

AKILLI EV UYGULAMALARINDA KUVVETLİ VE ZAYIF AKIM ELEKTRİK İÇ TESİSATI

Elektrik Mühendisi İsmail ÖZTÜRK

Dr. Öğr. Üyesi Berkan ZÖHRA

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet EKİCİ

yaz
yayınları

AKILLI EV UYGULAMALARINDA KUVVETLİ VE ZAYIF AKIM ELEKTRİK İÇ TESİSATI

Yazarlar

Elektrik Mühendisi İsmail ÖZTÜRK

Dr. Öğr. Üyesi Berkan ZÖHRA

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet EKİCİ

yaz
yayınları

2025

**Akıllı Ev Uygulamalarında Kuvvetli ve
Zayıf Akım Elektrik İç Tesisatı**

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet EKİCİ

Yazar: Elektrik Mühendisi İsmail ÖZTÜRK

ORCID: 0009-0009-5271-1633

Yazar: Dr. Öğr. Üyesi Berkan ZÖHRA

ORCID: 0000-0002-9418-6461

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8508-96-3

Aralık 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar / AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

ÖZET

Bu kitapta, akıllı konut sistemlerinde enerji verimliliği temelli kuvvetli ve zayıf akım tesisatlarının planlanmasını hem kuramsal çerçevede hem de pratik uygulama boyutunda ele almaktadır. Geleneksel yapıların aksine, günümüz konutlarında otomasyon sistemleri, sensörler, iletişim protokolleri ve enerji yönetimi entegre bir şekilde çalışmakta; bu durum iç tesisat sistemlerinin çok boyutlu ve bütüncül bir yaklaşımla tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır. Çalışma kapsamında zayıf akım sistemleri (veri, IP, CCTV, yangın, alarm vb.), akıllı kontrol birimleri (BMS, SCADA, IoT tabanlı cihazlar), priz ve aydınlatma çözümleri ile enerji izleme senaryoları incelenmiş ve enerji verimliliği açısından tasarım ilkeleri belirlenmiştir. Ayrıca, akıllı ev sistemlerinin mimari ve teknolojik tasarımı ele alınırken, önerilen sistemin Türkiye’de yürürlükte olan yasal mevzuata ve teknik standartlara (Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik vb.) uygunluğu da detaylıca irdelenmiştir. Örnek bir konut projesi üzerinden gerçekleştirilen güç analizi, gerilim düşümü ve akım taşıma kapasitesi hesaplamaları ile tasarlanan akıllı ev altyapısının teknik güvenilirliği ve uygulanabilirliği matematiksel verilerle doğrulanmıştır. Elde edilen bulgular ve literatür taramaları, akıllı evlerin gelecekte sadece enerji tasarrufu değil; sürdürülebilirlik, güvenlik ve yaşam konforu alanlarında da önemli katkılar

sunacağını ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma, mühendislik tasarım sürecine hem teknik hem de yönetsel bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
Terminoloji ve Kavramsal Tanımlar.....	4
2. AKILLI EV TEKNOLOJİLERİNE GENEL BAKIŞ	5
2.1. Akıllı Ev Tanımı ve Evrimi	5
2.2. Akıllı Ev Sistemlerinin Bileşenleri.....	8
2.3. Otomasyon Protokolleri (KNX, ZigBee, Z-Wave vb.)	11
2.4. Enerji Yönetimi ve Kullanıcı Arayüzleri	14
3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE MEVZUATLAR	18
3.1. Enerji Verimliliği Kavramı.....	18
3.2. Türkiye’de ve Dünya’da Uygulanan Mevzuatlar	21
3.3. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği	24
3.4. LEED, BREEAM, Enerji Kimlik Belgesi (EKB)	27
3.5. Ulusal Yönetmelikler ve Teknik Yasal Dayanaklar	31
3.5.1. Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği.....	31
3.5.2. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik	32
3.5.3. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği	33
3.5.4. Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği ..	34

4. KUVVETLİ AKIM TESİSATI TASARIMI	35
4.1. Kuvvetli Akım Tanımı ve Kullanım Alanları	35
4.2. Yük Analizi ve Talep Tahmini	38
4.3. Aydınlatma, Priz ve Cihaz Besleme Sistemleri.....	41
4.4. Elektrik Panoları ve Topraklama Sistemi	44
4.5. Enerji Verimliliği Açısından Kuvvetli Akım Tasarımı	46
5. ZAYIF AKIM TESİSATI TASARIMI	50
5.1. Zayıf Akım Sistemleri	50
5.2. Otomasyon ve Akıllı Kontrol Sistemleri.....	54
5.3. Entegrasyon Planları (BMS, SCADA, IoT).....	57
5.4. Zayıf Akım Sistemlerinin Enerji Verimliliğine Katkısı	60
6. SİSTEM ENTEGRASYONU VE PROJELENDİRME UYGULAMASI.....	63
6.1. Tipik Bir Konut Örneği Üzerinde Uygulama.....	64
6.2. Kat Planları ve Elektrik Projeleri Hakkında.....	67
6.3. Otomasyon Senaryolarının Oluşturulması.....	70
6.4. Enerji Tüketim Simülasyonu ve Karşılaştırmalar	73
6.5. Maliyet Analizi ve Geri Dönüş Süresi.....	76
6.6. Projelendirme Uygulaması.....	79
6.7. Proje Tasarım Hesaplamaları ve Doğrulama	94

6.7.1. Kurulu Güç ve Talep Gücü Analizi	94
6.7.2. Akım Taşıma Kapasitesi ve Sigorta Seçimi	95
6.7.3. Gerilim Düşümü Hesabı.....	95
6.7.4. Priz Tesisatı Kontrolleri	96
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	96
KAYNAKLAR.....	102

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

1. GİRİŞ

Akıllı ev teknolojileri, son yıllarda enerji verimliliği, güvenlik ve kullanıcı konforu gibi birçok alanda önemli gelişmeler göstermiştir. Özellikle nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ ve mikrodenetleyici tabanlı sistemlerle desteklenen uygulamalar, yaşam alanlarının daha sürdürülebilir ve yönetilebilir hâle gelmesini sağlamaktadır (Machorro-Cano ve ark., 2020; Alsalemi ve ark., 2020). Bu kapsamda kuvvetli ve zayıf akım iç tesisatlarının enerji verimliliği odaklı olarak planlanması, sistemin hem teknik hem de çevresel performansını doğrudan etkilemektedir (Matallanas ve ark., 2012; Muñiz ve ark., 2018). Literatürde, akıllı evlerde kullanılan elektrik altyapılarının tasarımıyla ilgili olarak; sensör tabanlı enerji izleme sistemleri (Morimoto ve ark., 2013), otomasyon protokolleri (ZigBee, KNX, MQTT) ile haberleşen mikrodenetleyici mimarileri (Wan ve ark., 2019), ve kullanıcı dostu arayüzlerin enerji davranışlarına etkisi (Pritoni, 2015) gibi konular öne çıkmaktadır. Ayrıca akıllı şebeke ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyon da güncel çalışmalar arasında yer almakta ve enerji verimliliği açısından sistem performansını önemli ölçüde artırmaktadır (Kok ve ark., 2009; Matallanas ve ark., 2012).

Günümüzde enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, sürdürülebilir yaşam alanlarının oluşturulmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu kapsamda, enerji verimliliğini artırmaya yönelik teknolojik çözümler büyük bir önem kazanmıştır. Özellikle akıllı ev sistemleri, kullanıcı konforunu artırmanın yanı sıra enerji tüketimini optimize etme hedefiyle hızla yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerin hayata geçirilebilmesi için kuvvetli ve zayıf akım elektrik iç tesisatlarının doğru planlanması ve projelendirilmesi gerekmektedir. Elektriksel altyapı yalnızca enerji aktarımını değil; aynı zamanda güvenlik, iletişim ve otomasyon gibi sistemlerin entegrasyonunu da içerdiği için bu konunun teknik ve uygulamalı olarak ele alınması kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmanın temel amacı akıllı ev uygulamalarının yer aldığı konutlarda, enerji verimliliğini esas alan kuvvetli ve zayıf akım iç elektrik tesisatlarının nasıl tasarlanması ve projelendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında sistem entegrasyonu, kablolama planlaması, otomasyon yapıları, kullanıcı konforu ve güvenlik gibi etkenler göz önünde bulundurularak bütüncül bir elektriksel altyapı modeli sunulmuştur. Aynı zamanda güncel teknolojik çözümler, iletişim protokolleri ve yönetmeliklerle uyumlu yapıların oluşturulmasına ilişkin

ilkeler değerlendirilmiştir. Çalışma, yalnızca konut tipi binalarda akıllı sistem destekli elektrik iç tesisatlarının planlamasını konu almaktadır. Endüstriyel veya ticari yapılara yönelik sistemler kapsam dışındadır. Ayrıca çalışmada gerçek saha uygulaması veya sistem performansına yönelik analiz ve deneysel veri bulunmamaktadır. Uygulama bölümleri, yalnızca planlama ve projelendirme örnekleriyle sınırlı tutulmuştur. Kullanılan standartlar ve sistem yapıları, Türkiye’de geçerli olan teknik yönetmelikler ve uygulamalara uygun olarak ele alınmıştır. Yazım süreci, literatür taraması, teknik doküman incelemeleri ve akıllı ev sistemlerinin elektriksel alt yapısına ilişkin planlama süreçlerinin teorik temelleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sektörde yaygın olarak kullanılan bileşenler, haberleşme protokolleri ve sistem senaryoları incelenerek sistem tasarımında temel alınmıştır. Uygulama kısmı ise tipik bir konut planı üzerinden, senaryoya dayalı proje geliştirme esasına göre şekillendirilmiştir.

Terminoloji ve Kavramsal Tanımlar

- Akıllı Ev: Sensörler, kontrol sistemleri ve yazılım algoritmalarıyla donatılmış, otomatik kararlar alabilen ve uzaktan yönetilebilen yaşam alanlarıdır.
- Kuvvetli Akım Tesisatı: 220V ve üzeri gerilimlerde enerji beslemesi sağlayan elektriksel sistemlerdir.
- Zayıf Akım Tesisatı: Düşük gerilimde çalışan güvenlik, iletişim ve otomasyon sistemlerinin altyapısını ifade etmektedir.
- Enerji Verimliliği: Aynı hizmetin daha az enerjiyle sağlanması amacıyla yapılan sistemsel ve yapısal iyileştirmelerdir.
- BMS (Bina Yönetim Sistemi): Binadaki tüm mekanik ve elektriksel sistemlerin merkezi kontrolünü sağlayan yönetim altyapısıdır.
- SCADA: Geniş ölçekli sistemlerde uzaktan izleme ve kontrol sağlayan otomasyon sistemleridir.

- IoT (Nesnelerin İnterneti): Fiziksel cihazların internet aracılığıyla birbirleriyle haberleşmesini sağlayan teknoloji bütünüdür.

2. AKILLI EV TEKNOLOJİLERİNE GENEL BAKIŞ

Çalışmanın bu bölümünde kavramsal çerçeve açısından önemli olan tarihsel gelişim süreci ve sistemin temel yapıtaşları (sensörler, mikrodenetleyiciler) ele alınmıştır. Devamında, iletişim standartları açısından KNX ve ZigBee protokollerine odaklanılmış, son olarak verimlilik ve etkileşim açısından önem arz eden enerji yönetimi ve kullanıcı arayüzleri irdelenmiştir.

2.1. Akıllı Ev Tanımı ve Evrimi

Akıllı ev kavramı, temel olarak enerji, güvenlik, konfor ve iletişim sistemlerinin entegre edilerek otomatik ya da uzaktan yönetilebildiği yaşam alanlarını ifade etmektedir. Bu sistemler kullanıcı davranışlarını öğrenebilen, çevresel değişkenlere adapte olabilen ve enerji verimliliği sağlayan teknolojilerle donatılmıştır (Machorro-Cano ve ark., 2020). İlk dönemlerde sadece zamanlayıcı aydınlatma veya güvenlik alarm sistemlerinden oluşan yapı, bugün yapay zekâ, IoT ve bulut tabanlı sistemlerle oldukça gelişmiş bir düzeye ulaşmıştır. Akıllı ev sistemlerinin evrimi,

nesnelerin interneti (IoT) kavramının günlük yaşamla bütünleşmesiyle hız kazanmıştır. Özellikle sensörler, mikrodenetleyiciler ve kablosuz iletişim teknolojilerinin yaygınlaşması, evlerin daha akıllı hale gelmesini kolaylaştırmıştır. Örneğin, Morimoto ve ark. (2013) çalışmasında, çeşitli sensör bilgilerini kullanan bir akıllı priz ağı geliştirerek enerji farkındalığını artırmayı hedeflemiştir. Benzer şekilde, Muniraj ve ark. (2017) tarafından geliştirilen coğrafi etiketli IoT cihazı gibi özel amaçlı uygulamalar, akıllı ev teknolojilerinin sadece konfor değil, çevresel izleme gibi daha geniş alanlara yayıldığını göstermektedir.

