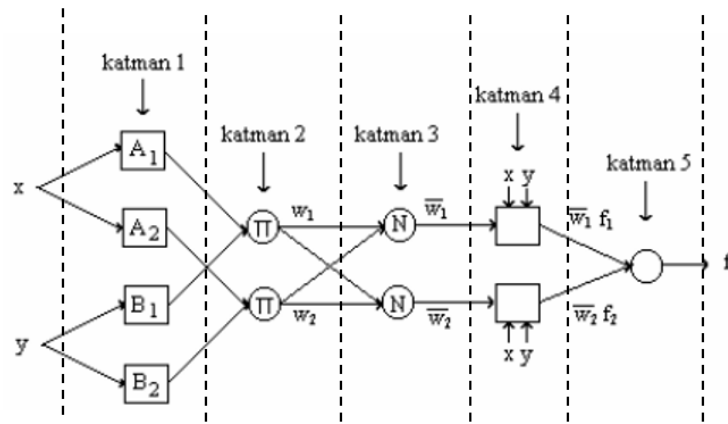
Bu katmanda yer alan her bir i düğümü, çıkışı Eşitlik 3.3.1'deki gibi tanımlanan, adaptif bir düğümdür,

$$\begin{array}{ll} O_{i,j} = \mu A_i(x), i = 1,2, & \text{ya da} & \text{Eşitlik 3.3.1} \\ O_{i,j} = \mu B_{i-2}(x), i = 3,4, & \text{için} & \end{array}$$

burada x (yada y) düğümün girişini A_i (yada B_{i-2}) ise söz konusu düğüme ait bulanık kümeyi ifade etmektedir.



Şekil 3.3.3 Birinci Dereceden İki Girişli ve İki Kuralı Sugeno Bulanık Modeli



Şekil 3.3.4 Eşdeğer ANFIS Yapısı

Bir başka ifadeyle, bu katmanın çıkışları, kuralların şart veya öncül kısımlarına ait üyelik değerlerini oluştururlar. Burada A_i ve B_i için söz konusu üyelik fonksiyonu olabilir.

Örneğin A_i Eşitlik 3.3.2’de belirtilen genelleştirilmiş çan eğrisi fonksiyonu ile ifade edilebilir.

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

Eşitlik 3.3.2

Burada yer alan $\{a_i, b_i, c_i\}$ kümesi, parametre kümesidir. Bu katmanın parametreleri, şart ya da giriş parametreleri olarak ifade edilirler.

KATMAN II:

İkinci katmandaki her bir düğüm, kendisine gelen sinyallerin çarpımını çıkış olarak üreten, Π ile etiketlenmiş sabit bir düğümdür. Örneğin;

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), i = 1, 2. \quad \text{Eşitlik 3.3.3}$$

Her bir düğümün çıkışı, her bir kural için gerçekleştirme derecesini oluşturur. Eşitlik 3.3.3'te çarpma işlemi yerine bulanık (VE) işlemini icra eden başka T-norm işlemleri de düğüm fonksiyonu gibi kullanılabilirler.

KATMAN III:

Üçüncü katmanda yer alan her bir düğüm, N ile etiketlenmiş, sabit bir düğümdür. Katmandaki i. düğüm, i. kuralın gerçekleştirme derecesinin, bütün kuralların gerçekleştirme dereceleri toplamına oranını hesaplar.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} = 1, 2. \quad \text{Eşitlik 3.3.4}$$

Bu katmanda yer alan düğümlerin çıkışları, hesaplanışlarına uygun olarak, normalleştirilmiş gerçekleştirme dereceleri olarak adlandırılırlar.

KATMAN IV:

Bu katmana ait her bir i düğümü, düğüm fonksiyonu aşağıdaki gibi olan, adaptif bir düğümdür.

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_{iy} + r_i) \quad \text{Eşitlik 3.3.5}$$

Burada \bar{w}_i , katman 3'ün çıkışı olup, $\{p_i, q_i, r_i\}$ ise bu katmanda bulunan düğümlerin parametrelerinden oluşan, parametre kümesidir. Bu katmanın parametreleri sonuç ya da çıkış parametreleri olarak ifade edilecektir.

KATMAN V:

Son katman olan bu katman da \sum ile etiketlenmiş olan ve toplam çıkışı hesaplamak üzere, kendisine gelen sinyallerin tümünü toplayan, sabit, tek bir düğüm yer alır.

$$O_{5,i} = \text{Toplam Çıkış} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad \text{Eşitlik 3.3.6}$$

Böylece tamamıyla Sugeno bulanık modelinin işleyişine sahip, adaptif bir ağ yapısı inşa edilmiş olur (Jang 1993).

3.3.1.2 ANFIS İÇİN GERİ YAYILIMLI ÖĞRENME ALGORİTMASI MATEMATİK MODELİ

Geri yayımlı öğrenme algoritmasında ağın çıkışından üretilen hata değeri, giriş katmanına kadar geriye doğru yayılarak gerekli değişkenlerinin yeniden ayarlanması sağlanır. Burada temel amaç “E” hata ölçütünü öğrenme işlemi sonunda bütün giriş örnekleri için sıfıra götürmek daha doğrusu yaklaştırmaktır. Ağın çıkışındaki hata değeri, istenen değer (hedeflenen değer) d ile gerçek çıkış f arasındaki farktır ve Eşitlik 3.3.7’deki gibi formülüne edilir,

$$e = d - f \quad \text{Eşitlik 3.3.7}$$

Bu hata değerine en küçük kareler yöntemi uygulanılarak hata ölçütü E, Eşitlik 3.3.8’de verildiği gibi hesaplanır.

$$E = \frac{1}{2} e^2 \quad \text{Eşitlik 3.3.8}$$

Hata ölçütü kullanılarak hata geriye doğru katman katman aşağıdaki gibi yansıtılır.

KATMAN V: Bu katmanda herhangi bir ağırlık değeri ayarlanması yoktur, sadece çıkıştaki hatanın katman çıkışına yansımaları hesaplanır,

$$\delta^5 = -\frac{\partial E}{\partial f} = -\left[\frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial f}\right] = e \quad \text{Eşitlik 3.3.9}$$

KATMAN IV: Bu katmanda p_i , q_i ve r_i sonuç değişkenlerinin ayarlanması için gerekli hesaplamalar gerçekleştirilir.

$$\Delta p_i = -\frac{\partial E}{\partial p_i} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f} \right] \left[\frac{\partial f}{\partial p_i} \right] \quad \text{Eşitlik 3.3.10}$$

$$f = \sum_i \bar{\mu}(p_i x + q_i y + r_i) \quad i=1,2 \quad \text{Eşitlik 3.3.11}$$

$$\frac{\partial f}{\partial p_i} = \bar{\mu}_i x \quad \text{Eşitlik 3.3.12}$$

buradan:

$$\Delta p_i = \delta^5 \bar{\mu}_i x \quad \text{Eşitlik 3.3.13}$$

Aynı işlemler diğer sonuç değişkenlerine de uygulanarak değişimler hesaplanır. Buna göre,

$$\Delta q_i = \delta^5 \bar{\mu}_i y \quad \text{Eşitlik 3.3.14}$$

$$\Delta r_i = \delta^5 \bar{\mu}_i$$

Eşitlik 3.3.15

Elde edilen bu ifadeler öğrenme oranı eklenerek üçgen (delta) kuralı uygulanır. $n=\{p,q,r\}$ olarak alınır bu ifadeler tek bir eşitlik olarak Eşitlik 3.3.16'da gösterildiği gibidir.

$$n_i(k+1) = n_i(k) + \eta_n \Delta n_i(k+1)$$

Eşitlik 3.3.16

KATMAN III: Bu katmanda çıkış katmanından yansıyan hata değeri hesaplanır herhangi bir ağırlık hesaplaması yoktur,

$$\delta_i^3 = -\frac{\partial E}{\partial \bar{\mu}_i} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f} \right] \left[\frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \right] \quad i=1,2$$

Eşitlik 3.3.17

$$\frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} = f_i$$

Eşitlik 3.3.18

$$\delta_i^3 = \delta^5 f_i \quad i=1,2$$

Eşitlik 3.3.19

KATMAN II: Bu katmanda çıkış katmanından yansıyan hata değeri hesaplanır herhangi bir ağırlık hesaplaması yoktur,

$$\delta_i^3 = -\frac{\partial E}{\partial \mu_i} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \right] \left[\frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \right] \quad i=1,2$$

Eşitlik 3.3.20

$$\bar{\mu}_i = \frac{\mu_i}{\sum_i \mu_i}, \text{ bu ifadede } a = \sum_i \mu_i \text{ olarak alınır,}$$

$$\frac{\delta \bar{\mu}_i}{\delta \mu_i} = \left[\frac{a - \mu_i}{a^2} \right]$$

Eşitlik 3.3.21

olarak bulunur. Bu ifade Eşitlik 3.3.20’de yerine konularak Eşitlik 3.3.22’deki durum elde edilir.

$$\delta_i^2 = \delta_i^3 \left[\frac{a - \mu_i}{a^2} \right]$$

Eşitlik 3.3.22

KATMAN I: Bu katmanda hem hata değeri hem de giriş üyelik işlevlerine ait değişkenlerin ayarlanması gerçekleştirilir.

$$\delta_i^1 = -\frac{\partial E}{\partial \mu_{A_i}} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \right] \left[\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{A_i}} \right] \quad i=1,2$$

Eşitlik 3.3.23

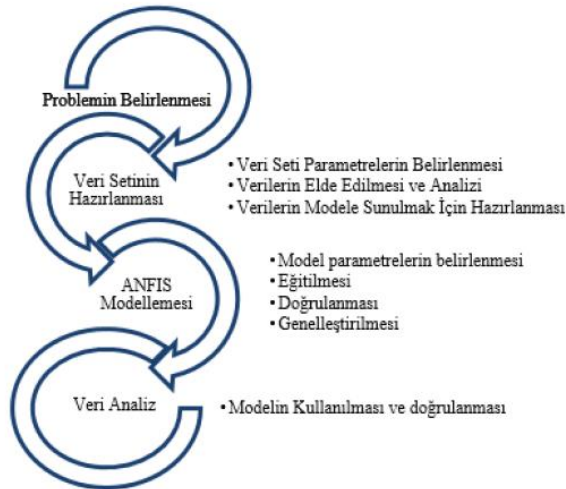
$$\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{B_i}} = \mu_{A_i} \quad \text{ve buradan} \quad \delta_{i+2}^1 = \delta_i^2 \mu_{A_i}$$

Eşitlik 3.3.24

olarak gösterilir [97].

4. MODELİN KURULMASI VE VERİ SETİNİN HAZIRLANMASI

ANFIS yapısının oluşturulması, model parametrelerinin belirlenmesi ve kurulması aşamasındaki en önemli ve direkt olarak modelin başarısı üzerinde etkili olan faktör veri tabanının hazırlanmasıdır [105]. Kurulan veri tabanının yapısı, bileşenleri ve temsil yeteneği oluşturulacak modelin sonuçlarının başarısını etkileyen direkt faktörlerden birisidir [106]. ANFIS modelleri kullanılarak yapılan karmaşık veri analizi işlemlerin takip edilecek dört temel basamak Şekil 4.1 de gösterildiği gibidir (Aslında bu basamaklar makine öğrenmesi yöntemleri ile gerçekleştirilen veri analizi işlemleri için geçerli kabul edilebilir). Problemin tanımlanması ve çerçevelerinin belirlenmesi, ilerleyen basamaklara kılavuzluk edecek olan problem tanımlaması ve beklenen sonuçların belirlendiği basamaktır. Sistem yaklaşımı penceresinden de ele alınır ise problemin kimliklendirildiği, sınırlarının belirlendiği, yol haritalarının çıkarıldığı ve yönetsel olarak akışın oluşturulduğu aşamasıdır ve tüm süreçler üzerinde çok etkilidir. İkinci kısım da olan veri hazırlıkları, kurulan model veya sistem ile üretilecek sonuçlara cevap verebilecek ve problemi en iyi şekilde modelleyebilecek (temsil edebilecek) veri setinin hazırlanmasıdır. Veri setinin yapısı ve doğası model için çok önemlidir, eğitilecek olan sistemin eğitici görevini üstleneceği için problem hakkında karar vericiler için aydınlatıcıdır. Üçüncü aşamada ise yapısına karar verilmiş olan ANFIS iterasyonlar ile eğitilir. Son aşamada ise, ANFIS modeli tarafından üretilen sonuçlar ile gerçek sonuçlar üzerinde veri madenciliği yapılarak karşılaştırmalar gerçekleştirilir ve modelin başarısı sınanır.