Günümüzde, akıllı evler yalnızca otomasyon sistemleriyle değil, aynı zamanda büyük veri ve makine öğrenmesiyle desteklenen enerji yönetimi sistemleriyle de gelişmektedir. Matallanas ve ark. (2012), fotovoltaik (PV) enerjiyi içeren konut sistemlerinde yapay sinir ağı temelli talep yönetim sistemlerinin kullanılabileceğini göstermiştir. Bu tür sistemler, enerji tüketim davranışlarını öğrenerek tüketimi optimize etmektedir. Machado ve ark. (2019) ise sensör verileriyle elde edilen çevresel verilerin modellenmesinde regresyon tekniklerinin ne kadar başarılı olabileceğini göstermiştir.

Akıllı ev sistemleri aynı zamanda güvenlik uygulamalarıyla da ön plana çıkmaktadır. Olarewaju ve ark. (2017), GSM teknolojisi ve gömülü mikrodenetleyiciler kullanarak geliştirdikleri otomatik güvenlik sisteminin, akıllı ev bileşenlerine nasıl entegre edilebileceğini örneklemiştir. Güvenlik ve enerji verimliliğinin bir arada yönetilebilmesi, akıllı evlerin çok işlevli yapısını ortaya koymaktadır. Kok ve ark. (2011) tarafından yapılan saha testlerinde, akıllı evlerin akıllı şebeke sistemleriyle entegrasyonu araştırılmış ve bu entegrasyonun, enerji tüketiminde zamanlama ve yük dengeleme açısından büyük avantaj sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca söz konusu araştırma ile sadece bireysel enerji tasarrufu değil, aynı zamanda enerji altyapısının daha sürdürülebilir hale gelmesine de katkı sağlanacağı açıkça görülmüştür. Diğer bir yandan PIR sensörleri gibi düşük maliyetli algılayıcıların enerji verimliliği ve otomatik sistem kontrolündeki katkıları da dikkate değerdir. Matthew ve ark. (2018), bu sensörlerin insan hareketine dayalı olarak enerji kullanımını optimize eden uygulamalarda ne kadar etkili olduğunu göstermiştir. Bu sayede, kullanıcı müdahalesi olmadan enerji israfının önüne geçilebilmektedir. Muñiz ve ark. (2018) tarafından geliştirilen akıllı sayaç sistemleri, özellikle elektrikli

araçların ortak kullanım alanlarında şarj edilmesini optimize etmekte kullanılmıştır. Bu sistemler, akıllı evlerin yalnızca bireysel değil, toplu yaşam alanlarında da enerji verimliliği sağlayabildiğini göstermektedir.

2.2. Akıllı Ev Sistemlerinin Bileşenleri

Akıllı ev sistemleri, kullanıcı konforunu artırırken aynı zamanda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen çok bileşenli yapılardır. Bu sistemler en genel hali ile algılayıcılar (sensörler), mikrodenetleyiciler, veri işleme platformları, iletişim protokolleri, yazılımlar ve uzaktan kontrol arayüzlerinden oluşmaktadır (Samuel ve ark., 2018). Burada özellikle sensör sistemleri çevresel koşulların izlenmesi açısından önem taşımaktadır. Hava durumu, nem, sıcaklık, ışık, hareket ve gaz gibi değişkenleri algılayabilen sensörler, akıllı sistemlerin gerçek zamanlı kararlar almasını sağlamaktadır. Örneğin, Taştan (2019), IoT tabanlı bir sulama ve izleme sisteminde, bu tür sensörlerin toprak nemi ve hava koşullarına göre sulama kararlarını nasıl etkilediğini göstermiştir. Benzer şekilde, Medina-De-La-Cruz ve Mujaico-Mariano (2018), çevresel faktörlerin izlenmesinde IoT'nin etkili bir şekilde kullanılabileceğini belirtmiştir. Mikrodenetleyiciler ve gömülü sistemler, bu sensörlerden gelen verileri işleyerek

gerekli otomasyon kararlarını veren merkezi yapıdadır. Bu noktada NodeMCU (ESP8266) gibi modüller sıkça tercih edilmektedir. Wan, Song ve Cao (2019), bu platformun sera koşullarının uzaktan izlenmesi ve kontrolü için nasıl kullanılabileceğini açıklarken; Sangsanit ve Techapanupreeda (2019) ise CoAP protokolü ile bu modüllerin düşük güç tüketimiyle nasıl optimize edilebileceğini ortaya koymuştur.

Veri toplama ve analiz aşamasında, bulut servisleri, yerel sunucular ve yapay zekâ temelli kontrol yazılımları aktif rol oynamaktadır. Özellikle gerçek zamanlı enerji verisi toplamak ve tahminsel kontrol sağlamak amacıyla, algoritmalarla desteklenen sistemlerin kullanımı giderek daha fazla yaygınlaşmaktadır. Örneğin, Elsheikh ve Abd Elaziz (2019), güneş enerjili sistemlerde Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yönteminin nasıl kullanıldığını detaylandırmıştır. Benzer bir kapsamda, Samuel ve ark. (2018), ev enerji yönetiminde Harmony Search gibi meta-sezgisel algoritmaların optimizasyon amaçlı kullanılabileceğini ifade etmiştir. İletişim protokolleri, bileşenler arası veri alışverişinin temelini oluşturmaktadır. Ahmed ve ark. (2018), akıllı şebeke sistemlerinde veri analizi ve iletişim süreçlerini açıklarken; Uzunkaya (2021), MQTT gibi hafif protokollerin sanayi üretim hatlarında

nasıl etkin biçimde çalıştırılabileceğini göstermiştir. Bu protokoller, evdeki cihazların birbirleriyle ve merkezi sistemle güvenli biçimde iletişim kurmasına olanak tanımaktadır.

Kullanıcı etkileşimi araçları ve görsel arayüzler de akıllı ev sistemlerinin önemli bir parçası haline gelmiş durumdadır. Özellikle güvenlik sistemleri, yüz tanıma teknolojileriyle entegre edilerek gelişmiş kontrol imkânı sunmaktadır. Rashid (2018), Raspberry Pi platformunu kullanarak gerçek zamanlı yüz tanıma ile çalışan bir ev güvenlik sistemi geliştirmiştir. Ayrıca Kodali ve Yadavilli (2018), Mongoose RTOS ile gerçekleştirdikleri güvenlik izleme sisteminde IoT'nin gömülü yazılımlarla nasıl verimli çalıştığını göstermiştir. Atık yönetimi ve çevresel farkındalık da artık akıllı ev sistemlerinin bir parçası haline gelmiştir. Paavan, Sai ve Naga (2019), geliştirilen akıllı çöp izleme sisteminin, IoT sayesinde çöp kutularının doluluk oranlarını takip ederek kaynak kullanımını optimize ettiğini belirtmişlerdir. Aynı şekilde, Hassan ve ark. (2018), bu yaklaşımı farklı atık yönetimi senaryolarında uygulamış ve olumlu sonuçlar elde etmiştir.

İnternete bağlı cihazların bütünlüğünü, birlikte çalışabilirliğini ve verimliliğini sağlayan sistem mimarileri,

günümüzde NodeMCU ve benzeri açık kaynaklı geliştirme kartları etrafında şekillenmektedir. Parihar (2019), bu modüllerin akıllı ev uygulamalarında hem ekonomik hem de işlevsel açıdan uygunluk sunduğunu vurgulamıştır. Sonuç olarak, akıllı ev sistemlerinin bileşenleri; sensörlerden yazılımlara, haberleşme protokollerinden veri işleme platformlarına kadar çok katmanlı bir yapıdan oluşmaktadır. Her bileşenin sistem genelinde optimize çalışması, ev otomasyonunun hem kullanıcı deneyimi hem de enerji yönetimi açısından verimli olmasını sağlamaktadır (Yılmaz, 2019).

2.3. Otomasyon Protokolleri (KNX, ZigBee, Z-Wave vb.)

Akıllı ev otomasyonu, farklı cihaz ve sistemlerin birbiriyle iletişim kurmasını ve entegre çalışmasını gerektirir. Bu iletişimin sağlanabilmesi için çeşitli otomasyon protokolleri geliştirilmiştir. KNX, ZigBee, Z-Wave, Bluetooth Low Energy (BLE) ve Wi-Fi tabanlı protokoller, akıllı ev sistemlerinde en sık karşılaşılan standartlardandır (Öztürk ve Naimi, 2017). Her protokol, belirli bir kullanım senaryosuna hitap etmektedir. Örneğin, ZigBee düşük enerji tüketimi ve güvenilir veri aktarımıyla öne çıkarken, Z-Wave daha az frekans kullanarak daha az parazite açık bir ortam sağlamaktadır. KNX ise daha çok bina

otomasyonunda, sabit altyapılarla çalışan bir protokol olarak kullanılır (Wadhvani ve ark., 2018). Android tabanlı sistemlerle uzaktan kontrol sağlamak için Wi-Fi protokolü, yaygınlığı nedeniyle tercih edilmektedir (Tharishny ve ark., 2016).

Kablosuz protokollerin entegrasyonu aynı zamanda donanım altyapısını da şekillendirir. Ayan ve Belgin (2017), akıllı prizler ve termostatların ZigBee ve Wi-Fi üzerinden haberleşerek enerji tüketimini yönettiğini vurgulamıştır. Bu sistemlerde, kullanıcı davranışlarını öğrenen algoritmalar sayesinde enerji kullanım profili çıkartılmakta ve protokoller bu veriyi gerçek zamanlı olarak iletmektedir (Yazıcı, 2017). Donanımsal seviyede ise Arduino ve Raspberry Pi gibi geliştirme kartları, bu protokollerin fiziksel dünyaya bağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Khair ve ark. (2017), ACS712 akım sensörü ve GSM modülü ile oluşturdukları sistemde veri iletiminde kablosuz protokollerin nasıl entegre edildiğini göstermiştir. Bu tür sistemlerde haberleşme altyapısı, enerji güvenliği ve sistem bütünlüğü için kritiktir (Mamiş ve ark., 2016). Endüstriyel otomasyon açısından değerlendirildiğinde, kablosuz sensör ağları (WSN) ve IoT tabanlı mimariler sayesinde üretim tesisleri dahi uzaktan izlenebilir hale gelmiştir. Li ve Kara (2017), üretim ortamlarının enerji izleme süreçlerinde

bu tür iletişim protokollerinin kullanımını detaylandırmıştır. Otomasyon protokolleri yalnızca teknik değil, aynı zamanda tarihsel evrim açısından da değerlendirilmelidir. Sultan ve Nabil (2016), akıllı evlerin tarihsel gelişim sürecinde bu protokollerin nasıl evrildiğini ve gelecekte nasıl şekillenebileceğini tartışmıştır. Breiman'ın (2017) sınıflandırma ve karar ağaçlarıyla ilgili çalışmaları ise bu sistemlerin karar alma süreçlerinde kullanılabilecek algoritmalara zemin hazırlamıştır.

Türkiye kapsamında değerlendirildiğinde, akıllı ev sistemlerinin özellikle enerji altyapısıyla entegre edilmesi gerekmektedir. Alagoz, Keles ve Kaygusuz (2015), akıllı şebeke yapılarında hiyerarşik iletişim topolojisinin enerji ağlarında nasıl bir rol oynayabileceğini açıklamıştır. Bu yapılar, ZigBee ve KNX gibi protokollerin merkezi kontrol birimleriyle daha verimli çalışmasını mümkün kılmaktadır. Bu sistemlerin enerji, güvenlik ve kullanıcı etkileşimi gibi çok boyutlu alanlarda çalışması, yazılım ve donanım dillerinin birlikte düşünülmesini zorunlu kılar. Python gibi programlama dilleri, bu protokollerle çalışan cihazların kontrolü için sıkça tercih edilmektedir (Özgül, 2017). Gerek sistem entegrasyonu gerekse kullanıcı deneyimi açısından yazılım-donanım uyumu vazgeçilmezdir. Son olarak, otomasyon protokollerinin gelişimi sadece mühendislik

değil, çevre politikaları ve küresel düzenlemelerle de ilişkilidir. Horowitz (2016), Paris Anlaşması çerçevesinde evsel enerji kullanımının düzenlenmesi gerektiğini vurgulayarak, bu protokollerin iklim politikalarıyla bağlantılı hale geleceğine işaret etmiştir. Kaya (2016) da bu kapsamda enerji politikalarının teknik standartlarla olan ilişkisini Türkiye özelinde değerlendirmiştir.

2.4. Enerji Yönetimi ve Kullanıcı Arayüzleri

Akıllı ev otomasyon sistemlerinde enerji yönetiminin temelini, doğru sensör kullanımı ve bu verilerin merkezi bir kontrol biriminde işlenmesi oluşturur. Arduino gibi platformlar, çevreden gelen sıcaklık, ışık, hareket gibi çok çeşitli verileri okuyarak enerji tüketimini optimize edecek şekilde cihazları kontrol edebilir. Bu sistemlerde kullanıcı arayüzleri, enerji kullanımına dair kullanıcıya gerçek zamanlı bilgi sunarak karar almasını kolaylaştırır (Chattoraf, 2015). E-posta tabanlı kontrol sistemleri gibi yenilikçi çözümler, özellikle düşük maliyetli ve ulaşılabilir teknolojilerle geliştirilen ev otomasyonlarında kullanıcı dostu enerji yönetimi örnekleri sunmaktadır. Raspberry Pi kullanılarak geliştirilen sistemlerde, kullanıcılar uzaktan erişimle cihazlarını kontrol edebilir, bu da evde olmasalar bile enerji kullanımını yönetmelerine olanak tanır (Jain,

Vaibhav ve Goyal, 2014). Yaygın olarak kullanılan programlanabilir termostatlar, teoride enerji tasarrufu sağlaması gereken araçlar olsa da, kullanıcıların bu sistemleri yanlış programlaması sebebiyle beklenen fayda elde edilememektedir. Bu noktada, kullanıcı arayüzlerinin açık ve sade olması büyük önem taşımaktadır. Arayüz tasarımının, kullanıcı davranışlarını yönlendirecek kadar sezgisel olması gerekir (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2015). Kullanıcıların enerji tüketim alışkanlıklarını analiz ederek sistemleri geliştirmek, enerji verimliliğinde çarpıcı iyileşmelere yol açabilir. Pritoni'nin çalışmasında, crowdsourcing ile toplanan veriler, termostatların yanlış kullanım biçimlerini ortaya koymuş ve bu da kullanıcı arayüzlerinin yeniden yapılandırılmasını gündeme getirmiştir (Pritoni, 2015).

Enerji tüketiminin daha da iyileştirilmesi için, kullanıcıların enerji farkındalığını artıran görsel arayüzler tasarlanmalıdır. Örneğin, bir bulaşık makinesinin gün içi kullanım zamanının kullanıcıya grafiksel olarak sunulması, yalnızca enerji tasarrufu değil, aynı zamanda şebeke üzerindeki yükün azaltılmasına da katkı sağlayabilir. Kullanıcı geri bildirimine dayalı bu sistemler, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan daha verimli faydalanmayı mümkün kılar (Finn, O'Connell ve

Fitzpatrick, 2013). Kablosuz bağlantı teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, ESP8266 gibi Wi-Fi modülleri kullanıcı arayüzlerinin mobil cihazlara entegrasyonunu kolaylaştırmıştır. NodeMCU platformu sayesinde, geliştiriciler açık kaynak kodlu sistemlerle kendi enerji yönetim arayüzlerini yaratabilmekte, bu da daha özgün ve kişiselleştirilmiş enerji kontrol sistemlerinin önünü açmaktadır (NodeMCU Team, 2014). Akıllı şebeke sistemleri ile bütünleşen ev otomasyonları, kullanıcılara yalnızca enerji tüketimlerini izleme değil, aynı zamanda üretim ve depolama birimleriyle aktif bir enerji yönetimi yapma şansı verir. Bu sistemlerde kullanıcı arayüzleri, evdeki üretim birimlerinin ve bataryaların anlık durumu gibi bilgileri sunarak şeffaf ve etkili bir kontrol ortamı sağlar (Abur, 2013).

Evde elektrikli araç şarj istasyonlarının ve küçük ölçekli enerji üretim ünitelerinin entegrasyonu, ev enerji yönetim sistemlerinin karmaşıklığını artırsa da, kullanıcı dostu yazılımlarla bu karmaşıklık sadeleştirilebilir. Erdinc'in çalışmasında gösterildiği gibi, kullanıcı arayüzleri farklı talep senaryolarına göre enerji maliyetlerini ve tasarruflarını karşılaştırmalı olarak sunarak bilinçli tercihler yapılmasını sağlar (Erdinc, 2014). DIY projeler, özellikle kullanıcıların kendi sistemlerini kurmalarını

sağladığı için, kullanıcı arayüzlerinin basit ama özelleştirilebilir olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu alanda, Arduino ve Raspberry Pi ile çalışan açık kaynak platformlar kullanıcıya kodlama esnekliği sağladığı gibi enerji yönetimi üzerine bireysel projeleri de teşvik etmektedir. Bu tür projelerin artması, enerji farkındalığının yaygınlaşmasına da katkı sağlar (Norris, 2015). Enerji yönetiminde kontrolörler önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle PI ve PID gibi kontrolörlerin grafiksel kullanıcı arayüzlerine entegre edilmesi, kullanıcının sistem dinamiklerine müdahale edebilmesine olanak tanımaktadır. Deniz ve arkadaşlarının çalışmaları, bu tür kontrol tekniklerinin enerji tüketimi üzerindeki etkinliğini kanıtlamış, aynı zamanda performans analizlerinin görsel arayüzlerle nasıl daha anlaşılır hâle getirilebileceğini göstermiştir (Deniz, Keles, Alagoz ve Tan, 2014). Enerji yönetimi yalnızca teknolojik altyapının gelişimiyle değil, aynı zamanda bu teknolojilerin kullanıcıya nasıl sunulduğuyla da doğrudan ilişkilidir. Doğru yapılandırılmış kullanıcı arayüzleriyle enerji kullanımına dair farkındalık artırılarak sürdürülebilirlik yönünde ciddi adımlar atılabilir.

3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE MEVZUATLAR

Bu bölümde, öncelikle "Enerji Verimliliği Kavramı" başlığı altında kavramın tanımına, akıllı şebekeler ve talep tarafı yönetimiyle ilişkisine dair verilere yer verilecektir. Ardından, "Türkiye’de ve Dünya’da Uygulanan Mevzuatlar" başlığı altında enerji verimliliğine yönelik ulusal ve uluslararası düzenlemeler ile teknik standartlar ele alınacaktır. "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" kısmında, bu yönetmeliğin akıllı teknolojilerle nasıl desteklendiği incelenecek; son olarak "LEED, BREEAM, Enerji Kimlik Belgesi (EKB)" başlığı altında ise bu sertifikasyon sistemlerinin amaçları ve değerlendirme yöntemleri açıklanacaktır.

3.1. Enerji Verimliliği Kavramı

Enerji verimliliği, bir sistemin, hizmetin ya da ürünün aynı performansı daha az enerji tüketerek sağlayabilmesi durumudur. Bu kavram, özellikle fosil yakıtlara bağımlı enerji sistemlerinin sürdürülemezliği göz önüne alındığında, hem ekonomik hem de çevresel fayda sağlamak adına büyük bir öneme sahiptir. Günümüzde akıllı ev sistemleri, nesnelerin interneti (IoT) ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, enerji verimliliğini artırmak için kullanılan öncü teknolojiler

arasında yer almaktadır (Ahmad ve ark., 2014). Akıllı binalar ve akıllı şebeke sistemleri, enerji tüketim alışkanlıklarını analiz ederek tüketimin yoğun olduğu saatlerde kullanımı sınırlayabilir ya da daha verimli hale getirebilir. Örneğin, Alsalemi ve arkadaşlarının (2020) çalışmasında belirtildiği üzere, "mikro-an" kavramına dayanan yapay zekâ algoritmaları sayesinde, konutlardaki enerji kullanım senaryoları optimize edilerek enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Akıllı şebeke yapısının bir diğer avantajı ise talep tarafı yönetimi (demand-side management) ile kullanıcı davranışlarını doğrudan etkileyerek enerji kullanımını dengelemesidir. Bu sistemlerin benzetim ortamlarında test edilmesi, politika yapıcılar için önemli içgörüler sunmaktadır (Gottwalt ve ark., 2011). Bu doğrultuda, değişken fiyat yapıları altında tüketici tepkileri modellenerek, zaman-of-use tarifelerinin verimliliği artırıcı etkileri incelenmiştir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu da enerji verimliliğiyle doğrudan ilişkilidir. Akdeniz, Kaypmaz ve Yağmur (n.d.) tarafından yapılan çalışmada, bu kaynakların elektrik şebekesinin enerji kalitesi üzerine olan etkileri değerlendirilmiş ve iyi bir entegrasyon stratejisinin verimliliği artırabileceği ortaya konmuştur. Benzer şekilde,

PV sistemlerinin Simulink ortamında modellenmesi ile yapılan analizler de sistem dinamiklerinin doğru kontrolüyle enerji kayıplarının önüne geçilebileceğini göstermiştir (Keles ve ark., 2013).

Enerji verimliliğinin sadece konutlarla sınırlı kalmaması gerektiği de vurgulanmalıdır. Tarım sektörü gibi alanlarda bile akıllı tarım uygulamaları sayesinde gereksiz enerji tüketiminin önüne geçilebilmektedir. Bu duruma örnek olarak Bounnady ve arkadaşlarının (2019) IoT tabanlı akıllı tarım izleme sistemleri gösterilebilir. Akıllı konut sistemleri kapsamında geliştirilen haberleşme ve kontrol sistemlerinin, daha büyük ölçekli sistemlerle uyumlu çalışması enerji yönetiminde yeni olanaklar yaratmaktadır. Kok ve arkadaşları (2009), bu kapsamda akıllı evlerin enerji piyasası ile etkileşim içinde olabileceğini ve enerji talep-talep dengesinin daha rafine kontrol edilmesini sağladığını vurgulamaktadır. Öte yandan, dağıtık enerji üretimi sistemlerinin entegrasyonunun enerji kalitesi üzerinde belirleyici bir rol oynadığı da literatürde yer almaktadır. Örneğin Eskander ve ark. (2005), değişken hızlı rüzgar türbinlerinin enerji kalitesi üzerinde yarattığı etkileri ele almış ve kontrol algoritmalarıyla enerji verimliliğinin arttırılabileceğini göstermiştir. Enerji verimliliği kavramı, sadece teknoloji değil, aynı zamanda kullanıcı

alışkanlıkları, altyapı tasarımları ve enerji yönetim politikaları gibi çok boyutlu etkenlerin uyumlu çalışmasıyla en üst seviyeye çıkarılabilmektedir (Ghaffarianhoseini ve ark., 2016).

3.2. Türkiye’de ve Dünya’da Uygulanan Mevzuatlar

Akıllı ev sistemleri ve enerji verimliliği teknolojileri, sadece teknolojik gelişmelere değil; aynı zamanda bu teknolojilerin uygulanabilirliğini ve güvenliğini sağlayan hukuki ve düzenleyici çerçevelere de bağlıdır. Hem Türkiye’de hem de dünya genelinde, bu sistemlerin yaygınlaştırılabilmesi için belirli standartlar, protokoller ve mevzuatlar geliştirilmiştir (Investopedia, 2024). Dünya genelinde Avrupa Birliği, Amerika Birleşik Devletleri, Güney Kore ve Japonya gibi ülkeler; akıllı cihazların iletişimi, veri güvenliği, enerji verimliliği ve çevre dostu tasarım gibi konularda oldukça detaylı yönetmelikler ortaya koymuştur. Örneğin Avrupa Komisyonu’nun enerji etiketleme direktifi, ev cihazlarının enerji sınıflarına göre etiketlenmesini zorunlu hale getirerek tüketicilerin bilinçli tercihler yapmasını sağlamaktadır. Benzer şekilde, Moerland ve ark. (2023), yapay zekâ temelli kontrol sistemlerinin enerji politikalarına etkisini vurgulayarak, düzenleyici çerçevenin önemine dikkat çekmektedir.

Türkiye’de ise Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve Enerji Kimlik Belgesi (EKB) gibi uygulamalar, enerji verimli yapılar için önemli adımlar sunmaktadır. Ayrıca Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, akıllı cihazların sanayide ve konutlarda yaygınlaştırılmasına yönelik destekleyici AR-GE programları yürütmektedir (Uzunkaya, 2021; Başçiftçi ve Gündüz, 2019). Akıllı ev sistemlerinde kullanılan mikrodenetleyiciler, veri protokolleri ve IoT cihazları için de çeşitli teknik standartlar bulunmaktadır. MQTT, Zigbee, LoRaWAN gibi iletişim protokolleri uluslararası düzeyde kabul görmüş olup, uyumlu ürünlerin piyasaya sürülmesi için sertifikasyon süreçleri uygulanmaktadır (Cherradi ve ark., 2019; PsiBorg, 2024). Türkiye’de bu protokollere ilişkin mevzuat henüz sınırlı olsa da, TSE (Türk Standartları Enstitüsü) bu konudaki standartları uluslararası uyum çerçevesinde güncellemektedir. Öte yandan, çevresel sürdürülebilirlik perspektifiyle bakıldığında, gelişmiş ülkelerde akıllı sistemlerin çevre dostu tasarımlarla desteklenmesi gerektiği yönünde ciddi bir toplumsal ve politik baskı vardır. Örneğin Avrupa’dan gelişmekte olan ülkelere yapılan e-atık transferleri bu kapsamda etik sorunlara yol açmaktadır. Khairunnisa (2021), Avrupa’nın e-atık ihracını "eko-emperyalizm" olarak değerlendirmiştir

ki bu da akıllı cihazların üretim ve bertaraf süreçlerinin mevzuata bağlanmasının önemini göstermektedir.