Şekil 4.1 Anfis Veri Analiz Basamakları [107]

Veri setinin (veya veri tabanının) hazırlanması, karmaşık veri analizi için ANFIS ağı modellenmesinde kritik bir süreçtir ve veri madenciliği ve bilgi keşfi gibi kompleks veri analizinin başarısı üzerinde çok etkin bir değere sahiptir [105]. Temel neden, giriş verilerinin ANFIS ağı modellerine olan kalitesinin, veri analizinin sonuçlarını güçlü bir şekilde etkilemesidir [106]. Özetle; modelin beklenen sonuçları formülize edecek şekilde kurgulanmasıyla başlayan süreci destekleyecek olan tatmin edici sonuçlar elde etmek için veri analizi için yüksek kaliteli veriler hazırlamaktır ve son olarak da, genelleştirilmiş sonuçlara bağlı olarak, veri madenciliği ve karar desteği gibi karmaşık veri analizinin amacı gerçekleştirilebilir [108].

4.1 VERİ TABANIN OLUŞTURULMASI

“Isı Yalıtımı ile Verimli Enerji Kullanımı Modelinin Makine Öğrenme Algoritmaları ile Oluşturulması” konulu çalışmada farklı ısı yalıtım malzemelerinin deneysel incelemeleri ve ANFIS modelleme yapılarak bir makine öğrenmesi temelli sistem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmaya temel olan modele ait veri tabanı yapıları Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde inşa edilen uygulama evinden (ısı yalıtım evi) yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. Isı yalıtım evi projesi, *C.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından M-393* numaralı proje kapsamında desteklenen bir grup projesidir.

Öngörülen çalışmada kullanılan veriler:

- “Sivas İçin Farklı Yalıtım Malzemelerinin Isı Kaybına Olan Etkilerinin Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi- Ferhat KILINÇ- Yüksek Lisans Tezi – Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı -2011” [42]
 - “Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Olan Etkilerinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi- Erge BOSTANCI- Yüksek Lisans Tezi – Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Bilimi Ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı- 2017” [67].
- tez çalışmalarında yapılan ölçümlerden, denemelerden ve değerlendirmelerden ilerleyen bölümlerde açıklandığı gibi faydalanılarak alınmış ve ANFIS ile modellenmiştir. Bu çalışmalar ile gerçekleştirilen incelemelerin farklı bir yaklaşım ile modellendiği ve sonuçlarının değerlendirildiği bir çalışma niteliğindedir.

4.1.1 UYGULAMALI ISI YALITIM EVİ YAPISI

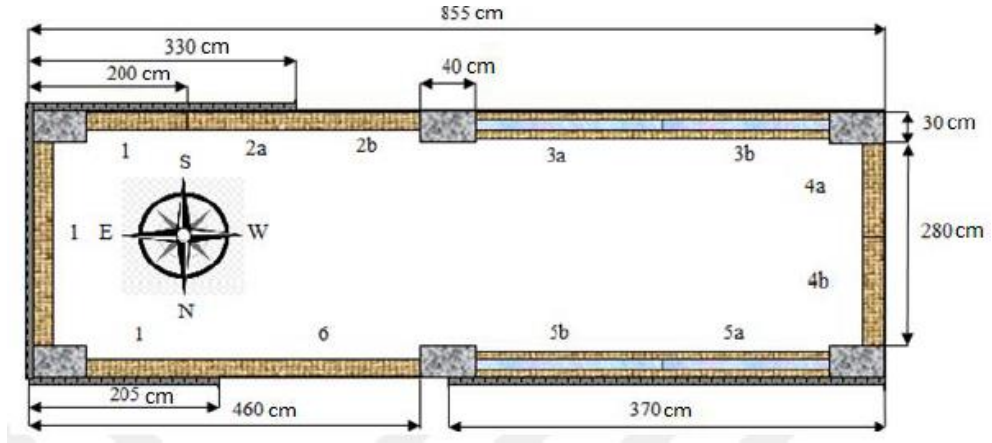
Sivas ilinde değişik yalıtım kalınlıklarındaki farklı yalıtım malzemelerinin ısı yalıtımı etkilerinin deneysel incelenmesi için Cumhuriyet Üniversitesi kampüsü içerisinde “ısı yalıtım evi” adı verilen bir bina inşa edilmiştir. 2010 Mayıs ayının başında başlayan inşaat çalışmaları haziran ayının ortalarında tamamlanmıştır. Bu tez çalışmasında 2015-2016 yılı kış mevsiminde yapılan ölçümler ile elde edilen değerler üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Isı yalıtım evi; C.Ü Kampüsü içerisinde Eczacılık Fakültesi'nin güney tarafında yer alacak konumda inşa edilmiştir. Isıtma sisteminin bulunduğu doğu cephedeki giriş odası, kuzey-güney cepheli orta oda ve batı cephede diğer bir oda olmak üzere üç odalı bir mimariye sahiptir. Binanın yapım aşamaları Şekil 4.1.1'de detaylı olarak fotoğraflar ile gösterilmiştir. Isı yalıtım evi değişik duvar tipleri ve değişik ısı yalıtım malzemeleriyle inşa edilmiştir. Bina inşaatın normal ve donatılı beton uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Dış duvarların inşaatında duvar yapıları farklı bölümlere ayrılıp farklı duvar tipleri ile inşa edilmiştir. İnşa edilen duvar tipleri ve ısı evinin mimari planı Şekil 4.1.2'de gösterildiği gibidir [42] [67].



Şekil 4.1.1-(a.b.c.d.e.f) Isı Evi İnşa Aşamaları [42] [67]

Binanın kolon, kiriş, tavan ve döşemeleri normal konutlarda gerçekleştirilen uygulamanın aynısı olarak yapılmıştır.



Şekil 4.1.2 Isı Yalıtım Evinin Mimari Planı ve Farklı Tip Duvar Uygulamaları [67]

Şekil 4.1.2’de verilen numaralar ile gösterilen duvar uygulamaları özellikleri Tablo 4.1’de verildiği gibidir;

Duvar Numarası	Duvar Yapısı (içten dışa doğru)
1	iç sıva+19cm yatay delikli tuğla+5cm karbonlu EPS+dış sıva
2a	iç sıva+19cm bims tuğla+5cm karbonlu EPS+dış sıva
2b	iç sıva+19cm bims tuğla+dış sıva
3a	iç sıva+8,5cm tuğla+5cm taşıyünü+8,5cm tuğla+dış sıva
3b	iç sıva+8,5cm tuğla+5cm karbonlu EPS+8,5cm tuğla+dış sıva
4a	iç sıva+5cm EPS+19cm tuğla+dış sıva
4b	iç sıva+3cm EPS+19cm tuğla+dış sıva
5a	iç sıva+2cm EPS+8,5cm tuğla+2cm EPS+8,5cm tuğla+2cm EPS+dış sıva
5b	iç sıva+8,5cm tuğla+3cm EPS+8,5cm tuğla+3cm EPS+dış sıva
6	iç sıva+19cm tuğla+3-5-8cm EPS+dış sıva

Tablo 4.1 Kullanılan Duvar Modelleri ve Verilen Numaralar [42]

Farklı pencere tipleri kullanımı da projenin önemli uygulamalarından biridir. Argon gazı ve hava katmanlı, sinerji ve normal tipte, toplamda 2 cm (4+12+4 mm) ve 3 cm (4+9+4+9+4 mm) olmak üzere farklı tipte pencereler, farklı yön ve duvarlarda kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan tüm malzemelerin ısı iletkenlik, yoğunluk ve ısı iletkenlik

depolama gibi ısı yalıtımında kullanılan başlıca özellikleri aşağıdaki Tablo 4.2’de verilmiştir.

Malzemeler	ρ (kg/m ³)	C _p (kJ/kgK)	k (W/mK)
Taşyünü	150	850	0,04
XPS	28	1045	0,026
EPS (düz)	16	1210	0,035
EPS (karbonlu)	16	1210	0,03
Bims	600	800	0,19
Tuğla	1000	835	0,45
Donatılı beton	2200	870	2,1
Dış sıva	1680	1085	1,4
İç sıva	1803	1085	0,87
3cm ArgonSin	1000	612	0,029
3cm HavaSin	1000	904	0,043
2cm ArgonSin	1000	612	0,029
2cm HavaDüz	1000	904	0,043
Toprak (iri çakıllı)	2050	1842	0,519
Hava (300K)	1,1614	1,007	0,026
Cam	2500	0,75	1,4
Argon	1,623	521,6	0,0177

Tablo 4.2 Kullanılan Malzemelerin Özellikleri [42]

4.1.2 ÖRNEK ÖLÇÜM DEĞERLERİ VE TERMAL KAMERA GÖRÜNTÜLERİ

ANFIS modelinin eğitilmesinde kullanılacak, farklı tarihlerde “ısı yalıtım evinden” alınan bazı örnek ölçüm değerleri Tablo 4.3.a ve Tablo 4.3.b de verildiği gibidir.

5 CM ÖLÇÜMLERİ					
TARİH	SAAT	İÇ SICAKLIK	DIŞ SICAKLIK	KLİMA AYARI	ISITICI ÇALIŞMA DURUMU
10.12.2015	13:00	27.6°C	8°C	30°C	-
17.12.2015	14:45	20°C	4°C	23°C	+
18.12.2015	14:20	20.2°C	6.8°C	23°C	+
23.12.2015	17:25	20.6°C	-3.5°C	23°C	+
31.12.2015	17:47	20.2°C	-8°C	23°C	+
2.01.2016	17:27	20.2°C	-15.1°C	23°C	+
4.01.2016	17:13	20°C	-3.1°C	23°C	+
9.01.2016	18:54	20°C	-0.7°C	23°C	+

Tablo 4.3.a 5 cm Yalıtım Malzemesi Ölçümlerine Ait Bazı Değerler [67]

8 CM ÖLÇÜMLERİ					
TARİH	SAAT	İÇ SICAKLIK	DIŞ SICAKLIK	KLİMA AYARI	ISITICI ÇALIŞMA DURUMU
19.01.2016	15:57	20°C	-2°C	23°C	+
19.01.2016	19:36	21.6°C	-3.8°C	23°C	+
19.01.2016	21:18	21°C	-4°C	23°C	+
20.01.2016	17:36	20.2°C	-8°C	23°C	+
27.01.2016	17:56	20.6°C	-18.7°C	23°C	+
28.01.2016	19:41	20°C	-8.7°C	23°C	+
9.02.2016	17:49	20.2°C	-5.3°C	23°C	+
10.02.2016	19:00	20.5°C	-8.4°C	23°C	+
Tablo 4.3.b 8 cm Yalıtım Malzemesi Ölçümlerine Ait Bazı Değerler [67]					

Termal Kamera Görüntüleri

5cm termal görüntüler					
TARİH	SAAT	İÇ SICAKLIK	DIŞ SICAKLIK	KLİMA AYARI	ISITICI ÇALIŞMA DURUMU
16.12.2015	17:41	22°C	-3.2°C	25°C	+

Tablo 4.4 5 cm Yalıtım Malzemesi Termal Kamera Görüntüleri [67]

8cm termal görüntüler					
TARİH	SAAT	İÇ SICAKLIK	DIŞ SICAKLIK	KLİMA AYARI	ISITICI ÇALIŞMA DURUMU
19.01.2016	19:36	21.6°C	-3.8°C	23°C	+

Tablo 4.5 8 cm Yalıtım Malzemesi Termal Kamera Görüntüleri [67]

4.2 ANFIS MODELİNİN KURULMASI

Makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak problemlerin çözüm aşamasında, modellerin oluşturulması ve yapılandırılması süreci belirlenmesi ve çözümlenmesi gereken ilk aşamadır. Bu aşamada: giriş değişkenlerine karar vermek, giriş uzayını bölümlenmek, giriş değişkenleri için üyelik fonksiyonlarının tür ve sayısını seçmek, kural katmanı oluşturmak ve katmandaki kural sayılarını belirlemek ve üyelik fonksiyonları parametrelerine ait başlangıç değerlerini belirlemek gibi işlemler yer almaktadır. ANFIS modelinin başlangıçta yapılandırılması tecrübeye dayalı bilgi gerektirmektedir. Fakat, her zaman uzmanların bilgisi doğru seçimleri yaparak ANFIS modeli için en uygun kriterlerin belirlenmesinde yeterli olmayabilir. Problemlerin çözümünde, ANFIS modellerine ait parametrelerin değerlerini değiştirerek en uygun sonucu verecek model parametre birlikteliklerini belirlemek için birçok denemenin yapılması tercih edilen yöntemdir. Özelliklerin seçilmesi sürecini otomatikleştiren ve bulanık modeli geliştirirken çalışma sürecini önemli ölçüde indirgeyen çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Izgara Bölümleme (Grid Partitioning, GP) ve Eksiltici Kümeleme (Subtractive Clustering, SC) en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin ana fikri, giriş-çıkış örnek verisi arasındaki ilişkiyi öğrenerek bulanık kuralları tahmin etmektir. Giriş uzayının etkin şekilde bölünmesi, ANFIS' in kural sayısını ve üyelik fonksiyonlarının sayısının indirgeyerek, modelin hem öğrenme hem de uygulanma esnasında performans ve hızını yükseltmektir [89].