Yapay zekâ destekli enerji yönetimi sistemlerinin COVID-19 sürecinde nasıl kullanıldığına dair yapılan analizlerde, teknolojinin sosyal adaptasyonu kadar mevzuatla desteklenmesinin de önemli olduğu görülmüştür (İlkbahar ve Sungu, 2020). Özellikle kişisel verilerin korunması ve uzaktan erişimli sistemlerin güvenli yönetimi, düzenleyici kurumların müdahalesini gerektiren alanlardır. Gelişmekte olan ülkeler için akıllı sistem entegrasyonu aynı zamanda kırsal kalkınma açısından da değerlidir. Santivañez, Lazo ve Mantari (2023), And Dağları'ndaki kırsal konutlarda yenilenebilir enerji tabanlı sistemlerin kullanılmasını önererek, bu tür uygulamaların hem teknik hem de yasal altyapı gerektirdiğini vurgulamıştır. Türkiye'deki sistemlerde hala birçok cihaz ithal edilmekte olup, bu cihazların güvenliği ve standardizasyonu için dışa bağımlı teknik belgeler kullanılmaktadır. Bu, yerli mevzuat altyapısının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Keenan, 2024). Son olarak, enerji tasarruflu binaların dijital ikizleri oluşturularak yapay zekâ ile enerji kullanım senaryoları geliştirilebilmekte ve yönetmeliklere uygun simülasyonlar yapılabilmektedir (Wang ve ark., 2020; Arce ve Macabebe, 2019).

3.3. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

Akıllı ev teknolojilerinin geçmişten bugüne gelişimi, binalarda enerji performansına yönelik düzenlemelerin dijital teknolojilerle nasıl desteklendiğini anlamak açısından önemlidir. Alam ve arkadaşlarının yaptığı derleme çalışması, enerji verimliliği odaklı yapıların yalnızca fiziksel değil aynı zamanda dijital altyapı ile desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Binalarda enerji performansı yönetmeliği gibi düzenlemeler, bu akıllı sistemlerin uygulanabilirliğini ve sürdürülebilirliğini artırır (Alam, Reaz ve Ali, 2012). Enerji performansı düzenlemelerinde en önemli hedeflerden biri, talep yönlü yönetim sistemlerinin uygulanmasıdır. Gudi ve arkadaşları, ev içi cihazların zamanlamaya dayalı olarak yönetilmesiyle enerji tüketiminin düşürülebileceğini göstermiştir. Binalarda bu tür optimizasyonları destekleyen bir yönetmelik altyapısı, hem kullanıcı hem de sistem açısından verimli sonuçlar doğurur (Gudi, Wang ve Devabhaktuni, 2012).

Elektriksel koruma sistemleri, özellikle yüksek enerji geçişlerinde binaların zarar görmemesi açısından büyük önem taşımaktadır. Faraday kafesi gibi koruyucu sistemlerin simülasyonu, enerji performansını doğrudan

etkilemese de enerji sistemlerinin güvenli çalışması için altyapı desteği sağlar. Mamis ve arkadaşlarının bu konuda geliştirdiği ATP simülasyonları, yeni nesil binalarda güvenliğin enerji verimliliğiyle paralel düşünülmesi gerektiğini vurgular (Mamis, Keles, Arkan ve Kaya, 2012). Yapay zekâ destekli enerji yönetim algoritmaları da yönetmelikler çerçevesinde değerlendirildiğinde, adaptif kontrol ve öğrenme tabanlı sistemlerle binaların enerji profillerinin optimize edilebileceği ortaya çıkmaktadır. OLA algoritması gibi örnekler, akıllı sensörler aracılığıyla enerji kullanım desenlerini öğrenip uyum sağlayarak, binanın toplam enerji performansını artırır (Qela ve Mouftah, 2012). Enerji performansı yönetmeliği yalnızca sistemin kalitesini değil, aynı zamanda yük yönetimini de içerir. Rastegar ve arkadaşlarının ortaya koyduğu gibi, yük tahsisi ve cihazların kontrollü çalıştırılması, toplam enerji tüketimini ciddi ölçüde azaltır. Bu tür yaklaşımlar, özellikle zaman-of-use tarifelerle entegre edildiğinde büyük fayda sağlar (Rastegar, Fotuhi-Firuzabad ve Aminifar, 2012).

Fiyat tabanlı talep yönlü yönetim, özellikle konut tipi yapılarda elektrik talebinin pik saatlerde azaltılması için önerilen bir diğer stratejidir. Torriti'nin İtalya'daki çalışması, zaman-of-use tarifelerin kullanıcı davranışlarını şekillendirdiğini ve enerji talebini dengelediğini

göstermektedir. Bu bulgular, yönetmeliklerin esnek fiyatlandırmayı desteklemesi gerektiğini düşündürmektedir (Torriti, 2012). Enerji performansı açısından buzdolabı gibi sürekli çalışan cihazların kontrol edilmesi, önemli bir tüketim düşüşü sağlayabilir. Zehir ve Bagriyanik'in araştırması, buzdolaplarının gecikmeli çalıştırılması yoluyla toplam tüketimde tasarruf elde edilebileceğini ve bunun kullanıcıya yansımalarının olumlu olduğunu göstermiştir. Bu tür uygulamalar da yönetmelikler içerisinde desteklenmelidir (Zehir ve Bagriyanik, 2012). Yönetmeliklerin etkin olabilmesi için sistem düzeyinde enerji akışlarını izleyebilecek altyapılar gerekir. Palensky ve Dietrich, akıllı yüklerin, talep tepkisi sistemlerinin ve enerji yönetimi yazılımlarının bütünleşik bir yapıda çalışmasının, enerji verimliliğini artırmada kritik bir rol oynadığını belirtmektedir. Bu da yönetmeliklerin sadece teknik verimliliği değil, sistem zekâsını da kapsamı gerektiğini ortaya koyar (Palensky ve Dietrich, 2011). Dağıtılmış enerji kaynaklarının kullanıldığı yapılarda enerji voltaj kontrol stratejilerinin, özellikle enerji tasarrufu ve şebeke dengeleme açısından önemi büyüktür. Singh ve ekibi, bu sistemlerin enerji voltaj seviyelerini optimize ederek, tasarruf sağladığını ve enerji performansını yükselttiğini belirtmiştir. Dolayısıyla,

yönetmelikler bu gibi yenilikçi uygulamalara olanak tanınmalıdır (Singh, Tuffner, Fuller ve Schneider, 2011).

3.4. LEED, BREEAM, Enerji Kimlik Belgesi (EKB)

Yeşil bina sertifikaları ve enerji verimliliği belgeleri, binaların sürdürülebilirlik kriterlerine göre değerlendirilmesini ve sınıflandırılmasını mümkün kılmaktadır. LEED ve BREEAM gibi uluslararası sistemlerin temel amacı, enerjiyi verimli kullanan, çevreye duyarlı yapılar inşa etmeyi teşvik etmektir. Benzer şekilde Türkiye’de uygulanan Enerji Kimlik Belgesi (EKB), yapıların enerji performansına göre sınıflandırılmasına olanak sağlar. Bu belgeler, yalnızca yapının fiziksel özelliklerini değil, entegre edilen teknolojilerin çevresel ve enerjiye olan etkilerini de kapsamaktadır (Rahimi ve Ipakchi, 2010). Akıllı şebeke teknolojilerinin gelişimi, enerji sertifikalandırma sistemlerinin de dinamik ve veri odaklı hâle gelmesini sağlamıştır. Türkiye’deki dağıtım şebekelerine yönelik çalışmalarda, akıllı sistemlerin bina enerji performansı ile doğrudan ilişkili olduğu vurgulanmaktadır. Bu kapsamda, şebeke altyapısının dijitalleşmesi, EKB gibi belgelerin gerçek zamanlı verilere dayalı güncellenmesini mümkün kılabilir (Tanrıöven, Yazarbaş ve Cengiz, 2011).

Dağıtılmış enerji kaynaklarının entegrasyonu, özellikle CVR (conservation voltage reduction) gibi uygulamaların bina ölçeğinde uygulanabilirliğini artırmaktadır. Bu strateji, voltaj seviyelerini optimize ederek enerji tüketimini azaltırken aynı zamanda bina sertifikalandırma süreçlerinde enerji verimliliği göstergelerine katkı sağlar (Singh, Tuffner, Fuller ve Schneider, 2011). LEED ve BREEAM gibi sistemlerin önemseydiği diğer bir kriter de yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonudur. Hibrit güneş-rüzgar sistemleri bu noktada hem enerji bağımsızlığı hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından ön plana çıkar. Dali ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği deneysel çalışmada, batarya destekli hibrit sistemlerin bina performansını hem şebekeye bağlı hem de bağımsız modda iyileştirdiği görülmektedir (Dali, Belhadj ve Roboam, 2010). Binalarda kullanılan enerji izleme ve koruma sistemlerinin mikro düzeyde çalışması da EKB kriterlerinde değerlendirilmektedir. Hall sensörlerinin enerji kontrol devrelerinde kullanımı, yapı içindeki enerji kaçaklarını engelleyerek daha verimli ve güvenli bir tüketim sağlar. Bu da hem enerji sınıfını yükseltir hem de güvenlik standartlarını karşılar (Li, Chen ve Liu, 2010). Enerji yönetiminde kullanılan ağ iletişim protokolleri ve otomatik sistemler, sertifikasyon süreçlerinde yapıların "akıllı

altyapı" gerekliliklerini karşılamaında kritik rol oynar. Tomforde ve arkadaşları tarafından önerilen kendi kendini düzenleyen ağ sistemleri, binaların dış koşullara adaptif biçimde tepki vermesini sağlar; bu durum BREEAM gibi sistemlerin "yenilikçilik" kategorisinde olumlu puanlar getirebilir (Tomforde, Hurling ve Hähner, 2010).

Binalarda hibrit enerji sistemlerinin doğru boyutlandırılması da enerji kimlik belgesine etki eden bir diğer unsurdur. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi kullanan sistemlerde optimum büyüklük, hem yatırım geri dönüşünü etkiler hem de toplam enerji performansını belirler. Zhou ve ekibi bu konuda yaptığı çalışmada, optimum sistem tasarımının bina enerji sınıflandırmasına nasıl katkı sağladığını detaylıca analiz etmiştir (Zhou ve ark., 2010). Akıllı binaların dijital kontrol altyapıları, IoT teknolojileriyle birlikte daha entegre bir hâl almıştır. Guillemine ve Gusmeroli'nin çalışması, IoT'nin yeşil bina politikaları üzerindeki etkisini açıklarken, veri paylaşımı ve sistemlerin birbiriyle konuşabilirliği sayesinde hem enerji izleme hem de kontrol sistemlerinin dinamik hâle geldiğini ortaya koymuştur. Bu durum, EKB gibi yerel belgelerde de dönüşüme yol açmıştır (Guillemine ve Gusmeroli, 2009).

Veri madenciliği ve yapay zekâ tabanlı analizler, LEED/BREEAM değerlendirmelerinde binaların enerji kullanım örüntülerini öngörmekte kullanılabilir. Steinberg ve Colla'nın CART algoritmasına ilişkin çalışması, enerji verisi üzerinden sınıflandırma ve karar destek sistemlerinin yapı tasarım sürecine nasıl entegre edilebileceğini göstermektedir. Bu da puanlama sistemlerinde veri destekli stratejilere olan ihtiyacı vurgular (Steinberg ve Colla, 2009). Enerji tüketimini azaltmak amacıyla geliştirilen düşük bekleme modlu elektrik prizi tasarımları da binaların enerji sınıfını iyileştirmede önemli bir yeniliktir. Tsai ve arkadaşları, bu tasarımların konutlarda %15'e kadar enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir. Bu tür mikro düzeyde çözümler, LEED'in "Enerji ve Atmosfer" kategorisinde puan getirebilir (Tsai ve ark., 2009). Java tabanlı akıllı ev kontrol platformları, özellikle kullanıcı arayüzü kolaylığı ve entegre enerji yönetimi açısından EKB sistemine teknolojik katkı sunmaktadır. Chen ve arkadaşlarının bu alandaki çalışması, enerji yönetimi uygulamalarının mobil sistemlerle nasıl desteklenebileceğini ve bu entegrasyonun binaların enerji performansına etkisini örneklemiştir (Chen ve ark., 2008).