- **Izgara Bölümleme:** Üyelik fonksiyonlarına ait başlangıç parametrelerini belirlemenin en etkin yolu, belirlenen küme sayısı kadar giriş alanını eşit bölümlere ayırmaktır. Her bölüm bulanık bir **Eğer-İse** (if-then) kuralını sunmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının merkezleri her veri boyut aralığı boyunca eşit olarak yerleştirilecek şekilde üyelik fonksiyonlarının parametreleri ayarlanır [89] [109]. Bu yaklaşımın en önemli dezavantajı, giriş sayısı arttıkça kural sayısının da hızlı bir şekilde artmasıdır [110]. Bu durum, modelin hesaplamasında kullanılacak bilgisayar sisteminin de gücünün katlanarak artırılmasına yol açmaktadır. Ayrıca, giriş alanını bölümlenmek için kümelerin sayısı hakkında bilgiye de ihtiyaç vardır. Bu yöntem giriş sayısı az olan ve / veya her bir giriş için tahsis edilen üyelik fonksiyonu sayısı az olan problemler için daha uygundur.

- **Eksiltici Kümeleme (Subtractive Clustering, SC):** Bu yöntem, üyelik fonksiyonu (küme) merkezlerinin başlangıç konumlarını ve sayısını tahmin ederek veri kümesinden otomatik bulanık kurallar çıkarmak için Chiu [111] tarafından geliştirilmiş bulanık kümeleme yöntemlerinden biridir. SC algoritması, birçok komşu noktaları ile küme merkezi olma potansiyeline sahip bir veri noktası içindeki veri noktalarının yoğunluk ölçümüne dayanır [112].

4.2.1 ANFIS MODELİNİN EĞİTİLMESİ

ANFIS modelinin başlangıç ve sonuç parametreleri olmak üzere eğitilerek belirlenmesi gereken iki temel parametre çeşidi mevcuttur. Başlangıç parametreleri, Eşitlik 3.3.2’de $\{ai, bi, ci\}$ olarak verilen üyelik fonksiyonlarına ait olan değerlerdir. Buradaki ai üyelik fonksiyonlarının varyansını, bi diğer bir eğitim parametresini ve ci üyelik fonksiyonlarının merkezini belirler. Başlangıç parametrelerinin toplam sayısı tüm üyelik fonksiyonlarındaki parametrelerinin toplam sayısına eşittir. Sonuç parametreleri ise Eşitlik 3.3.5’te $\{pi, qi, ri\}$ olarak gösterilmiş ve Şekil 3.3.4’deki ANFIS ağının durulaştırma katmanında kullanılan çıkış polinomu parametreleridir. ANFIS’in eğitim sürecinde başlangıç ve sonuç parametrelerinin güncellenmesi için birçok farklı yöntem önerilmiştir [89]. Yaygın olarak kullanılan gelenekselleşmiş algoritmalarından ikisi Geriye yayılım algoritması (Back Propagation- BP) ve Hibrid öğrenme (HB) algoritmalarıdır.

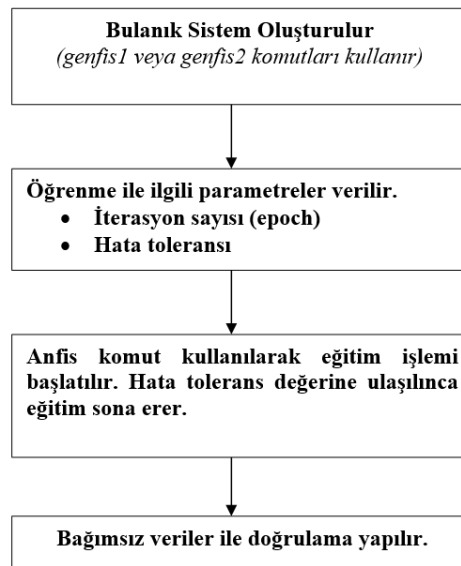
- **Geriye Yayılım Algoritması:** İlk olarak Rumelhart vd. (1986) tarafından önerilen model, YSA öğrenme modelleri arasında en çok tercih edilendir ve YSA için çok önemli tarihsel gelişmelerden biri olmuştur [113]. Bu yapıdaki ağlar, temel olarak giriş ve çıkış değerlerinin birlikte ağı sunulduğu sistemin istenen çıktıyı üretmesini zorlayan danışmanlı öğrenme stratejisi kullanır. Birçok katmandan oluşan katmanlardaki hücreler tamamıyla bağlantılı ve ileri beslemeli ağlardır. Başka bir deyişle, bir katmandaki her hücre kendisinden sonra gelen katmandaki bütün hücrelere bağlanır. Hiçbir geri besleme bağlantısı ve aynı katmandaki nöronlar arasında da hiçbir bağlantı mevcut değildir. Geri yayılım öğrenme modeli, modelin ürettiği çıkış değerleri ile gerçek ortamlardan ölçülmüş (beklenen) değerlerin durumlarına göre hatayı çıkıştan geriye doğru azaltmaya çalışır. Üretilen hata değeri ile eğim düşüm bilgisini hesaplayarak parametre güncelleme işlemini yapmaktadır [12]. Öğrenme adımları, ağı

gerçek ve hesaplanan çıktı değerleri arasındaki hatayı en düşüğe indirgeyen tekrarlı eğim düşme yöntemini baz alır. Öğrenme kuralında ağ çıkışında hesaplanan hata, ağırlıkların yeni değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

- **Hibrid Öğrenme (HÖ) Algoritması:** İki basamaklı öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritmada, ANFIS ağ yapısına ait parametreler $S=S_1+S_2$ (S_1 başlangıç parametreleri, S_2 sonuç parametreleri) şeklinde ifade edilir ise Gradient Descent-GD (Eğilimli İniş) ve Least Square Error-LSE (En Küçük Kareler) yöntemleri birlikte kullanılarak ANFIS'in "S" parametreleri güncellenerek algoritmanın öğrenme süreci tamamlanır. GD lineer olmayan başlangıç parametrelerinin düzenlenmesinde, LSE ise lineer sonuç parametrelerinin düzenlenmesinde kullanılmaktadır [114] [115]. HÖ algoritmasının öğrenme aşamaları ileri yön ve geri yön geçişi olmak üzere ikiye ayrılır. HÖ algoritmasının ileri yön geçişinde ANFIS ağına ait başlangıç parametreleri, geri yön geçişinde de ağıın sonuç parametreleri güncellenir [89].

4.2.2 MODEL EĞİTİM VERİ SETLERİNİN HAZIRLANMASI

ANFIS modeli ile ilgili eğitimin yapılabilmesi için MATLAB programı kullanılmıştır. ANFIS modeli kullanılarak yapılan eğitim için temel hesaplama diyagramı Şekil 4.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.2 Temel ANFIS Hesaplaması Akış Şeması

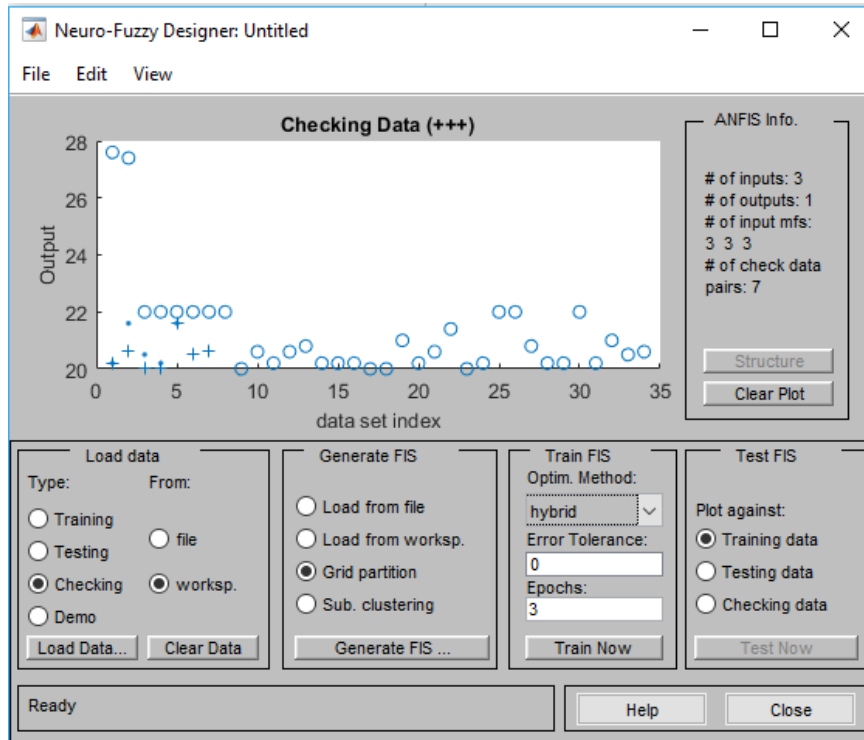
Giriş Parametreleri	
Ölçülen Dış Ortam sıcaklık	°C
İç Ortam Isıtıcı (klima) Ayarı	°C
Yalıtım Malzemesi Kalınlığı	cm
Çıkış Parametresi	
İç Ortam Sıcaklığı	°C
Tablo 4.6 Veri Seti Parametreleri	

ANFIS modelin eğitimi için kullanılacak veri setini oluşturan parametreler Tablo 4.6’da gösterildiği gibidir. Bu modelde giriş parametreleri olarak sisteme sunulacak (ölçülen dış ortam sıcaklığı, iç ortam ısıtıcı ayarı, yalıtım malzemesi kalınlığı) değerleri ile çıkış parametresi (iç ortam sıcaklığı) tahmin edilmeye çalışılacaktır. ANFIS modeli bu karar çıktısını kabul edilebilir değerlerde üretecek şekilde tasarlanacaktır. ANFIS öğrenmesi modelinin eğitiminde kullanılacak olan veri seti “Eğitim Seti”, “Test Seti” ve “Doğrulama Seti” olarak üç parçaya ayrılmaktadır. Bilindiği üzere veri madenciliği çalışmalarında, uygulanan yöntemin başarısının sınanması için, veri kümesi, eğitim ve test seti olarak ayrılmaktadır. Bu ayırma işlemi çeşitli şekillerde yapılabilir. Bu tez çalışmasında veri kümesinin %60’lık bir kısmını eğitim, %20’lik kalan kısmı doğrulama geri kalan %20’lik kısmı ise test için ayırmak ve eğitim kümesi ile sistem eğitildikten sonra test kümesi ile başarısının sınanması kullanılacak yöntemlerden birisidir. Bu eğitim ve test kümelerinin değerlerinin belirlenen oranlara göre rastgele olarak atanması bu çalışmada tercih edilen yöntem olmuştur. Tablo 4.7’de veri setlerinin belirtilen oranlarda ayrılması için gereken MATLAB kodlaması görülmektedir.

Tablo 4.7’de verilen kod çalıştırıldığı zaman tüm veri seti kod içerisinde belirlenen oranlarda ANFIS modelinin eğitilmesi için gerekli ve yukarıdaki bölümlerde tanımlanan veri setlerine ayrılır (eğitim, doğrulama, test). Veri setleri oluşturulduktan sonra ANFIS modelinin parametrelerinin belirlenmesi için eğitilmesi adımlarına başlanır. MATLAB uygulama programında ANFIS modelinin eğitilmesi kod yazarak veya “Neuro-Fuzzy Designer” kullanarak iki farklı yöntem kullanılabilir. Aslında Neuro-Fuzzy Designer GUI üzerinden çalıştırılan, kullanıcı ile kütüphane olarak oluşturulan

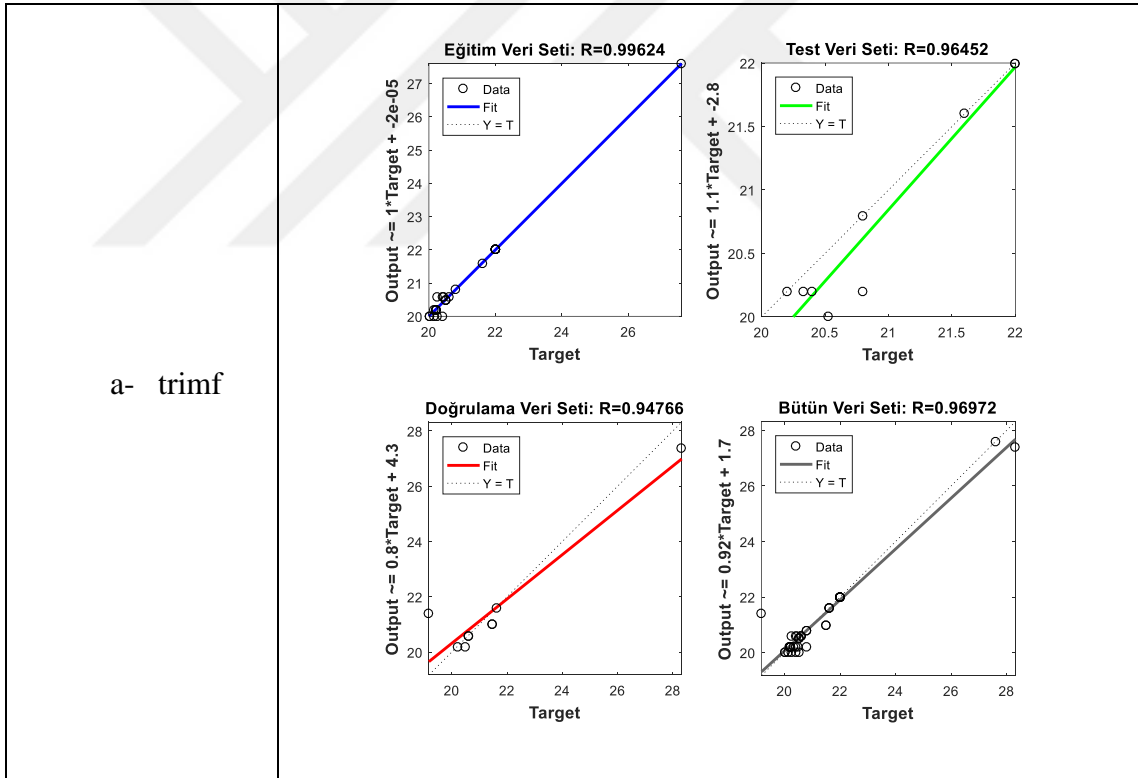
MATLAB kodlarının birleştirildiği bir ara yüzdür (Şekil 4.7). Bu çalışma da GUI üzerinden gerçekleştirilen ve bu yapı tarafından yönetilen kodlar da GUI kullanımı ile birlikte aktarılacaktır.