3.5. Ulusal Yönetmelikler ve Teknik Yasal Dayanaklar

Akıllı ev sistemlerinin tasarımı ve uygulanması, yalnızca teknolojik yeniliklerin entegrasyonunu değil, aynı zamanda can ve mal güvenliğini esas alan ulusal mevzuata tam uyumu gerektirir. Türkiye’de elektrik tesisatlarının projelendirilmesi, enerji performansı ve yangın güvenliği konuları, ilgili bakanlıklarca yayımlanan yönetmeliklerle yasal zemine oturtulmuştur. Bu çalışmada sunulan tasarım ve uygulamalar, aşağıda özetlenen temel yönetmelik hükümlerine dayandırılmıştır.

3.5.1. Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği

Elektrik tesisatlarının kurulumu, işletilmesi ve güvenliği konusundaki temel çerçeve, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan *Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği* ile belirlenmiştir. Yönetmelik, elektrik enerjisinin üretilmesi ve dağıtılması dışında kalan, yapı içindeki tüm kuvvetli ve zayıf akım tesislerini kapsamaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 1984). Akıllı ev sistemlerinin altyapısını oluşturan kablolama ve koruma elemanlarının seçiminde şu hususlar dikkate alınmıştır:

- **Gerilim Düşümü Sınırları:** Tesisatın güvenli çalışması için yapı bağlantı kutusu ile tüketim

araçları arasındaki gerilim düşümü, aydınlatma ve priz devreleri için %1,5, motor devreleri için %3 değerini aşmamalıdır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 1984).

- **Kablo Kesitleri:** Mekanik dayanım ve güvenlik açısından aydınlatma linyelerinde en az 1,5 mm², priz linyelerinde ise en az 2,5 mm² kesitli bakır iletkenlerin kullanılması zorunludur (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 1984).
- **Aşırı Akım Koruma:** Hatlar, sigorta veya kesicilerle korunmalı; sigortalar, iletkenlerin tehlikeli biçimde ısınmasını önleyecek nitelikte seçilmelidir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 1984).

3.5.2. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik

Akıllı binalarda kullanılan otomasyon sistemlerinin, yangın algılama ve acil durum tahliye sistemleriyle entegre çalışması yasal bir zorunluluktur. *Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik*, elektrik tesisatının yangın riskini minimize edecek şekilde tasarlanmasını şart koşar (Bakanlar Kurulu, 2007).

- **Kablo Özellikleri:** Yangın algılama, kontrol ve uyarı ekipmanlarına giden kabloların ve yangın

sırasında çalışır durumda kalması gereken sistemlerin (acil durum aydınlatması vb.) besleme kablolarının, yangına karşı en az 60 dakika dayanabilecek özellikte olması gerekmektedir (Bakanlar Kurulu, 2007).

- **Acil Durum Aydınlatması:** Kaçış yollarında ve toplanma alanlarında, normal aydınlatmanın kesilmesi halinde devreye girecek ve en az 60 dakika süreyle çalışacak acil durum aydınlatma sistemi kurulması zorunludur (Bakanlar Kurulu, 2007).
- **Otomasyon Entegrasyonu:** Yapı yüksekliği 51.50 m'yi geçen binalarda veya toplam alanı 10.000 m²'den büyük olan yapılarda, duman kontrol ve basınçlandırma sistemlerinin yangın alarm sistemi ile entegre çalışması ve izlenmesi gerekmektedir (Bakanlar Kurulu, 2007).

3.5.3. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

Enerji verimliliği, akıllı ev sistemlerinin en önemli hedeflerinden biridir. *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*, binaların enerji kullanımının asgari performans kriterlerini belirler (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2008).

- **Merkezi Kontrol:** Toplam inşaat alanı 10.000 m² üzerinde olan ve merkezi ısıtma, soğutma, havalandırma sistemlerine sahip binalarda, enerji tüketimini izleyen ve yöneten bilgisayar kontrollü bir bina otomasyon sisteminin tesis edilmesi zorunludur (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2008).
- **Aydınlatma Otomasyonu:** Konut dışı binalarda, gün ışığından faydalanmak ve gereksiz tüketimi önlemek amacıyla zaman ayarlı, varlık sensörlü veya gün ışığına duyarlı otomatik kontrol sistemlerinin kullanılması gerekmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2008).
- **Yenilenebilir Enerji:** Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB) konsepti çerçevesinde, toplam yapı inşaat alanı 2000 m² ve üzeri olan binaların NSEB olarak inşa edilmesi ve enerji ihtiyacının belirli bir oranının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması hedeflenmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2008).

3.5.4. Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği

Akıllı ev cihazlarının ve kullanıcıların elektriksel güvenlik risklerine karşı korunması, etkin bir topraklama sistemi ile mümkündür. *Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği*,

farklı gerilim seviyelerinde topraklama tesislerinin kurulması ve işletilmesine dair hükümleri içerir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2001).

- **Dokunma Gerilimi:** Alçak gerilim tesislerinde, insan hayatı için tehlikeli olabilecek dokunma gerilimi sınırı 50 V olarak kabul edilmiştir. Topraklama direnci, bir hata durumunda oluşacak gerilimin bu sınırı aşmayacağı şekilde hesaplanmalıdır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2001).
- **Eşpotansiyel Kuşaklama:** Bina içindeki metal borular, çelik konstrüksiyon parçaları ve ana koruma iletkenleri, potansiyel farklarını ortadan kaldırmak amacıyla ana eşpotansiyel bara üzerinden birbirine bağlanmalıdır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2001).

4. KUVVETLİ AKIM TESİSATI TASARIMI

4.1. Kuvvetli Akım Tanımı ve Kullanım Alanları

Kuvvetli akım, elektrik tesisatlarında yüksek gerilim ve yüksek güç taşıyan sistemleri tanımlar. Genellikle 220V üzeri sistemler ve yüksek watt değerine sahip cihazlar

kuvvetli akım kapsamındadır. Endüstriyel tesislerden konutlara kadar geniş bir uygulama alanı vardır. Hibrit enerji santrallerinde, kuvvetli akım sistemleri şebeke bağlantısı ve yük beslemesi için kritik rol oynar. Demirtaş'ın doktora tezinde, güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklı sistemlerin şebekeye entegre edilmesinde kuvvetli akım altyapısının nasıl yönetildiği detaylı biçimde ele alınmıştır (Demirtaş, 2008). Kuvvetli akım devrelerinde kullanılan ekipmanların kontrolü için zaman zaman karar destek sistemleri gerekebilir. Bu kapsamda sınıflandırma algoritmaları, hangi ekipmanın ne zaman çalıştırılacağını planlamakta kullanılabilir. Gray ve Fan, TARGVe argoritmasıyla sınıflandırma analizinin endüstriyel uygulamalara nasıl uyarlanabileceğini göstermiştir. Kuvvetli akım yönetimi, özellikle çok sayıda yükün kontrol edildiği ortamlarda bu tür yöntemlerden faydalanabilir (Gray ve Fan, 2008).

Loh'un çalışması ise kuvvetli akım gibi yüksek güçlü sistemlerde karar verme süreçlerinin güvenilirliği açısından regresyon ve sınıflandırma ağaçlarının önemini vurgular. Endüstriyel enerji dağıtım sistemlerinde bu tür istatistiksel yöntemlerin kullanımı, yük dengelemesi ve sistem verimliliği açısından önemlidir (Loh, 2008). Akıllı evlerde kullanılan kablosuz priz sistemleri, aslında

kuvvetli akım devrelerinin uzaktan yönetimini sağlar. Song ve arkadaşlarının geliştirdiği sistemde, prizler üzerinden geçen yüksek akım kontrollü biçimde izlenebilmekte ve kullanıcı tarafından müdahale edilebilmektedir. Bu da konutlardaki enerji güvenliğini artırırken aynı zamanda gereksiz enerji kullanımını azaltır (Song ve ark., 2008). Benzer şekilde Lien ve ekibinin geliştirdiği uzaktan kontrol edilebilir priz sistemleri, kuvvetli akım cihazlarının ağ tabanlı yönetimini mümkün kılmaktadır. Bu tür sistemler, merkezi kontrol ve izleme sayesinde konut veya ticari alanlarda enerji kontrolünü daha güvenli ve verimli hale getirir (Lien, Bai ve Lin, 2007).

Kuvvetli akım sistemlerinin farklı uygulama alanlarından biri de haberleşme protokollerinin enerjiye dayalı kontrol sistemlerine entegrasyonudur. Rosa ve arkadaşları, protokol yapılandırma sistemlerinin yeniden düzenlenmesini tartışırken, özellikle dinamik yeniden yapılandırma yeteneğinin enerji sistemleriyle nasıl entegre edilebileceğini analiz etmektedir. Bu yaklaşım, kuvvetli akım sistemlerinde uzaktan yönetimin temellerini oluşturabilir (Rosa, Rodrigues ve Lopes, 2007). Rüzgâr türbinlerinde kullanılan daimi mıknatıslı jeneratörlerin kontrolü, yüksek gerilimli sistemlerin şebeke bağlantısında hayati önem taşır. Bu sistemler kuvvetli akım sınıfına girer

ve doğru kontrol teknikleriyle verimli enerji üretimi sağlanabilir. Chinchilla ve ekibi bu sistemlerin değişken hızlı rüzgar koşullarında nasıl kontrol edildiğini ortaya koymuştur (Chinchilla, Arnaltes ve Burgos, 2006). Kuvvetli akım tüketicilerinin davranışsal etkilerini de göz önüne almak gerekir. Darby'nin enerji tüketimi geri bildirimi üzerine olan çalışması, kullanıcıların kuvvetli akım cihazlarının kullanımını izlediklerinde daha bilinçli hale geldiklerini ve tüketimi azalttıklarını göstermektedir. Bu da kuvvetli akım sistemlerinin sadece teknik değil, kullanıcı arayüzleri üzerinden de etkili yönetilmesi gerektiğini ortaya koyar (Darby, 2006).

4.2. Yük Analizi ve Talep Tahmini

Yük analizi ve talep tahmini, özellikle yenilenebilir enerji entegrasyonunun arttığı enerji sistemlerinde, arz ve talebin dengelenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Erlich ve arkadaşlarının Almanya'daki rüzgar türbinleri entegrasyonuna yönelik çalışması, iletim sistemlerine bağlı yüklerin nasıl modellenmesi ve tahmin edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu kapsamda, talep tahmini yalnızca tüketici tarafında değil, üretim kaynaklarının entegrasyonunda da temel parametrelerdendir (Erlich, Winter ve Dittrich, 2006). Akıllı evlerde kullanılan

otomasyon sistemleri sayesinde, bireysel düzeyde talep tahmini yapılabilir. Ha ve arkadaşlarının geliştirdiği ev otomasyon sistemi, ev içi enerji yönetimini optimize ederken, yük profili çıkarma ve tüketim alışkanlıklarını analiz etme açısından da etkili bir yapı sunmaktadır. Bu gibi sistemler, merkezi enerji yönetim sistemlerine veri sağlayarak daha doğru tahmin modelleri oluşturulmasına katkı sağlar (Ha ve ark., 2006).

Dağıtık kaynak tahsisi, özellikle sensör ağları üzerinden yapılan veri toplamada önemli rol oynar. Lim ve arkadaşlarının çalışması, sensör tabanlı sistemlerde adaptif yük tahsisi üzerine kurulmuş olup, enerji tüketimi profillerinin dinamik olarak analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu tür adaptif sistemler, yalnızca yük analizi yapmakla kalmaz, aynı zamanda tahmin sonuçlarına göre kaynak yönlendirmesi de gerçekleştirebilir (Lim ve ark., 2006). Talep tahmininin bir diğer boyutu da ev ve bina otomasyon sistemlerinin yazılımsal altyapısıdır. Araujo ve Pereira'nın nesne yönelimli çerçevesi, otomasyon sistemlerinin daha esnek, ölçeklenebilir ve veri odaklı olmasını sağlamaktadır. Bu tür yazılım temelli yaklaşımlar, sistemlerin gelecekteki yük desenlerini öğrenmesini ve buna göre optimize olmasını kolaylaştırır (Araujo ve Pereira, 2005).

Endüstriyel yüklerin yönetiminde yaygın olarak kullanılan PLC sistemleri de yük analizinin merkezindedir. Özcan, otomasyon sistemlerinde PLC'lerin kullanımını aktarırken, özellikle belirli yüklerin zamanlanması ve enerji dengesi oluşturulmasında PLC'lerin rolünü vurgulamaktadır. Yük profillerinin çıkarılması, talep tahmini yapılırken büyük kolaylık sağlar (Özcan, 2004). Ağ protokolleri açısından, yüklerin dağılımı ve yönetimi üzerine yapılan çalışmalar da bu başlık altında değerlendirilebilir. Scholer ve Muller-Schloer, mobil sistemlerde yeniden yapılandırılabilir ağ protokol yapılarının yük paylaşımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu sistemler sayesinde, talep yoğunluğu olan anlarda ağ üzerinden iletilen veriler optimize edilerek enerji sistemlerine bilgi akışı sağlanabilir (Scholer ve Muller-Schloer, 2004).

Autonomic computing yaklaşımı, adaptif yük tahmini modellerine yeni bir perspektif getirmiştir. Whiteson ve Stone, ağ yönlendirme ve zamanlama süreçlerinde adaptif karar verme mekanizmalarının enerji tüketimi ve yük dengesi üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Bu tür sistemler, talep tahmininde kendini yenileyen ve öğrenen yapılar sunmaktadır (Whiteson ve Stone, 2004). Harper'ın "Akıllı Ev" kavramsallaştırması, yük analizini yalnızca teknik bir süreç değil, aynı zamanda sosyoteknik bir

etkileşim olarak ele alır. Kullanıcı davranışlarının, enerji tüketimine etkisi ve bu davranışların modellenmesi, daha hassas tahmin sistemlerinin önünü açmaktadır. Bu yaklaşım, talep tahmininin yalnızca makinelerle değil, insanlar ve makineler arasındaki etkileşimle şekillendiğini göstermektedir (Harper, 2003).

4.3. Aydınlatma, Priz ve Cihaz Besleme Sistemleri

Ev içi enerji yönetiminde, aydınlatma, priz ve cihaz besleme sistemleri tüketimin en yoğun olduğu alanlardan biridir. Bu nedenle otomasyon sistemleriyle entegre edilen bu sistemlerin yönetimi, enerji verimliliğini doğrudan etkiler. Ha ve arkadaşları, akıllı ev sistemlerinde cihazların ve aydınlatmanın otomatik kontrolünü sağlayarak kullanıcı alışkanlıklarına göre enerji tasarrufu yapıldığını göstermektedir. Bu sistemlerin, bireysel cihaz düzeyinde kontrol sunması, enerji yönetiminin detaylandırılmasını sağlar (Ha ve ark., 2006). Sensör ağlarıyla çalışan sistemlerde ise kaynak tahsisi ve besleme sürelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Lim ve ekibinin geliştirdiği adaptif kaynak tahsisi modeli, cihazların ve priz hatlarının dağıtılmış şekilde yönetilmesini mümkün kılmakta, böylece her bölgenin enerji ihtiyacı anlık olarak karşılanmaktadır. Bu, özellikle akıllı priz sistemlerinde yük

dengesinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir (Lim ve ark., 2006).

Yapı otomasyon sistemlerinin yazılım altyapısı, cihaz besleme sistemlerinin verimli yönetimi için olmazsa olmazdır. Araujo ve Pereira, nesne yönelimli bir çerçeveye ev otomasyon sistemlerinin modüler ve ölçeklenebilir olmasını sağlayarak, priz ve aydınlatma gibi birimlerin kolaylıkla kontrol edilmesini mümkün kılmışlardır. Bu yazılımlar, sistemin tüm cihazlara hızlı müdahale etmesine olanak tanır (Araujo ve Pereira, 2005). Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) sistemleri, priz hatları ve aydınlatma kontrolünde güvenli ve esnek çözümler sunar. Özcan'ın çalışması, bu sistemlerin ev ve bina otomasyonlarına nasıl adapte edilebileceğini, özellikle cihaz besleme noktalarının zamanlanması ve enerji verimliliği açısından nasıl işlevsel hâle geldiğini açıkça ortaya koymuştur (Özcan, 2004). Ağ protokollerinin dinamik ve yeniden yapılandırılabilir olması, cihaz besleme sistemlerinin uzaktan ve gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesini sağlar. Scholer ve Muller-Schloer'in sunduğu yapı, akıllı evlerde ağ üzerindeki cihazların veri iletimi ve enerji kontrolünü yöneterek yüksek

uyarlanabilirlik sunmaktadır. Bu da enerji dağıtımında gecikmeleri azaltır (Scholer ve Muller-Schloer, 2004).

Autonomic computing yaklaşımı, cihaz ve aydınlatma sistemlerinin kendi kendine öğrenen ve karar veren mekanizmalara sahip olmasını sağlar. Whiteson ve Stone, bu tür sistemlerde ağ yönlendirme ve zamanlama stratejilerinin, priz sistemlerine entegre edildiğinde enerji kullanımındaki düzensizlikleri ortadan kaldırabildiğini göstermiştir. Bu, talep esnekliğini artıran önemli bir katkıdır (Whiteson ve Stone, 2004). Aydınlatma sistemleri yalnızca teknik bir düzenleme değil, aynı zamanda evin kullanıcılarıyla etkileşime geçen bir yapıdır. Harper'ın "Inside the Smart Home" adlı çalışması, bu tür teknolojilerin gündelik yaşam pratiklerine nasıl entegre olduğunu, insanların aydınlatma ve enerjiye ilişkin davranışlarını nasıl etkilediğini tartışır. Pratik çözümlerle bu davranışların yönetilmesi, enerji tasarrufunu artırır (Harper, 2003). Enerji kontrol sistemlerinde öğrenme algoritmaları ve sınıflandırıcılar da önemli rol oynar. Wilson'un çalışmasında, doğruluğa dayalı sınıflandırıcı sistemler ile cihazların açma-kapama zamanlarının optimize edilebildiği gösterilmiştir. Bu, priz sistemlerinde hangi cihazın ne zaman enerji alacağına dair kararların otomatik verilmesini sağlar (Wilson, 1995). Türkiye'deki

enerji politikaları kapsamında, aydınlatma ve cihaz besleme sistemlerinin etkin kontrolü, ulusal enerji verimliliği hedeflerinin gerçekleşmesi açısından önemlidir. Elsland ve arkadaşlarının Türkiye üzerine yaptığı etki analizinde, konutlardaki enerji tasarrufu potansiyelinin en çok bu sistemlerden elde edilebileceği ortaya koyulmuştur. Aydınlatma sistemlerinin LED tabanlı dönüşümü, otomatik priz kontrol sistemleri gibi uygulamalar, stratejik planların merkezinde yer almaktadır (Elsland ve ark., 2014a; 2014b).

4.4. Elektrik Panoları ve Topraklama Sistemi

Akıllı binalarda enerji altyapısının güvenli, verimli ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesi için elektrik panoları ve topraklama sistemleri büyük önem taşır. Ghaffarianhoseini ve arkadaşlarının yaptığı geniş kapsamlı analiz, akıllı binaların güvenlik, esneklik ve enerji verimliliği açısından yeniden tanımlandığını ve bu dönüşümde elektrik altyapısının, özellikle panolar ve topraklama gibi temel güvenlik sistemlerinin, binanın zekâsını belirleyen unsurlar arasında yer aldığını ortaya koyar (Ghaffarianhoseini ve ark., 2016). Elektrik panoları, evsel veya ticari binalarda enerji dağıtımının merkez noktasıdır. Panoların içerisinde yer alan kesici, röle, kontaktör gibi

elemanlar, özellikle talep yönlü yönetim sistemleriyle entegre edildiğinde, enerji kullanımının denetlenmesini ve optimizasyonunu sağlar. Gottwalt ve arkadaşlarının ev bazlı talep simulasyonu çalışmasında, elektriksel kontrol mekanizmalarının kullanıcı davranışıyla etkileşim içinde nasıl çalıştığı gösterilmiştir (Gottwalt ve ark., 2011).

Fotovoltaik sistem entegrasyonlarında elektrik panosu, hem üretimi hem de tüketimi yönetmek için kritik bileşendir. Keles ve arkadaşlarının Simulink modellemesi, güneş enerjisi sistemlerinin panolar üzerinden nasıl kontrol edileceğine dair kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Ayrıca, bu sistemlerde uygun topraklama olmadan hem kullanıcı hem de cihazlar için ciddi riskler oluşabilir (Keles ve ark., 2013). Akıllı şebeke uygulamalarında kullanılan panolar, yalnızca enerji aktarımını değil, aynı zamanda veri iletimini de yönetmektedir. Kok ve arkadaşlarının "smart house-smart grid" entegrasyon çalışmaları, ev içindeki enerji panosunun artık sadece bir elektriksel düğüm değil, aynı zamanda bir iletişim merkezi hâline geldiğini göstermektedir. Bu da hem enerji kontrolünü hem de topraklama düzenlemelerini daha kritik kılar (Kok ve ark., 2009). Saha testleriyle yapılan bir diğer çalışma, akıllı panoların gerçek ortamlarda nasıl çalıştığını ve hangi güvenlik protokollerine ihtiyaç duyduğunu analiz

etmektedir. Bu tür panoların, topraklama sistemleriyle tam entegre biçimde çalışması gerekir çünkü özellikle ani gerilim değişimlerinde bu sistemler hayati koruma sağlar (Kok ve ark., 2011).

UAV sistemlerinden elde edilen verilerin bina altyapı sistemlerinde kullanılması, yeni nesil elektrik panosu tasarımlarına zemin hazırlamaktadır. Machado ve arkadaşları, çok değişkenli modellerin enerji yönetim sistemlerine nasıl uygulanabileceğini göstermiştir. Bu tür sistemlerde topraklama düzeni, sensör verilerinin doğruluğu ve panoların iletkenliği gibi unsurları doğrudan etkileyebilir (Machado ve ark., 2019). Topraklama sistemleri, özellikle büyük veri ve makine öğrenmesi tabanlı ev otomasyon sistemlerinde de güvenlik açısından kritik bir rol oynar. Machorro-Cano ve arkadaşlarının HEMS-IoT sistemi, veri yoğunluklu çalışmalarda elektriksel risklerin azaltılması için uygun topraklama altyapısının gerekliliğini vurgulamıştır. Bu sistemler, yalnızca enerji verimliliğini değil, elektriksel güvenliği de merkezine alır (Machorro-Cano ve ark., 2020).

4.5. Enerji Verimliliği Açısından Kuvvetli Akım Tasarımı

Kuvvetli akım sistemlerinin enerji verimliliği açısından tasarlanması, özellikle yoğun enerji tüketiminin olduğu

alanlarda büyük önem taşır. Bu sistemlerin doğru yapılandırılması, hem enerji israfını azaltır hem de sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlar. Elektrikli araçlar için geliştirilen akıllı enerji sayaçları, kuvvetli akım altyapısının yenilikçi örneklerinden biridir. Muñiz ve arkadaşlarının çalışmasında, ortak otoparklarda kullanılan şarj sistemlerinin enerji yönetimini optimize ettiği ve kullanıcılara adil faturalandırma sunduğu belirtilmektedir. Bu, aynı zamanda enerji verimliliğine doğrudan katkı sağlayan bir kuvvetli akım uygulamasıdır (Muñiz ve ark., 2018). Ev güvenlik sistemleri gibi sürekli besleme gerektiren kuvvetli akım altyapılarında, enerji tüketiminin düşük tutulması için tasarımda mikrodenetleyici tabanlı kontrol sistemlerinin tercih edilmesi önerilmektedir. Olarewaju ve arkadaşları, GSM teknolojisine dayalı otomatik bir güvenlik sisteminde enerji açısından verimli bir yapı oluşturulmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Bu gibi sistemler, düşük bekleme gücüne sahip bileşenlerle çalışarak enerji tasarrufu sağlar (Olarewaju ve ark., 2017).

Enerji verimliliğinde yalnızca tüketim değil, cihazların durumu ve kontrol protokolleri de önemlidir. Roberson ve arkadaşlarının raporunda, ofis ekipmanlarının mesai saatleri dışında bile enerji tüketmeye devam ettiği ve bu durumun büyük ölçüde kötü tasarlanmış kuvvetli akım

altyapısından kaynaklandığı belirtilmektedir. Bu sorun, cihazların otomatik kapanma veya akıllı kontrol sistemleri ile yönetilmesiyle çözülebilir (Roberson ve ark., 2004). Ev tipi cihazların otomatik tespiti ve güç tüketimlerinin izlenmesi, kuvvetli akım sistemlerinin enerji verimliliğine katkı sağlayacak biçimde şekillendirilmesini mümkün kılar. Serra ve ekibinin çalışması, cihazların güç imzaları üzerinden tespit edilmesiyle birlikte hangi cihazın ne kadar enerji tükettiğinin analiz edilebildiğini ve bu verilerle sistem tasarımının yeniden yapılabildiğini ortaya koyar (Serra ve ark., 2005).