<pre>[trainInd,valInd,testInd] = dividerand(Q,trainRatio,valRatio,testRatio)</pre>
<p><i>trainInd</i> : Eğitim veri seti için rastgele üretilen indis numaraları <i>valInd</i> : Doğrulama veri seti için rastgele üretilen indis numaraları <i>testInd</i> : Test veri seti için rastgele üretilen indis numaraları</p>
<pre>dosyaAdi="Tüm veri setinin bulunduğu excel dosyası ismi"; sayfaAdi="excel sayfasının ismi"; excelDosya = xlsread(dosyaAdi,sayfaAdi) [Q,R]=size(veriler); veriler=veriler'; trainRatio=0.60; // Eğitim veri seti oranları valRatio=0.20; // Doğrulama veri seti oranları testRatio=0.20; // Test veri seti oranları [trainInd,valInd,testInd] = dividerand(Q,trainRatio,valRatio,testRatio); dogrulama = (veriler(:,valInd)); // doğrulama veri seti test= (veriler(:,testInd)); // test veri seti egitim = (veriler(:,trainInd)); // eğitim veri seti</pre>
<p>Tablo 4.7 Veri Setinin Modelin Eğitimi için Ayıran Kod</p>

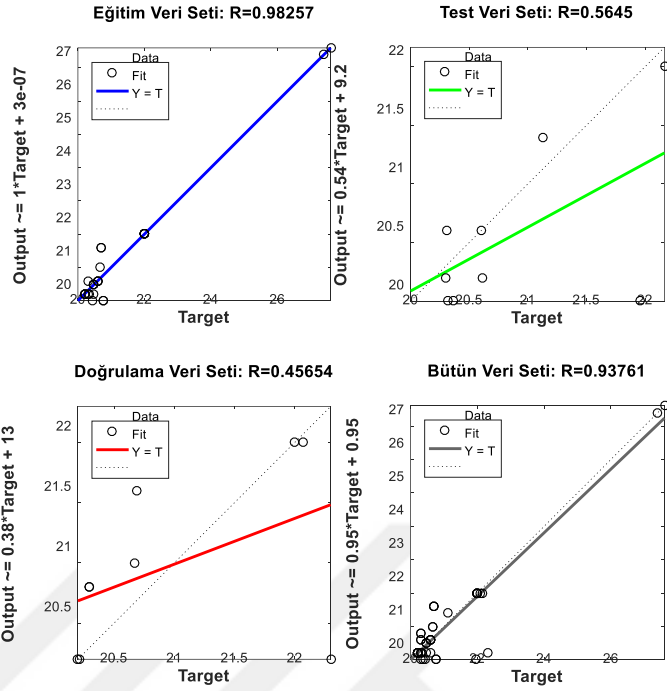


Şekil 4.3 Neuro-Fuzzy Designer Ara Yüzü

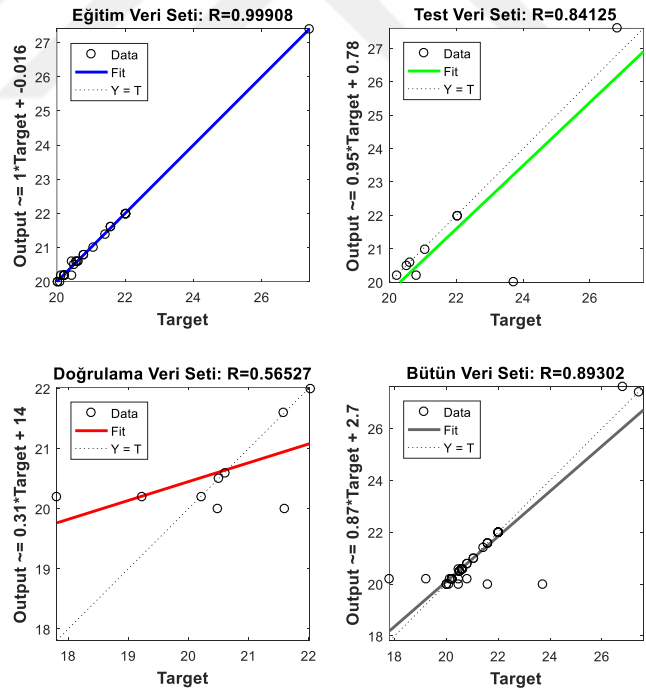
Şekil 4.3’de görüldüğü gibi ANFIS modelinin eğitiminde kullanılacak veri seti, eğitim, doğrulama ve test veri setleri olarak sisteme aktarılır. Şekil 4.6’da görülen ekranda “o” ile temsil edilenler eğitim seti verileri “+” ile temsil edilenler test verileri ve “.” ile temsil edilenlerde doğrulama veri setini temsil etmektedir. Bu yüklemelere ait MATLAB kodlaması Tablo 4.7’de verildiği gibidir. Veri seti içerisindeki giriş parametrelerin sayısının az olması sebebi ile FIS (Fuzzy-Inference-System) oluşturmak için gerekli kurallar seçilirken “İzgara Bölümleme (Grid Partition)” kimliklendirme yöntemi tercih edilmiştir (Bölüm 4.2). Bir sonraki adımda her bir giriş parametresi kullanılacak üyelik fonksiyonlarının sayısı ve bu fonksiyonların türü belirlenmelidir. Bu çalışmada Tüm üyelik fonksiyonları ayrı ayrı denenerek sonuçları Tablo 4.8’de incelenmiştir. Başlangıçta üyelik fonksiyonları sayısı giriş parametresi sayısı olarak belirlenmiştir.



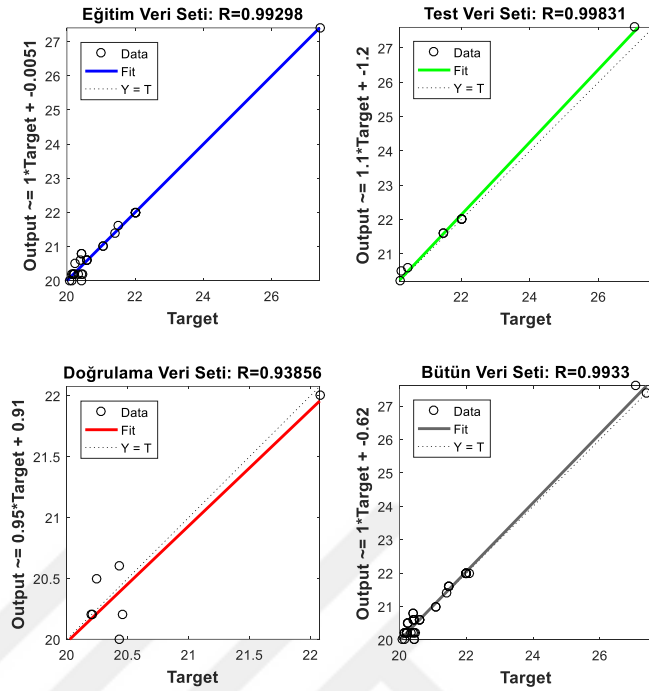
b- trapmf



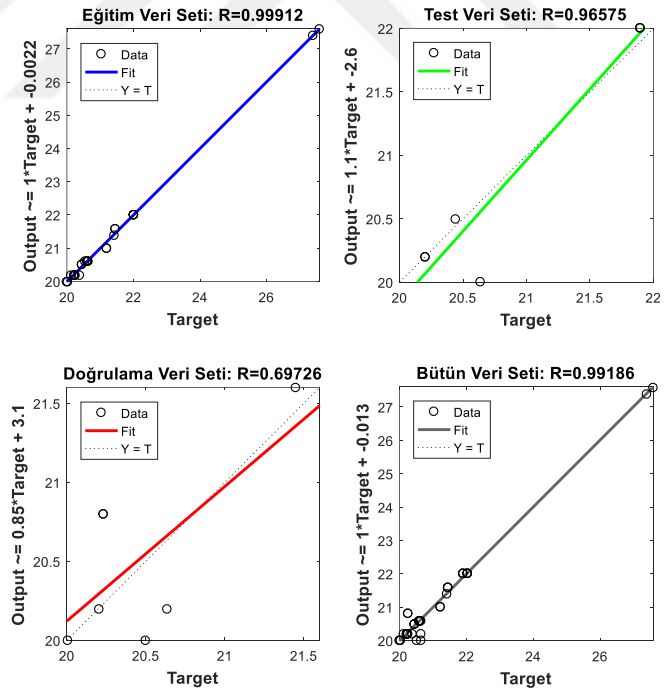
c- gbellmf



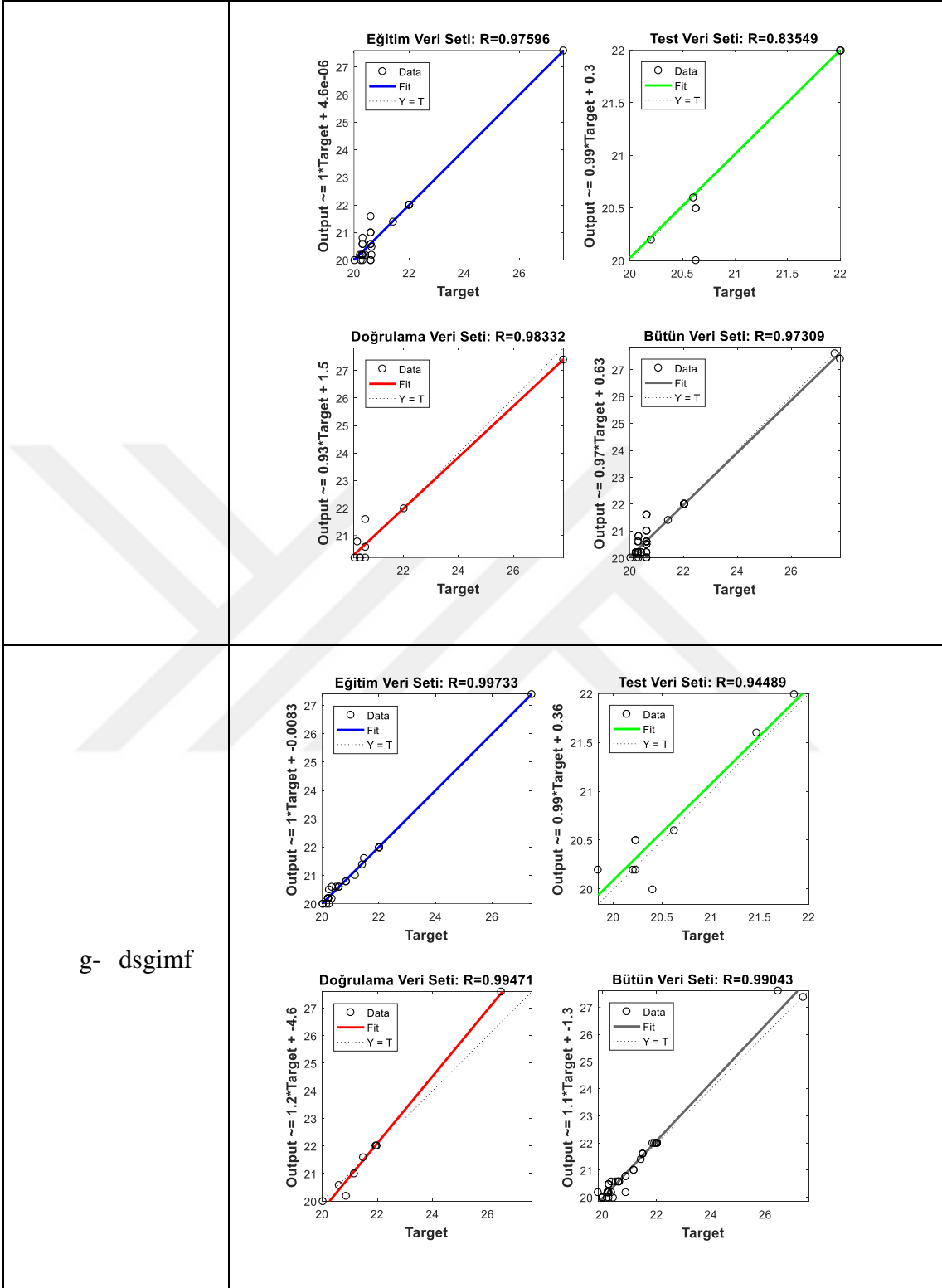
d- gaussmf



e- gauss2mf

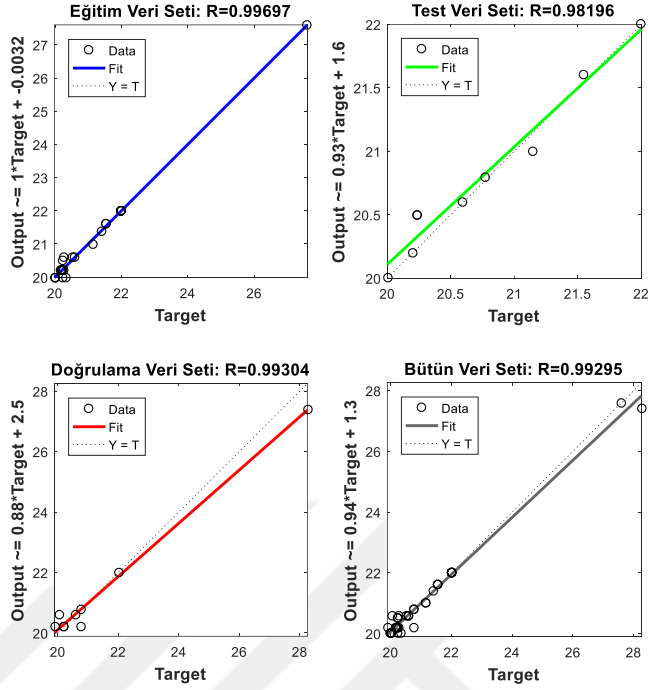


f- pimf



g- dsgrimf

h- psigmf



Şekil 4.4 Farklı Üyelik Fonksiyonları ile ANFIS Modelinin Eğitim Sonuç Grafikleri

Farklı üyelik fonksiyonları ile eğitilen ANFIS modeli tarafından üretilen çıkış değerleri ile gerçek ölçülen çıkış değerlerinin ait “Eğitim”, “Doğrulama”, “Test” ve Tüm Veri Setleri üzerindeki regresyon grafikleri Şekil 4.4’de gösterildiği gibidir. Buradaki grafikler üzerinde yapılan incelemelerden görüldüğü üzere tüm veri setleri için en iyi değerleri “psigmf” üyelik fonksiyonu ile eğitilen model üretmiştir. Bu model tarafından üretilen veri setlerine ait “RMSE, R^2 ve MAPE” değerleri Tablo 4.8’de gösterildiği gibidir. Bu değerler arasında da en iyi sonucu üreten “psigmf” üyelik fonksiyonu ile eğitilen model üretmiştir.

Tüm üyelik fonksiyonları tarafından üretilen değerlerin birbirine yakın olmalarının sebebi veri setinin yapısında olan doğrusallık olarak ifade edilebilir. Tablo 4.8’de ANFIS modelleri tarafından üretilen değerleri karşılaştırmak için kullanılan istatistiksel değer metrikleri aşağıdaki gibi özet olarak açıklanabilir.

		Eğitim Veri S.	Test Veri Se.	Doğrulama Veri S.	Tüm Veri S.
trimf	MSE	0,0163756409758610	0,0763361456965798	0,701692111707776	0,162190701390507
	Mape	0,00280502963070315	0,00779295188609777	0,0228448132652006	0,00770175469611682
	R ²	0,9962	0,9645	0,9476	0,9692
trapmf	MSE	0,120338656987355	0,494089221983308	0,650856315779707	0,297260700772023
	Mape	0,00884272614097720	0,0202389659289806	0,0230617508754240	0,0138544083301522
	R ²	0,9825	0,5645	0,4565	0,9376
gbellmf	MSE	0,00366870927693721	1,64278565077323	1,04687707802269	0,528471487367771
	Mape	0,00132305251037956	0,0242562692219478	0,0315255968013046	0,0117191796630413
	R ²	0,99908	0,84125	0,56527	0,89302
gausmf	MSE	0,0277760866404012	0,0455311599135033	0,0504960270752070	0,0350223421518002
	Mape	0,00501417313871725	0,00567258444290190	0,00652227659902360	0,00543805646220462
	R ²	0,99298	0,99831	0,93856	0,9933
gauss2mf	MSE	0,00601232628466985	0,0628697349987800	0,159031303349945	0,0409917239145674
	Mape	0,00209059714967385	0,00539678361154065	0,0121377937446322	0,00470321557383531
	R ²	0,99912	0,96575	0,6972	0,99186
pimf	MSE	0,101384614316037	2,82469139725620	0,183511471848607	0,650273804843311
	Mape	0,00985106778831956	0,0456198324682031	0,0142592658039605	0,0177117778809222
	R ²	0,97596	0,83549	0,98332	0,97309
dsigmf	MSE	0,0108024948691053	0,0520793488880022	0,193065951574294	0,0545386426194699
	Mape	0,00279657581315501	0,00878785864010561	0,0103284119495849	0,00544240343642511
	R ²	0,99733	0,94489	0,99471	0,99043
psigmf	MSE	0,0132705356890309	0,0185068987099191	0,159900721016876	0,0429835560181308
	Mape	0,00289990643010171	0,00423153544514965	0,0113529348316197	0,00481429592464722
	R ²	0,99697	0,98196	0,99304	0,99295

Tablo 4.8 Farklı Üyelik Fonksiyonları ile ANFIS Modelinin Eğitim Sonuç Kontrol Değerleri

Mean squared error	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2$
Root mean squared error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2}$
Mean absolute error	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t $
Mean absolute percentage error	$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left \frac{e_t}{y_t} \right $

Tablo 4.9 İstatistiksel Değer Metrikleri

- **Kök Kareler Karesi (Root Mean Squared Error (RMSE)):** RMSE, hata ortalama büyüklüğünü ölçen, ikinci dereceden bir puanlama kuralıdır. Tahmini ile karşılık gelen gözlemlenen değerler arasındaki fark her biri kareler alınır ve daha sonra örnek üzerinde ortalananır. Sonunda, ortalamanın karekökü alınır. Hatalar ortalamadan önce kareler aldığından, RMSE, büyük hatalara nispeten daha fazla ağırlık verir. RMSE, 0'dan ∞ 'a kadar değişebilir ve daha düşük değerler daha iyi olarak kabul edilir.
- **Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Mean Absolute Percent Error (MAPE)):** Tahmin hatasının en yaygın ölçütüdür ve verilere aşırılık (sıfırlar dahil) olmadığında en iyi sonucu verir. Sıfırlar veya sıfıra yakın bir yerde, MAPE hatanın çarpık bir resmini verebilir. Sıfırın hemen hemen altındaki bir öğedeki hata, sonsuza kadar yüksek olabilir, bu da ortalamada genel hata oranına bir çarpıklığa neden olur. [116]
- **R² Korelasyon Katsayısı:** İki veya daha fazla değişken arasında bir ilişkinin varlığını, ilişkinin miktarını ve yönünü sayısal olarak belirleyen istatistiksel yöntemdir. İki değişken arasındaki ilişkinin derecesine ise korelasyon katsayısı denir. Hesaplanan korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değer alır. -1'den küçük ve +1'den büyük olamaz.

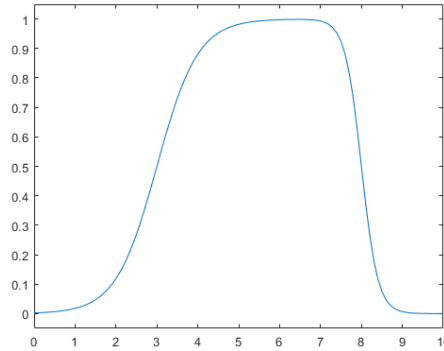
ANFIS modelinin eğitimi için üyelik fonksiyonu türleri her giriş için aynı alınabileceği gibi her bir giriş için farklı alınarak da model eğitilebilir. Ayrıca girişleri için üyelik fonksiyonları sayıları giriş parametresi sayısına eşit olarak seçilebileceği gibi daha büyük sayıda üyelik fonksiyonları ile de model eğitilebilir. Bu seçimler tecrübe ve

denemeler ile modelin daha iyi çıktılar üretmesini sağlayabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan veri setinden üretilen sonuçlar tatmin edici olduğu için farklı kombinasyonlarda (farklı üyelik fonksiyon türleri ve girişler için farklı üyelik kuralları sayıları) denemeler yapılmamıştır. Tecrübeler sonucunda veri setindeki giriş parametrelerinin yapıları göz önüne alınarak farklı seçimlerin yapılması ANFIS modelinin başarısı üzerinde etkili olabilir. Bu nedenle beklenen sonuçları üretmeyen modeller için bu tür denemeler ile üretilen sonuçlar daha iyi hale getirilebilir. Bununla beraber giriş değerleri için kural sayısının artırılması beraberinde hesaplama yükünü de artıracığı için eğitim süresini uzatabilir.

Eğitimler sonucunda en iyi değerleri üreten “psigmf” üyelik fonksiyonunun yapısı ve özellikleri: İki sigmoid üyelik fonksiyonun ürünüdür, Vektör x için çizilen sigmoid eğrisi, a ve c tarafından verilen iki parametreye bağlıdır ve aşağıdaki formül ile ifade edilir.

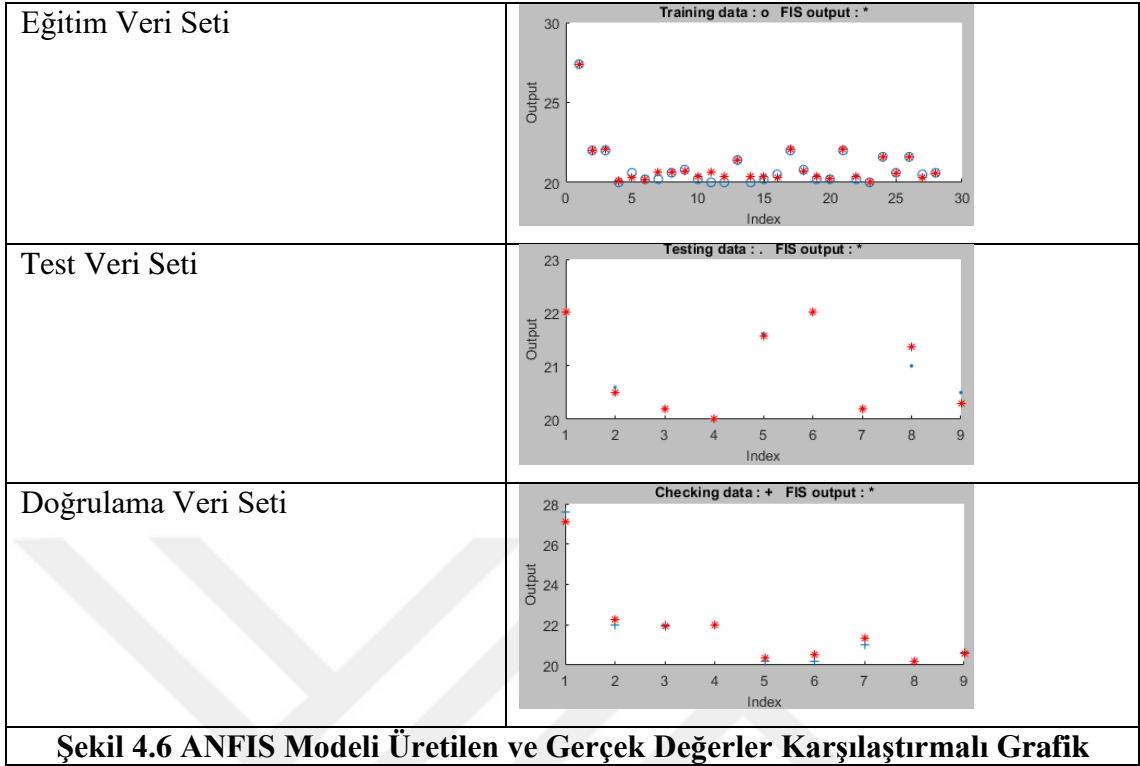
$$f(x, a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}}$$

Eşitlik 4.1

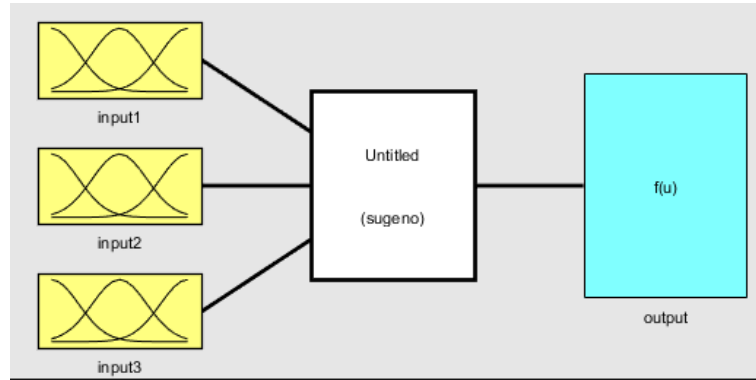


Şekil 4.5 “psigmf” Üyelik Fonksiyonu

Seçilen model tarafından üretilen çıktı değerleri gerçek olarak ölçülen çıktı değerlerinin gösterildiği grafikler aşağıdaki gibidir. Bu grafiklerde üretilen ve hesaplanan değerlerin birbirlerine göre durumları temsil edilmektedir (Şekil 4.6).