Sonoff-T1 gibi cihazlarla yapılan uzaktan anahtarlama sistemleri, kuvvetli akım devrelerini yazılım tabanlı biçimde yönetmeye olanak tanır. Bu sistemler, prizleri uzaktan kontrol ederek boşa çalışan cihazların enerji tüketimini önler ve enerji tasarrufuna katkıda bulunur (Tasmota, 2024). Kuvvetli akım sistemlerinde veri kontrol altyapısının akıllı ve otonom olması, sistemin dinamik olarak kendini optimize etmesine olanak tanır. Tomforde ve arkadaşlarının sunduğu “organic network control” modeli, sistemin kendi durumuna göre enerji tüketimini ayarlayabildiği, kendini yapılandırabildiği bir mimariyi önerir. Bu yaklaşım, uzun vadede enerji kayıplarını minimize etmeyi hedefler (Tomforde ve ark., 2009).

Raspberry Pi gibi düşük maliyetli mini bilgisayarlar, kuvvetli akım sistemlerinde mikro düzeyde enerji kontrol noktaları oluşturmak için kullanılabilir. Raspberry Pi, özellikle enerji verimliliği projelerinde otomasyonun belkemiği olmuş, kullanıcıya sistem durumu hakkında görsel ve analitik bilgi sağlayarak karar alma süreçlerini kolaylaştırmıştır (Wikipedia, 2024).

Dağıtık defter teknolojileri (DLT) de kuvvetli akım tasarımlarının veri yönetimi kısmında enerji verimliliğine katkı sağlayabilir. Zhu ve arkadaşlarının çalışmasında, IoT sistemleri ile entegre çalışan blok zincir yapılarının, enerji akışlarını kayıt altına alarak sistemin daha şeffaf ve verimli hale gelmesine katkı sunduğu gösterilmiştir. Bu teknoloji, özellikle çoklu şarj istasyonlarının eş zamanlı çalıştığı kuvvetli akım projelerinde önem kazanır (Zhu ve ark., 2019). Bazı mühendislik uygulamalarında kullanılan açık kaynaklı yazılım kütüphaneleri de sistemlerin enerji verimli biçimde modellenmesine olanak sağlar. Örneğin PyRadiomics gibi araçlar, enerji dağılımı ve sistem davranışlarını veriye dayalı olarak analiz etmeyi kolaylaştırır. Böylece kuvvetli akım sistemleri, yalnızca kablolar ve sigortalardan ibaret olmaktan çıkar, akıllı yazılım destekli bir yapıya kavuşur (pyradiomics, 2019).

5. ZAYIF AKIM TESİSATI TASARIMI

Bu bölümde, ilk olarak "Kuvvetli Akım Tanımı ve Kullanım Alanları" başlığı altında kavramın tanımına ve endüstriden konutlara uzanan uygulamalarına dair bilgilere yer verilecektir. Ardından, "Yük Analizi ve Talep Tahmini" başlığı altında enerji sistemlerinde arz-talep dengesi için kullanılan modelleme yöntemleri ele alınacak; "Aydınlatma, Priz ve Cihaz Besleme Sistemleri" kısmında ise bu bileşenlerin otomasyonla nasıl yönetildiği incelenecektir. Takiben, "Elektrik Panoları ve Topraklama Sistemi" başlığında bu altyapının güvenlik ve kontrol üzerindeki rolü vurgulanacak ve son olarak, "Enerji Verimliliği Açısından Kuvvetli Akım Tasarımı" başlığı altında enerji tasarrufu sağlayan tasarım prensipleri açıklanacaktır.

5.1. Zayıf Akım Sistemleri

Zayıf akım sistemleri, yapıların güvenlik, iletişim ve otomasyon altyapısının temel bileşenleri arasında yer alır. CCTV sistemlerinden yangın alarmına, IP tabanlı iletişimden data altyapısına kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Bu sistemlerin enerji verimliliği, uzaktan erişim kabiliyeti ve entegrasyon düzeyi, günümüz teknolojileriyle yeniden şekillenmektedir. Özellikle MQTT gibi hafif

iletişim protokolleri, fabrikalardaki zayıf akım uygulamalarının IoT altyapısıyla entegre edilmesini kolaylaştırmıştır (Uzunkaya, 2021). COVID-19 sürecinde yapay zekâ tabanlı izleme sistemlerinin kullanımı, CCTV ve IP kamera sistemlerine veri analitiği entegrasyonunun önemini gözler önüne sermiştir. İlkbahar ve Sungu'nun çalışması, salgın sürecinde yapay zekânın hızlı karar alma süreçlerinde zayıf akım altyapısıyla nasıl entegre edildiğini göstermektedir. Bu entegrasyon, kamera sistemlerinin sadece kayıt değil, aynı zamanda olay analizinde kullanılmasını sağlamaktadır (İlkbahar ve Sungu, 2020).

Zayıf akım sistemlerinin enerji verimliliğini artırmaya yönelik olarak, ortamda insan varlığına göre çalışan termostatlar gibi teknolojiler de zayıf akım sistemlerine dahil edilebilmektedir. Wang ve arkadaşları, bu tür sistemlerin bina genelinde önemli ölçüde enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur. Bu yapı, yangın ve alarm sistemlerinin enerji optimizasyonuna yönelik tasarımını da etkilemektedir (Wang ve ark., 2020). Gerçek zamanlı enerji izleme sistemleri, özellikle zayıf akım sistemlerinin tüketim analizini yaparak kontrol noktalarının belirlenmesinde fayda sağlar. Arce ve Macabebe'nin çalışması, regresyon ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak evlerdeki zayıf akım sistemlerinin enerji tüketimini öngörebilmenin

mümkün olduğunu ortaya koymuştur (Arce ve Macabebe, 2019). IoT tabanlı mikrodenetleyiciler, zayıf akım altyapılarının uzaktan izlenmesini ve kontrolünü sağlar. Başçiftçi ve Gündüz'ün araştırması, bu sistemlerin sensör verilerini analiz ederek veri merkezli güvenlik ve iletişim çözümleri sunduğunu belirtmektedir. Özellikle IP tabanlı yangın alarm sistemleri bu yaklaşımla güçlenmektedir (Başçiftçi ve Gündüz, 2019). Zayıf akım sistemlerinde veri iletimi için kullanılan iletişim protokolleri, ağ yoğunluğu arttıkça daha da kritik hâle gelmektedir. Cherradi ve arkadaşları, IoT protokolleri aracılığıyla akıllı veri toplamanın, IP ve alarm sistemlerinde bant genişliği ve veri güvenliğini iyileştirdiğini göstermiştir (Cherradi ve ark., 2019).

Zayıf akım sistemlerinin enerji üretim kaynaklarıyla ilişkisi düşünüldüğünde, özellikle solar enerji tabanlı besleme sistemleri dikkat çeker. Elsheikh ve Elaziz, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) kullanarak güneş enerjili sistemlerin zayıf akım altyapısına entegre edilmesini analiz etmiştir. Bu yaklaşım, enerji kesintilerine karşı daha dayanıklı bir altyapı oluşturulmasına imkân tanır (Elsheikh ve Abd Elaziz, 2019). Kamuya açık alanlarda kullanılan çöp doluluk sensörleri gibi IoT tabanlı sistemler, alarm ve veri toplama sistemlerinin entegrasyonuna örnek teşkil

etmektedir. Paavan ve arkadaşlarının sunduğu çözümler, belediye hizmetlerine entegre edilecek zayıf akım sistemleri için örnek teşkil eder (Paavan ve ark., 2019). NodeMCU gibi düşük güçlü mikrodenetleyiciler, CCTV ve yangın alarm sistemlerinde enerji verimliliği sağlayan uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Parihar'ın çalışmasında, bu sistemlerin NodeMCU ile otomatikleştirilebildiği ve uzaktan izlenebilir hâle geldiği gösterilmiştir (Parihar, 2019).

CoAP protokolü ile NodeMCU'nun birlikte çalıştığı otomasyon sistemleri, IP tabanlı haberleşme ve düşük gecikmeli veri akışını mümkün kılar. Sangsanit ve Techapanupreeda'nın bu alandaki araştırması, zayıf akım sistemlerinin ağ optimizasyonu ile nasıl daha verimli hâle getirilebileceğini ortaya koymaktadır (Sangsanit ve Techapanupreeda, 2019). Sulama sistemleri gibi düşük akımlı otomasyon altyapılarında uzaktan izleme ve kontrol fonksiyonları, CCTV ve alarm sistemlerine entegre edilebilecek ortak mantıksal yapılar sunmaktadır. Taştan'ın çalışmasında görüldüğü gibi, IoT tabanlı izleme sistemleriyle zayıf akım altyapısı daha işlevsel hale getirilmektedir (Taştan, 2019). ESP8266 NodeMCU ile gerçekleştirilen sera izleme uygulamaları, yangın ve gaz alarmı gibi çevresel izleme sistemlerinin zayıf akım

devreleriyle çalışmasını örnekler. Wan ve arkadaşları, sensör verilerinin doğru işlenmesinin, sistemin güvenilirliğini artırdığını göstermektedir (Wan ve ark., 2019). Zayıf akım sistemlerinin güç kalitesi ve enerji kaynağı ile uyumu, sistemin bütünlüğünü doğrudan etkiler. Yılmaz'ın yüksek lisans tezinde, akıllı şebekelerle entegre çalışan zayıf akım sistemlerinde güç kalitesinin nasıl korunacağı ve yenilenebilir kaynaklarla entegrasyonun nasıl sağlanacağı ayrıntılı olarak ele alınmıştır (Yılmaz, 2019).

5.2. Otomasyon ve Akıllı Kontrol Sistemleri

Otomasyon sistemleri, modern yapılarda verimlilik, güvenlik ve sürdürülebilirliği sağlayan temel yapı taşlarından biridir. İnternet of Things (IoT) teknolojisinin gelişimiyle birlikte, bu sistemler artık çevresel algılayıcılardan veri toplayarak gerçek zamanlı kararlar alabilen yapılar hâline gelmiştir. Hassan ve arkadaşları tarafından geliştirilen IoT tabanlı atık izleme sistemi, çevresel veri toplayan sensörlerle donatılmış ve şehir altyapısında verimlilik sağlamıştır. Bu model, otomasyon sistemlerinin sadece konfor değil, çevresel sürdürülebilirlik açısından da işlevsel olabileceğini göstermektedir (Hassan ve ark., 2018). Güvenlik alanında geliştirilen akıllı kontrol

sistemleri de otomasyonun önemli bir dalını oluşturur. Kodali ve Yadavilli'nin gerçekleştirdiği çalışmada, Mongoose RTOS üzerinde kurulu gözetim sistemleri sayesinde güvenlik kameralarının uzaktan yönetimi ve veri iletimi sağlanmıştır. Bu tür gömülü sistemler, akıllı evlerde ve ofislerde yaygın biçimde kullanılmaktadır (Kodali ve Yadavilli, 2018).

Çevresel faktörlerin izlenmesi, akıllı kontrol sistemlerinde sıkça kullanılan bir uygulama alanıdır. Medina-De-La-Cruz ve Mujaico-Mariano, sıcaklık, nem ve ışık gibi verileri gerçek zamanlı toplayarak analiz eden bir sistem geliştirerek, yapı içi ortam kalitesinin sürekli olarak izlenmesini mümkün kılmıştır. Bu sistemler, özellikle akıllı binalarda enerji tasarrufu ve kullanıcı konforunu sağlamak için kullanılır (Medina-De-La-Cruz ve Mujaico-Mariano, 2018). Yüz tanıma teknolojileri de otomasyon sistemlerinin kontrol mekanizmalarına entegre edilmektedir. Raspberry Pi tabanlı olarak geliştirilen bir sistemde, gerçek zamanlı yüz tanıma üzerinden kapı açma, erişim kontrolü gibi işlevler başarıyla gerçekleştirilmiştir. Rashid'in tezinde, düşük maliyetli donanımlarla yüksek doğruluklu güvenlik sistemlerinin geliştirilebileceği vurgulanmaktadır (Rashid, 2018).

Enerji yönetiminde kullanılan otomasyon sistemleri, akıllı kontrol algoritmalarıyla daha etkili hale gelmektedir. Samuel ve arkadaşları, Harmony Search algoritması ile ev içi enerji kullanımını optimize eden bir model geliştirmiştir. Bu sistem, cihazların kullanım zamanını enerji fiyatına göre ayarlayarak ciddi tasarruf sağlamaktadır (Samuel ve ark., 2018). Arduino tabanlı otomasyon sistemleri, kullanıcı dostu yapısı sayesinde birçok alanda kullanılmaktadır. Wadhwani ve arkadaşları, Arduino ve IoT destekli bir ev güvenlik ve kontrol sisteminin geliştirilmesini sağlayarak, kullanıcıların mobil cihazlarla aydınlatma, sıcaklık ve güvenlik sistemlerini kontrol etmesine olanak tanımıştır (Wadhwani ve ark., 2018). Tüketici talebine göre şekillenen kontrol sistemlerinde ise, akıllı prizler ve termostatlara başlıdır. Ayan ve Belgin'in çalışmasında, talep tarafı yönetimi ile akıllı cihazların enerji yoğunluğu düşük zamanlara göre programlandığı bir enerji yönetim sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, hem konfor hem de enerji verimliliği sağlamaktadır (Ayan ve Belgin, 2017).