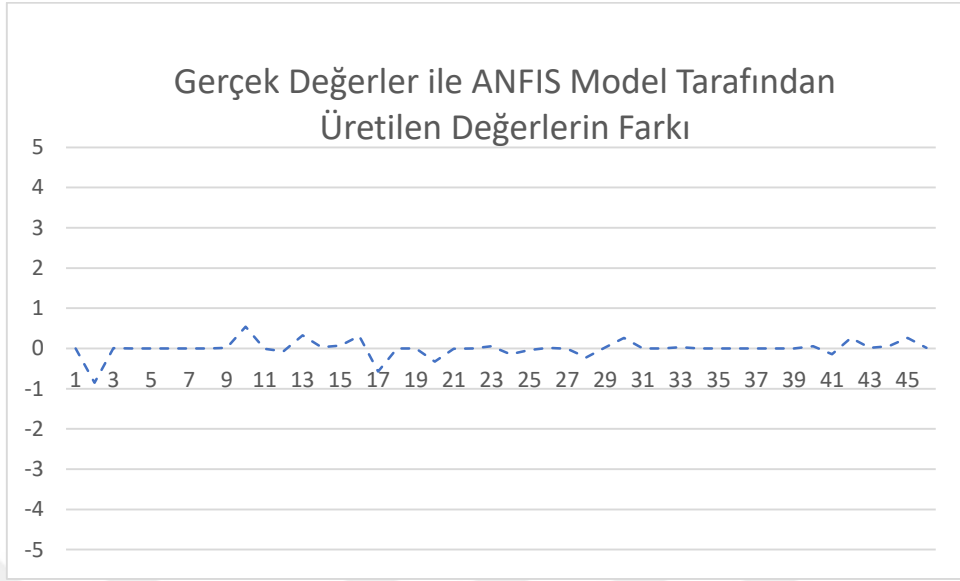


Eğitilen modele ait FIS grafiksel gösterimi de Şekil 4.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.7 ANFIS Modeli FIS Yapısı

Şekil 4.8’de gösterildiği gibi ANFIS Modeli tarafından üretilen sonuçlar ile gerçek ölçüm sonuçlarının grafiksel karşılaştırılması üzerinden, modelin başarısı rahatlıkla gözlenmektedir. Şekil 4.8 ile verilen fark grafiğinde ise gerçek değerler ile model tarafından oluşturulan değerlerin farkları bir grafik üstünde de incelenmektedir. Buradan da modelin gerçek değerlere yakın çıktıları ürettiği gözlenmektedir.



Şekil 4.8 Gerçek Değerler – Model Tarafından Üretilen Değerler

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler beraberinde etkin enerji kullanımını getirmektedir. Bundan dolayı artan enerji ihtiyacını karşılamak için tükenmekte olan fosil yakıt rezervleri ülkeleri düşündürmektedir. Bugün her ülke artan enerji ihtiyacını karşılamak için kendi politikalarını oluşturmakta ve tükenmekte olan fosil yakıt rezervlerinin yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için gerekli çalışmaları hızlandırmaktadır.

Ülkemizde artan enerji talebini yerli kaynaklardan karşılanabilmesi ve enerjiyi verimli kullanmak büyük önem taşımaktadır. Özellikle enerji tüketiminin fazla olduğu alanlarda tasarruf potansiyelinin iyi değerlendirilmesi ve iletimde kayıp kaçak oranlarının düşürülmesi enerji harcamalarını azaltacaktır. Enerji sektöründeki çıkmış yasa ve yönetmelikler ile geleceğe yönelik planlamalarda enerji yönetiminin etkin bir şekilde sürdürülmesi enerji tasarrufuna önemli bir katkı sağlamaktadır. Enerjide arz güvenliğinin sağlanması ve dışa bağımlılığın azaltılması, enerji maliyetlerinin sürdürülebilir kılınması, iklim değişikliği ile etkili mücadele ve çevrenin korunması bakımından enerji verimliliği konusu gün geçtikçe önemini artırmaktadır.

Enerji harcamaları sanayi, konut, ulaşım, tarım gibi alanlarda tüketilmekte ve çoğu tükenmekte olan enerji kaynaklarından kullanılmaktadır. Binalar sanayiden sonra en fazla enerji tüketilen yerlerdir ve gittikçe çoğalan inşaat faaliyetleri enerji miktarını artırmaktadır. Binalarda harcanan enerjinin %80'inin ısıtma ve soğutma sistemlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumda bize açıkça göstermektedir ki enerji verimliliğinde binalardaki ısı yalıtımının çok büyük bir önemi vardır.

Böylece, Türkiye genelinde ısı yalıtım sistemlerinin uygulama ve tasarımdaki çevresel şartlarının incelenmesi, karşılaşılan sorunların tespiti, gerekli önlemlerin alınması ve yasal mevzuatların yerine getirilmesine göre yapılan çalışmalar, enerji tasarrufu konusunda önemli hale gelmektedir.

Yalıtımla ilgili yapılan harcamaların 3-5 yıl içinde geri kazanılması ve yalıtımın bina maliyetini en fazla %5 artırması, ilgili mevzuatların zorlamalarıyla, dünyada ve ülkemizde ısı yalıtımıyla ilgili çalışmaların gelişmesini beraberinde getirmektedir. Ayrıca Ar-Ge çalışmalarıyla mevcut ürünlerin geliştirilip, yeni ürünlerin üretimini

artırması da önemlidir ve bu konuyla ilgili kuruluşların seminer ve konferans vererek insanları bilinçlendirmesinde, destekleyici unsurlardandır.

Isı yalıtım malzemelerinin montajının yapılarda soğutma ve ısıtma sistemlerinin enerji performansları uygun olarak yapıldığı ihtimali ile hesaplanmaktadır. Fakat ülkemizde yetişmiş ara eleman sıkıntısı, yapı denetimindeki eksiklikler sebebiyle yapılan ısı yalıtım uygulamalarında hatalar oluşmaktadır. Bu tarz sıkıntılar nedeniyle firmalar uygulama sonuna kadar personel istihdam edemediğinden, oluşan montaj hatalarını termal kamera ile tespit etmek ihtiyacı doğmuştur. Termal kamera ile ısı köprülerini ve ısı kaçaklarını rahatça tespit edilip gerekli tedbirlerin alınması sağlanmaktadır. Her bölge için TS 825'te belirtilen yalıtım kalınlığına bağlı kalınmalı ve yapılan uygulama öncesi yetki sahibi mühendislerden onay alınmalıdır. Binalarda ısı yalıtımı; doğru şekilde uygulandığında ısı köprülerinin önüne geçildiği ve ısı kazanç sağlanabildiği bundan dolayı küf ve mantar oluşumu engellenip daha sağlıklı ve konforlu bir yaşam sunduğu görülmektedir.

Bu çalışmaya yön verecek olan ölçümler; Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesindeki ısı yalıtım evinin iç ve dış ortamlarda EPS (expande polistren) yalıtım malzemesini farklı kalınlıklarda (3-5-8cm) kullanılarak çeşitli sıcaklıklarda veriler elde edilmiştir. Önce montaj işlemleri daha sonrada termal kamera ile çekimler yapılmıştır. Teknik terim olarak “ısı köprüsü” oluşturan bu malzemeler, çıplak gözle fark edilemeyen bir ısı enerjisi aktarımına neden olur. Isı köprüleri ancak termal kameralar sayesinde fark edilebilir. Termal kameralar gözümüzün algılayamadığı düzeyde kızılötesi ışınları yakalar ve bunları ekranında görebileceğimiz değerlere dönüştürürler. Bu veriler üzerinden makine öğrenmesi çalışmaları yapılmıştır.

Makine öğrenmesi uygulamaları, sistemlere açık bir şekilde programlanmadan, deneyimlerden otomatik olarak öğrenme ve geliştirme yeteneği sağlayan yapay zeka (AI) mekanizmalarıdır. Makine öğrenimi, verilere erişebilen ve kendileri için öğrenebilen bilgisayar programlarının geliştirilmesine odaklanır. Öğrenme süreci, verideki kalıpları aramak ve sunduğumuz örneklere dayanarak gelecekte daha iyi kararlar vermek için örnekler, doğrudan deneyim veya talimatlar gibi gözlemler veya verilerle başlar. Birincil amaç, bilgisayarların insan müdahalesi veya yardımı olmadan otomatik olarak öğrenmelerine izin vermek ve eylemleri buna göre ayarlamaktır. Bu tez çalışmasında ısı

yalıtımının modellenmesi için tercih edilen ANFIS, hem sinir ağlarını hem de bulanık mantık ilkelerini birleştiren bir adaptif ağlar sınıfıdır. Sinir ağları, gelecekteki değerlerin tahmin edilmesi için bir tarihsel veri kümesi kullanan denetimli öğrenme algoritmalarıdır. Bulanık mantıkta, kontrol sinyali kural tabanının ateşlenmesinden oluşturulur. Bu kural tabanı, tarihsel verilere göre çekilir ve doğada rastgeledir. Bu, denetleyicinin çıktısının da en iyi sonuçları önleyebilecek rastgele olduğunu ima eder. ANFIS kullanımı, kural tabanının seçimini duruma daha uyumlu hale getirebilir. Bu teknikte, kural tabanı, geri yayılım algoritması aracılığıyla sinir ağı teknikleri kullanılarak seçilir. Uygulanabilirliğini ve performansını arttırmak için, bulanık mantığın özellikleri, yani IF-THEN kurallarını belirleyerek doğrusal olmayan bir sisteme yaklaşmak, bu modelleme tekniğinde sürdürülür. Bu entegre yaklaşım, ANFIS'i evrensel bir tahminci haline getirmektedir.

Isı evinde yapılan ölçümler kullanılarak kurulan ANFIS modeli tarafından üretilen sonuçlar, verilerin kısıtlı olmasına rağmen beklenen sonuçları üretmiştir. Benzer problemlerin modellenmesinde, özellikle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde başarılı olduğu bir kez daha gözlenmiştir. Çalışmaya referans noktasında kaynak olan, fakat aynı problemi sayısal yöntemler üzerinden analiz eden çalışmaların sonuçları ile birleştirildiğinde üretilen modelin başarısı da daha iyi anlaşılmaktadır. ANFIS yapısı kurulurken model parametrelerinin belirlenmesi noktasında yapılan çalışmalar ile model daha verimli çıktılar üretecek hale dönüştürülmüştür. Şekil 4.8'de gösterilen grafikte gerçek veriler ile model tarafından üretilen verilerin karşılaştırılması (farklarının) sonucu oluşan grafik öngörülen tespiti desteklemektedir. Model ile ilgili en önemli sıkıntı ölçüm verilerinin kısıtlı olmasıdır. Daha önce yapılan ve teze referans olan çalışmalardan (Bölüm 4.1.1'de bahsedildiği gibi) alınan veriler üzerinde model gerçekleştirilmiştir. Veri setinin kısıtlılığı üretilen modelin başarısını çok fazla etkilememiştir. Bu bağlamda elde edilen veriler ile daha geniş ölçümler ve geniş parametre (giriş parametreleri) kümeleri ile kurulacak modellerin daha da başarılı olacağı öngörüsü oluşmuştur. Isı evindeki ölçüm düzeneklerinin oluşan tecrübeler doğrultusunda yenilenmesi ile çalışmanın daha gelişmiş bir boyut kazanması planlanmıştır.

Günümüzde güncelliğini ve popülerliğini giderek artıran makine öğrenmesi yöntemlerine, bu tür bir problemin uygulanması ve çözülmesi sonucunda gerek bilgi

birikimi ve gerekse de çıktıların uygunluğu ile oluşturulan modelin başarısı çalışmanın hedeflerini desteklemektedir.



6. KAYNAKÇA

- [1] S. Obara Ve A. Hepbasli, *Compound Energy Systems: Optimal Operation Methods*. Royal Society Of Chemistry, 2010.
- [2] A. Hepbaşlı, *Temel Kavramlar, Enerji Verimliliği Ve Yönetim Sistemleri Yaklaşımlar Ve Uygulamaar*, Birinci Baskı. İstanbul: Esen Ofset Matbaacılık San. Ve Tic. A.Ş., 2010.
- [3] M.A: Bilginoğlu, “Türkiye’nin Enerji Sorunları Ve Çözüm Arayışları”, Program Adı: Erciyes Üniversitesi Stratejik Araştırmalar Merkezi, Kayseri, 2013.
- [4] M.A: Bilginoğlu, “Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Sorunu Ve Alternatif Enerji Politikaları”, *Erciyes Üniversitesi İktis. İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, Sy 9, S. 122, Kas. 1991.
- [5] S. Rıdvan Karluk, *Avrupa Topluluğu Ve Türkiye*, 4. Baskı. İstanbul: İstanbul Mernkul Kıymetler Borsası Yayınları, 1996.
- [6] A. A. Sertkaya, M. Saraç, Ve M. A. Omar, “Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerinin Türkiye İçin Önemi”, *Gazi Mühendis. Bilim. Derg. Gmbd*, C. 1, Sy 3, Ss. 369-382, Eyl. 2015.
- [7] Ümit Çağlayan Arslan, “Sanayi Devrimi: Sonuçları Ve Uluslararası Sisteme Yansımaları”. Başkent Üniversitesi, 25-Ara-2017.
- [8] M. Ali Bilginoğlu, “Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Sorunu Ve Alternatif Enerji Politikaları”, *Eü İktis. İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, Sy 9, Ss. 122-147, Kas. 1991.
- [9] K. Kaplan, E. E., “Dünyada Ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi”, Sy 187, Ss. 70-80, 2008.
- [10] K. Şenel, M. C. E., “Dünyada Ve Türkiyede Genel Enerji Durumu -I Dünya Değerlendirmesi”, *Termodin. Derg.*, C. 54, Sy 639, Ss. 32-44, Şub. 2013.
- [11] “Dünya Ve Türkiye Enerji Ve Tabii Kaynaklar Görünümü”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://Www.Enerji.Gov.Tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_15/Mobile/İndex.Html#P=1](http://www.enerji.gov.tr/resources/sites/1/pages/sayi_15/mobile/index.html#p=1). [Erişim: 26-Kas-2018].
- [12] B. M. Ceyhan Teknik Sektör Yayıncılığı A. Ş. ., Teknik Yayıncılık, İş Dünyası Yayıncılık Ltd Şti ., İsmail, “Enerji Ve Çevre Dünyası Dergisi”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://Www.Enerji-Dunyasi.Com/Yayin/Yakit-Fiyatlari/](http://www.enerji-dunyasi.com/yayin/yakit-fiyatlari/). [Erişim: 27-Kas-2018].
- [13] Ayça Aytaç Ve U: Teoman Aksoy, “Enerji Tasarrufu İçin Duvarlara Optimum Yalıtım Kalınlığı Ve Isıtma Maliyeti İlişkisi”, *Gazi Üniversitesi Mim Fak Der*, C. 21, Sy 4, Ss. 753-758, 2006.
- [14] M. Narin Ve Sevim Akdemir, “Enerji Verimliliği Ve Türkiye”. 2006.
- [15] Biriçim Teknik, “İklim Değişikliği, Doğal Kaynaklar, Ekolojik Denge, Enerji Verimliliği Ve Kentleşme Komisyonu”. Bayındırlık İskan Bakanlığı, 2009.
- [16] M. K. Büyükmihçı, “Verimli Kullanılan Enerji: Geleceğimizin Güvencesi”, Enerji Verimliliği”. Elektirik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 2004.
- [17] E. Özdil, S. Şişbot, A. Özpınar, B. Olgun, Ve Türkiye Elektrik Sanayi Birliği (Tesab), *Elektrik Enerjisi Teknolojileri Ve Enerji Verimliliği*. İstanbul: Türkiye Elektrik Sanayi Birliği, 2012.
- [18] J. S. Norgard, “Can Energy Saving Policy Survive İn A Market Economy?”, *Eur. Counc. Energy-Effic. Econ.*, Ss. 261-27313, 2006.

- [19] K. Kavak, “Dünyada Ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi”, Uzmanlık Tez, İktisadi Sektörler Ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara, 2005.
- [20] “Enerji Verimliliği - Enerji.Gen.Tr”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.enerji.gen.tr/enerji-verimliliği.html>. [Erişim: 27-Kas-2018].
- [21] T.C.Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu”, [Http://www.Yegm.Gov.Tr/Document/Enver_Gelisim_Rapor_2018.Pdf](http://www.yegm.gov.tr/document/enver_gelisim_rapor_2018.pdf), 2018. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://www.Yegm.Gov.Tr/Document/Enver_Gelisim_Rapor_2018.Pdf](http://www.yegm.gov.tr/document/enver_gelisim_rapor_2018.pdf). [Erişim: 27-Kas-2018].
- [22].“Yegm : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://www.Yegm.Gov.Tr/](http://www.yegm.gov.tr/). [Erişim: 27-Kas-2018].
- [23] A. H. Çermikli, “Enerji Tüketimi, Enerji Yoğunluğu Ve İktisadi Büyüme”, *Ekon. Yaklasim*, C. 16, Sy 56, Ss. 57-77, 2005.
- [24] “Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme Ve Yayın Genel Müdürlüğü”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://www.Resmigazete.Gov.Tr/Eskiler/2013/07/20130706m1-1.Htm](http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130706m1-1.htm). [Erişim: 27-Kas-2018].
- [25] “Toprak Isı Sistemleri”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://www.Toprakisi.Com.Tr/İcerik.Php?İd=150](http://www.toprakisi.com.tr/icerik.php?id=150). [Erişim: 27-Kas-2018].
- [26] İmo Yapı Malzemeleri Komisyonu, “17182_44_51.Pdf”, [Http://www.İmo.Org.Tr](http://www.imo.org.tr), 2015. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://www.İmo.Org.Tr/Resimler/Ekutuphane/Pdf/17182_44_51.Pdf](http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17182_44_51.pdf). [Erişim: 27-Kas-2018].
- [27] “Dergilerimiz - İzoder Isı Su Ses Ve Yangın Yalıtımcıları Derneği”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Https://www.İzoder.Org.Tr/Dergilerimiz](https://www.izoder.org.tr/dergilerimiz). [Erişim: 27-Kas-2018].
- [28] M. Z. Yılmazoğlu, “Binalarda Isı Yalıtımının Örnek İki Binada Karşılaştırılması Ve Ekonomik Analizleri”, *İçinde Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 2011, Ss. 48-56.
- [29] F. Ş. Sezer, “Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi Ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri”, *Uludağ Üniversitesi Mühendis.-Mimar. Fakültesi Derg.*, C. 10, S. 7.
- [30] K. Anıl, “Binalarda Enerji Verimliliği: Ube Binası Örneği”, Yüksek Lisans Tez, Ege Üniversitesi, İzmir, 2012.
- [31] M. Özel Ve Pıhtılı, Kazım, “Bina Duvarlarına Uygulanan Yalıtımın Farklı Konumlarının Isı Kazanç Ve Kayıplarına Olan Etkisinin Araştırılması”, *Deü Mühendis. Fakültesi Fen Ve Mühendis. Derg.*, C. 7, Sy 1, Ss. 87-97, Oca. 2005.
- [32] M. Gölcü, Ö. A. Dombaycı, Ve S. Abalı, “Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi Ve Sonuçları”, *Gazi Üniversitesi Mühendis.-Mimar. Fakültesi Derg.*, C. 21, Sy 4, 2006.
- [33] K. Karabulut, “Yapı Elemanlarındaki Isı Kayıplarının Sayısal Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tez, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2010.
- [34] “Ulusal Tez Merkezi | Anasayfa”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Https://Tez.Yok.Gov.Tr/UlusalTezMerkezi/](https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/). [Erişim: 29-Kas-2018].

- [35] M. Dabak, "Binalarda Isı Yalıtımındaki Eksiklerin Enerji Tasarrufuna Olan Etkilerinin Uygulamalı Olarak Araştırılması", Yüksek Lisans Tez, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2011.
- [36] K. Karabulut, E. Buyruk, Ve A. Fertelli, "Numerical Investigation Of The Effect Of Insulation On Heat Transfer Of Thermal Bridges With Different Types", *Therm. Sci.*, C. 20, Sy 1, Ss. 185-195, 2016.
- [37] E. Buyruk, F. Kılınç, A. Fertelli, Ve M. Aksoy, "Application Of Different Insulation Materials For Cold Climate Regions", Program Adı: Conference Paper (Pdf Available) · April 2011 With 1 Reads Conference: Conference: 21st International Symposium On Heating, Refrigerating And Air Conditioning Conference, At Croatia, 2011.
- [38] G. Bayer, "Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri Ve Örnek Bir Projede Isı Yalıtım Maliyet Analizi", Yüksek Lisans Tesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2007.
- [39] N. Candan, "Isı Yalıtımı Sistemleri Ve Özelliklerinin Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tez, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2007.
- [40] N. İlgin, "Bina Duvarına Uygulanan Yalıtımın Yoğuşmaya Etkisinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tez, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2009.
- [41] Ö. Kaynaklı Ve R. Yamankaradeniz, "Isıtma Süreci Ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı", *Viii Ulus. Tesisat Mühendisliği Kongresi*, S. 187, 2010.
- [42] F. Kılınç Ve Ertan Buyruk, "Sivas İçin Farklı Yalıtım Malzemelerinin Isı Kaybına Olan Etkilerinin Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tez, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2011.
- [43] O. Özutku Ve C. Karakuş, "Binalarda Isı Yalıtım Yolu İle Enerji Tasarrufunun İklimlendirme Açısından İncelenmesi Ve Optimum Cam Kaplama Alanı Belirlenmesi", *X Ulus. Tesisat Mühendisliği Kongresi*, S. 7, 13-16 Nisan.
- [44] M. Oğuz Ve S. Kaya, "Tesisat Yalıtımında Uygun Malzeme Seçimi". Yalıtım Semineri, 2015.
- [45] K. Li, H. Su, Ve J. Chu, "Forecasting Building Energy Consumption Using Neural Networks And Hybrid Neuro-Fuzzy System: A Comparative Study", *Energy Build.*, C. 43, Sy 10, Ss. 2893-2899, Eki. 2011.
- [46] J. Yang, H. Rivard, Ve R. Zmeureanu, "On-Line Building Energy Prediction Using Adaptive Artificial Neural Networks", *Energy Build.*, C. 37, Sy 12, Ss. 1250-1259, Ara. 2005.
- [47] S. Karatasou, M. Santamouris, Ve V. Geros, "Modeling And Predicting Building's Energy Use With Artificial Neural Networks: Methods And Results", *Energy Build.*, C. 38, Sy 8, Ss. 949-958, Ağu. 2006.
- [48] M. Tosun Ve K. Dincer, "Modelling Of A Thermal Insulation System Based On The Coldest Temperature Conditions By Using Artificial Neural Networks To Determine Performance Of Building For Wall Types İn Turkey", *Int. J. Refrig.*, C. 34, Sy 1, Ss. 362-373, Oca. 2011.
- [49] T. Chaudhuri, Y. C. Soh, H. Li, Ve L. Xie, "Machine Learning Based Prediction Of Thermal Comfort İn Buildings Of Equatorial Singapore", İçinde *2017 Ieee International Conference On Smart Grid And Smart Cities (Icsgsc)*, Singapore, Singapore, 2017, Ss. 72-77.
- [50] K. Haydaraslan, E. Haydaraslan, H. T. Kahraman, Ve Y. Y. Yaşar, "An Estimate Of Energy Consumption For Housing Buildings In Hot Climatic Zones Through Artificial Intelligence Methods: Case Of Antalya", *E-J. New World Sci. Acad.*, C. 13, Sy 3, Ss. 273-284, Tem. 2018.

- [51] D. Bienvenido-Huertas, J. Moyano, C. E. Rodríguez-Jiménez, Ve D. Marín, “Applying An Artificial Neural Network To Assess Thermal Transmittance İn Walls By Means Of The Thermometric Method”, *Appl. Energy*, C. 233-234, Ss. 1-14, Oca. 2019.
- [52] K. Venkatesan Ve U. Ramachandraiah, “Climate Responsive Cooling Control Using Artificial Neural Networks”, *J. Build. Eng.*, C. 19, Ss. 191-204, Eyl. 2018.
- [53] C. Ekinci, *Yalıtım Teknikleri*. İstanbul: Atlas Yayınları, 2003.
- [54] N. Koçu Ve S. Z. Korkmaz, “Konya Çevresindeki Yapılarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Ts 825’e Göre Değerlendirilmesi Ve Çevre Kirliliğine Etkisi”, S. 12.
- [55] O. Özutku, “Binalarda Isı Yalıtımı Yoluyla Enerji Tasarrufu Mkü Mühendislik Fakültesi Binası Örneği”, Yüksek Lisans Tez, Mustafa Kemal Üniversitesi, 2012.
- [56] Tesisat, “Isı Yalıtımı Nedir?”, *Tesisat*, 08-Kas-2015. .
- [57] H. Ç. Türkçü, *Yapım İlkeler - Malzemeler - Yöntemler - Çözümler*. Birsen Yayınevi, 2017.
- [58] “Xps Türkiye - Neden Isı Yalıtımı Yapmalıyız?” [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://Www.Xpsturkiye.Org/Sayfa.Asp?Id=132](http://www.xpsturkiye.org/sayfa.asp?id=132). [Erişim: 06-Ara-2018].
- [59] C. E. Ekinci, *Yapı Ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı*. Ankara: Bordro Kitap, 2008.
- [60] U. T. Aksoy, “Sandviç Ve Gazbeton Duvar Uygulamalarının Ortalama Isı Geçirgenlik Katsayısı Ve Isı Kaybı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, C. 1-2, Sy 24, Ss. 277-290, 2008.
- [61] Ş. Dilmaç, A. Can, Ve F. Ş. Sezer, “Ara Kat Kirişli Döşemelerinde İçeriden Ve Dışarıdan Yalıtım Uygulamalarının Enerji Verimliliklerinin Karşılaştırılması”, *Tesisat Mühendisliği*, S. 14, 2004.
- [62] K. Karabulut Ve E. Buyruk, “Dış Ortam Sıcaklığının Değişimine Bağlı Olarak Isı Köprülerindeki Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendis. Mimar. Fakültesi Derg.*, C. 2, Sy 26, S. 11, 2011.
- [63] M. K. İşman, “Isı Köprülerindeki Sıcaklık Dağılımlarının Sayısal Olarak İncelenmesi”, S. 10.
- [64] “Isı Köprüsü Nedir | Gnyapı”, *Gn Yapı*. .
- [65] “Isı Yalıtımı Nedir? Dış Cephe Isı Yalıtım Levhaları”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://Www.Bina.Com.Tr/32/33/Tr/Isi-Yalitimi-Nedir.Html](http://www.bina.com.tr/32/33/tr/isi-yalitimi-nedir.html). [Erişim: 06-Ara-2018].
- [66] H. Aksöz, “Betonarme Binalarda Uygulanan Isı Yalıtımı Amaçlı Duvar Elemanlarının Isı Ve Ekonomik Yönden Analizi”, Yüksek Lisans Tez, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 2009.
- [67] E. Bostancı Ve Ertan Buyruk, “Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Olan Etkilerinin Deneysel Ve Sayısal İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tez, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2017.
- [68] “Dış Cephe Mantolamanın Faydaları | İnceten Yalıtım”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://Www.İnceten.Com/Dokumanlar/Dis-Cephe-Mantolamanin-Faydaları/](http://www.inceten.com/dokumanlar/dis-cephe-mantolamanin-faydaları/). [Erişim: 06-Ara-2018].
- [69] “Atermit_Yalitim_Malzemeleri_2013.Pdf”. .
- [70] “İç Cephe Mantolama,İçten Mantolama, İç Mantolama”, *Gn Yapı*. .
- [71] M. Türkmen, “Bina Kabuğunda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Yapısal Performansı Ve Etkinliğinin İstanbul’da Bir Alan Çalışması İl Eincelenmesi”, Yüksek Lisans Tez, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2016.

- [72] “Çift Duvar Arası (Sandviç Duvar) Isı Yalıtım Uygulamaları”, *Gnyapi*. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://Gnyapi.Tumblr.Com/Post/102684800441/Çift-Duvar-Arası-Sandviç-Duvar-Isı-Yalıtım](http://Gnyapi.Tumblr.Com/Post/102684800441/Çift-Duvar-Arası-Sandviç-Duvar-Isı-Yalıtım). [Erişim: 10-Ara-2018].
- [73] “Isı Yalıtım Malzemeleri Nelerdir, İzolasyon Malzemeleri”, *Gn Yapı*. .
- [74] Polistren Üreticiler Derneği, “Isı Yalıtımında Beyaz Güç”, *Yapı Ve Yalıtım Teknolojileri Derneği Polistren Üreticiler Derneği*, Sy 32, Ss. 26-21, 2001.
- [75] “[Yapılarda Isı-Su Yalıtımları] Tmmob İnşaat Mühendisleri Odası”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://Www.İmo.Org.Tr/Yayinlar/Kitap_Goster.Php?Kodu=68](http://Www.İmo.Org.Tr/Yayinlar/Kitap_Goster.Php?Kodu=68). [Erişim: 10-Ara-2018].
- [76] “Isı Yalıtımı Nedir”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Http://Www.Globalmimarlik.Net/İsi_Yalıtım_Cesitleri.Html](http://Www.Globalmimarlik.Net/İsi_Yalıtım_Cesitleri.Html). [Erişim: 10-Ara-2018].
- [77] “Aterpor Neo”, *Çatseser*. .
- [78] J.-R. Jang, “Anfis: Adaptive-Network-Based Fuzzy İference System”, *Ieee Trans. Syst. Man Cybern.*, C. 23, Sy 3, Ss. 665-685, May. 1993.
- [79] J. S. R. Jang, “Neuro-Fuzzy And Soft Computing; A Computational Approach To Learning And Machine İntelligence”, İçinde *Prentice Hall, Upper Saddle River*, 1997.
- [80] G. Cybenko, “Approximation By Superpositions Of A Sigmoidal Function”, *Math. Control Signals Syst.*, C. 2, Sy 4, Ss. 303-314, Ara. 1989.
- [81] “Multilayer Feedforward Networks Are Universal Approximators - Sciencedirect”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Https://Www.Sciencedirect.Com/Science/Article/Pii/0893608089900208](https://Www.Sciencedirect.Com/Science/Article/Pii/0893608089900208). [Erişim: 09-Kas-2018].
- [82] “Approximation Capabilities Of Multilayer Feedforward Networks - Sciencedirect”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [Https://Www.Sciencedirect.Com/Science/Article/Pii/089360809190009t](https://Www.Sciencedirect.Com/Science/Article/Pii/089360809190009t). [Erişim: 09-Kas-2018].
- [83] J. A. Goguen, “L. A. Zadeh. Fuzzy Sets. Information And Control, Vol. 8 (1965), Pp. 338–353. - L. A. Zadeh. Similarity Relations And Fuzzy Orderings. Information Sciences, Vol. 3 (1971), Pp. 177–200.”, *J. Symb. Log.*, C. 38, Sy 4, Ss. 656-657, Ara. 1973.
- [84] G. Chen Ve T. T. Pham, *Introduction To Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Control Systems*. Boca Raton, Fl: Crc Press, 2001.
- [85] Neşet Baysal, “Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sisteminin Sayısal İşaret İşlemci İle Gerçekleştirilmesi Ve Uygulaması”, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2009.
- [86] F. M. Mcneill Ve E. Thro, *Fuzzy Logic: A Practical Approach*. Boston: Ap Professional, 1994.
- [87] Mahmut Sincen, “Klima Sistem Kontrolünün Bulanık Mantık İle Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tez, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2002.
- [88] M. Yılmaz Ve E. Arslan, “Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması”, *Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası I Mühendis. Ölçmeleri Stb Kom. 2 Mühendis. Ölçmeleri Sempozyumu*, S. 11, 2005.
- [89] Bülent Haznedar, “Benzetilmiş Tavlama Algoritması İle Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sisteminin (Anfis) Eğitilmesi”, Doktora Tez, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2017.

- [90] “An Experiment In Linguistic Synthesis With A Fuzzy Logic Controller - Sciencedirect”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020737375800022>. [Erişim: 12-Kas-2018].
- [91] O. Akyılmaz Ve T. Ayan, “Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamaları”, *İtüdergisi/D*, C. 5, Sy 1, Mar. 2010.
- [92] “Outline Of A New Approach To The Analysis Of Complex Systems And Decision Processes - Ieee Journals & Magazine”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5408575>. [Erişim: 12-Kas-2018].
- [93] H. M. Palancıoğlu Ve E. Beğdok, “Hareketly Objelerin Ulağım Ağlarındaky Hareketlerin Bulanık Mantık Metotları Yle Modellenmesi”, S. 23.
- [94] M. Sugeno, *Industrial Applications Of Fuzzy Control*. New York, Ny, Usa: Elsevier Science Inc., 1985.
- [95] L. H. Tsoukalas Ve R. E. Uhrig, *Fuzzy And Neural Approaches In Engineering*, 1st Bs. New York, Ny, Usa: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [96] T. L. Fine, *Feedforward Neural Network Methodology*. New York: Springer-Verlag, 1999.
- [97] E. Öztemel, *Yapay Sinir Ağları*. 2012.
- [98] S. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Delhi: Pearson Education, 1999.
- [99] Laurene Fausett, *Fundamentals Of Neural Networks*. Newyork: Nj: Prentice Hall, 1994.
- [100] Ahmet Gürkan Yüksek, “Hava Kirliliği Tahmininde Çoklu Regresyon Analizi Ve Yapay Sinir Ağları Yönteminin Karşılaştırılması”, Doktora Tez, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2007.
- [101] Metin Zontul, “Som Tipinde Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Türkiye İle Ticareti Olan Ülkelerin Kümelenmesi Üzerine Bir Şarbon”, Doktora Tez, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2004.
- [102] O. K. Efe Önder, *Yapay Sinir Ağları Uygulamaları*. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 2000.
- [103] D. Graupe, *Principles Of Artificial Neural Networks*. Singapore: World Scientific, 1997.
- [104] F. Rosenblatt, “The Perceptron: A Probabilistic Model For Information Storage And Organization In The Brain.”, *Psychol. Rev.*, C. 65, Sy 6, Ss. 386-408, 1958.
- [105] X. Hu, “Db-Hreduction: A Data Preprocessing Algorithm For Data Mining Applications”, *Appl. Math. Lett.*, C. 16, Sy 6, Ss. 889-895, Ağu. 2003.
- [106] “A Data Preparation Framework Based On A Multidatabase Language - Ieee Conference Publication”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/938088>. [Erişim: 12-Kas-2018].
- [107] A. G. Yuksek, E. S. Tuzemen, Ve S. Elagoz, “Modeling Of Reflectance Properties Of Zno Film Using Artificial Neural Networks”, *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, Sy 17, S. 15, 2015.
- [108] C. E. Kim, H. Soo Shin, P. Moon, H. Jae Kim, Ve I. Yun, “Modeling Of In2o3-10wt% Zno Thin Film Properties For Transparent Conductive Oxide Using Neural Networks”, *Curr. Appl. Phys.*, C. 9, Sy 6, Ss. 1407-1410, Kas. 2009.
- [109] M.-S. Chen Ve S.-W. Wang, “Fuzzy Clustering Analysis For Optimizing Fuzzy Membership Functions”, *Fuzzy Sets Syst.*, C. 103, Sy 2, Ss. 239-254, Nis. 1999.

- [110] J.-R. Jang Ve C.-T. Sun, “Neuro-Fuzzy Modeling And Control”, *Proc. Ieee*, C. 83, Sy 3, Ss. 378-406, Mar. 1995.
- [111] S. L. Chiu, “Fuzzy Model Identification Based On Cluster Estimation”, *J. Intell. Fuzzy Syst.*, C. 2, Sy 3, Ss. 267-278, Oca. 1994.
- [112] S. L. Chiu, “Extracting Fuzzy Rules From Data For Function Approximation And Pattern Classification”, S. 11.
- [113] “Learning Representations By Back-Propagating Errors | Nature”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.nature.com/articles/323533a0>. [Erişim: 20-Kas-2018].
- [114] “A Neuro-Fuzzy Computing Technique For Modeling Hydrological Time Series - Sciencedirect”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169403005134>. [Erişim: 20-Kas-2018].
- [115] F. Mahmut Ve Güngör Mahmud, “River Flow Estimation Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System - Sciencedirect”, *Math. Comput. Simul.*, C. 75, Sy 3-4, Ss. 87-96.
- [116] “Mse, Rmse, Mae, Mape Ve Diğer Metrikler – Veri Bilimcisi”. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://veribilimcisi.com/2017/07/14/mse-rmse-mae-mape-metrikleri-nedir/>. [Erişim: 20-Kas-2018].