Sınıflandırma ve regresyon algoritmaları, otomasyon sistemlerinde karar verme süreçlerinde kullanılır. Breiman tarafından geliştirilen Classification and Regression Trees (CART) algoritması, sistemin geçmiş verileri analiz ederek gelecekteki kararları daha doğru vermesini sağlamaktadır.

Bu algoritma, özellikle öğrenen ev sistemlerinde tercih edilmektedir (Breiman, 2017). Enerji izleme, akıllı kontrol sistemlerinin temel uygulama alanlarından biridir. Current'in geliştirdiği Power Monitor sistemi, cihazların anlık enerji tüketimini izleyerek kullanıcıya bilgi sunmakta, bu da bireysel enerji verimliliği farkındalığını artırmaktadır (Current, 2017). Elektriksel önleme sistemleri de akıllı kontrol yapısına entegre edilebilmektedir. Khair ve arkadaşları, Arduino, GSM modem ve ACS712 akım sensörü kullanarak aşırı akım tespiti yapan bir sistem tasarlamış ve bu sayede yangın, kısa devre gibi risklerin önüne geçilmiştir. Bu sistem, yapıların elektriksel güvenliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Khair ve ark., 2017).

5.3. Entegrasyon Planları (BMS, SCADA, IoT)

Bina Yönetim Sistemleri (BMS), SCADA yapıları ve IoT tabanlı sistemler, enerji verimliliği, konfor ve güvenlik hedeflerine ulaşmak için entegre bir mimari sunar. Bu sistemler, tek merkezden izleme, kontrol ve analiz imkânı sunarak akıllı yapıların omurgasını oluşturur. Özellikle yıldırım gibi dışsal etkenlere karşı SCADA sistemlerinin korunması ve veri sürekliliğinin sağlanması kritik öneme sahiptir. Mamiş ve arkadaşlarının Faraday kafesi üzerine

yaptığı analiz, bu tür entegrasyon planlarında güvenlik altyapısının ne kadar hayati olduğunu gözler önüne sermektedir (Mamiş ve ark., 2016). Akıllı ev sistemleri, zamanla daha entegre, daha özerk ve öğrenebilen sistemlere evrilmiştir. Sultan ve Nabil'in sunduğu kapsamlı değerlendirme, IoT tabanlı ev otomasyonunun tarihsel gelişimini ve gelecekteki entegrasyon sorunlarını detaylandırır. Bu kapsamda, SCADA ve BMS sistemlerinin ev tipi sistemlerle nasıl örtüştüğü ve ortak veri havuzları oluşturduğu gösterilmektedir (Sultan ve Nabil, 2016).

Kablosuz ağlar üzerinden Android tabanlı kontrol sistemleri, özellikle IoT ile SCADA sistemlerinin mobil arayüzler üzerinden kontrolüne olanak tanımaktadır. Tharishny ve ekibinin sunduğu model, kullanıcıların mobil cihazlarıyla ışık, sıcaklık ve güvenlik gibi birçok sistemi entegre şekilde kontrol edebildiğini göstermektedir (Tharishny, Selvan ve Nair, 2016). Geleceğin enerji şebekelerinde hiyerarşik ağaç yapısının benimsenmesi, SCADA sistemlerinin daha hızlı ve güvenli veri iletimi yapmasını sağlar. Alagoz ve arkadaşlarının önerdiği bu mimari, akıllı şebekelerde veri yoğunluğunu dağıtarak merkezi sistemlere binen yükü hafifletir. Bu yapı sayesinde IoT cihazlarının sayısı artsa bile BMS ile olan entegrasyon sektöre uğramaz (Alagoz, Keles ve Kaygusuz, 2015).

Arduino ve çeşitli sensörler aracılığıyla geliştirilen otomasyon sistemleri, BMS ve IoT altyapılarının temel bileşenlerini oluşturur. Chatteraj'ın çalışmasında Arduino'nun ana kontrol birimi olarak kullanıldığı sistemde sıcaklık, hareket ve ışık sensörleri üzerinden alınan veriler işlenmiş, bu da entegre bir ev otomasyon sisteminin temelini atmıştır (Chatteraj, 2015). Bu teknolojilerin gelişmesiyle birlikte tanımlar ve terminoloji de karmaşıklaşmıştır. Hill'in derlediği sözlük benzeri açıklamalar, SCADA, BMS, IoT gibi kavramların net biçimde ayrılmasını sağlayarak, entegrasyon sürecinde kavramsal çerçeve oluşturur. Özellikle multidisipliner projelerde bu netlik büyük önem taşır (Hill, 2015). Programlanabilir termostatlar, BMS sistemlerinin bir parçası olarak otomatik iklim kontrolü sağlar. Ancak, bu sistemlerin kullanıcı tarafından yanlış programlanması enerji verimliliğini düşürebilir. Lawrence Berkeley National Laboratory tarafından yapılan analiz, bu cihazların etkili entegrasyonu için kullanıcı alışkanlıklarının göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamaktadır (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2015).

Kendi cihazını kendi yapan kullanıcılar için geliştirilen IoT kitleri, SCADA gibi endüstriyel sistemlerin evdeki karşılığı

niteliğindedir. Norris'in sunduğu projelerle, sıradan kullanıcılar bile Raspberry Pi veya Arduino ile SCADA benzeri sistemleri kendi evlerinde kurabilmektedir. Bu, bireysel düzeyde teknolojik entegrasyonun ne kadar erişilebilir olduğunu göstermektedir (Norris, 2015). Kullanıcı davranışları, entegre sistemlerin başarısını doğrudan etkileyen bir değişkendir. Pritoni'nin çalışması, crowdsourcing yöntemiyle programlanabilir termostatların yanlış kullanım örüntülerini ortaya koyarak, sistemlerin kullanıcı dostu ve geri bildirim odaklı olması gerektiğini belirtmektedir. Bu da SCADA ve BMS sistemlerinin kullanıcı etkileşimli versiyonlara evrilmesini teşvik eder (Pritoni, 2015).

5.4. Zayıf Akım Sistemlerinin Enerji Verimliliğine

Katkısı

Zayıf akım sistemleri, düşük güçle çalışan ama yüksek etkili yapılar olup, özellikle iletişim, izleme ve otomasyon süreçlerinde enerji verimliliğine önemli katkılar sunar. Bu sistemler, merkezi olmayan kaynaklardan alınan enerjiyle çalışan cihazların kontrolünde kritik rol oynar. Singh ve arkadaşları, dağıtık enerji kaynaklarının CVR (Conservation Voltage Reduction) üzerindeki etkisini değerlendirirken, zayıf akım destekli kontrol sistemlerinin

gerilim optimizasyonu yoluyla enerji tasarrufu sağlayabileceğini göstermiştir (Singh ve ark., 2011). Akıllı şebekelerin gelişimi, zayıf akım altyapılarının enerji sistemlerine daha entegre biçimde çalışmasını mümkün kılmıştır. Tanrıöven ve ekibinin sunduğu model, geleceğin elektrik dağıtımında veri odaklı yapılar ve sensör tabanlı yönetim sistemlerinin, düşük güçlü cihazlarla daha az enerjiyle daha fazla iş yapabileceğini ortaya koymaktadır (Tanrıöven, Yararbaş ve Cengiz, 2011).

Yenilenebilir enerji sistemleriyle çalışan hibrit yapılar, zayıf akım sistemlerinin enerji kaynağı olarak nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Dali ve arkadaşlarının güneş-rüzgar hibrit sistem modeli, düşük voltajlı akü gruplarının enerji verimliliğinde nasıl önemli rol oynayabileceğini vurgular. Bu yapılar, CCTV, sensör ve iletişim altyapılarını destekleyebilir (Dali ve ark., 2010). Zayıf akım devrelerinde kullanılan Hall etkili sensörler, akım ölçümünü düşük enerji tüketimiyle yaparak enerji izleme süreçlerine katkı sunar. Li ve arkadaşlarının ACS712 Hall sensörü uygulaması, bu tür sistemlerin zayıf akım altyapısında enerji kayıplarını azaltmakta nasıl kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Li, Chen ve Liu, 2010). Akıllı şebekelerde talep tarafı yönetimi (demand response), düşük güçlü haberleşme ve kontrol sistemleri ile

desteklendiğinde çok daha etkili hâle gelir. Rahimi ve Ipakchi'nin çalışması, tüketici tarafında alınan küçük kararların bile büyük enerji tasarruflarına yol açabileceğini ve bu sürecin zayıf akım teknolojileriyle yönetilebileceğini belirtmektedir (Rahimi ve Ipakchi, 2010).

Zayıf akım sistemlerinin bir diğer katkısı ise ağ temelli otomatik yapıların enerjiye adaptif hâle getirilmesidir. Tomforde ve arkadaşlarının sunduğu model, mobil ad-hoc ağlarda protokol parametrelerinin organik kontrolle yönetilmesini sağlayarak, düşük güçle yüksek kontrol başarısı elde edilebileceğini ortaya koymuştur (Tomforde, Hurling ve Hähner, 2010). Hibrit enerji sistemlerinin boyutlandırılması, zayıf akım sistemlerinin verimli çalışmasını destekleyen bir diğer unsurdur. Zhou ve arkadaşları, bağımsız çalışan güneş-rüzgar sistemlerinde optimum boyutlandırma ile enerji kullanım verimliliğinin artırılabilirliğini göstermiştir. Bu tür sistemler genellikle zayıf akımla çalışan sensörleri, ağ cihazlarını ve iletişim ünitelerini besler (Zhou ve ark., 2010). IoT ve zayıf akım sistemleri bir araya geldiğinde, enerji verimliliği daha da artar. Guillemin ve Gusmeroli'nin sunduğu IoT yol haritası, zayıf akım sistemlerinin akıllı veri toplama, analiz ve karar mekanizmalarına nasıl entegre olabileceğini ve bunun

enerji tüketimini minimize eden yapılar sunduğunu ortaya koymuştur (Guillemin ve Gusmeroli, 2009).

Veri madenciliği ve öğrenen algoritmalar, zayıf akım sistemlerinin kontrolünü daha verimli kılabilir. Steinberg ve Colla'nın CART (Classification and Regression Trees) modeli, enerji kullanım verilerine dayalı olarak zayıf akım sistemlerinin davranışsal olarak programlanabileceğini ve bu sayede otomatik tasarruf stratejileri geliştirilebileceğini göstermektedir (Steinberg ve Colla, 2009). Kendi kendini yapılandırabilen ağ protokolleri sayesinde zayıf akım sistemleri dinamik olarak değişen koşullara uyum sağlayabilir. Tomforde, Cakar ve Hähner'in önerdiği sistem, düşük enerjili haberleşme birimlerinin ağ performansını sürekli optimize etmesini sağlayarak, sistem genelinde verimli enerji dağılımı elde edilmesini sağlar (Tomforde, Cakar ve Hähner, 2009).

6. SİSTEM ENTEGRASYONU VE PROJELENDİRME UYGULAMASI

Bu bölümde, teorik bilgilerin pratiğe döküldüğü kapsamlı bir uygulama örneği sunulacaktır. İlk olarak, "Tipik Bir Konut Örneği Üzerinde Uygulama" ve "Kat Planları ve Elektrik Projeleri Hakkında" başlıkları altında, akıllı

sistemlerin mimari ve elektriksel altyapıya entegrasyonuna ilişkin verilere yer verilecektir. Ardından, "Otomasyon Senaryolarının Oluşturulması", "Enerji Tüketim Simülasyonu" ve "Maliyet Analizi ile Geri Dönüş Süresi" başlıkları altında, kullanıcı odaklı senaryoların nasıl kurgulandığı, bu senaryoların enerji verimliliğine etkisinin nasıl simüle edildiği ve projenin ekonomik fizibilitesine ilişkin analizler aktarılacaktır. Son olarak, "Projelendirme Uygulaması" başlığı altında ise seçilen cihaz listesi, kat planı üzerine cihaz yerleşimi, KNX topolojisi, detaylı kablolama şemaları ve mobil uygulama üzerinden kontrol gibi somut projelendirme detayları sunulularak bütüncül bir akıllı ev projesi örneklendirilecektir.

6.1. Tipik Bir Konut Örneği Üzerinde Uygulama

Tipik bir konutta enerji verimliliği, otomasyon ve yenilenebilir enerji entegrasyonunu içeren bir uygulama senaryosu, hem akademik hem de pratik düzeyde önemli çıktılar sağlar. Bu tür konutlarda enerji izleme, uzaktan kontrol, düşük güç tüketimi ve kullanıcı alışkanlıklarına göre sistem uyarlanabilirliği gibi unsurlar ön plandadır. Tsai ve arkadaşları tarafından geliştirilen düşük bekleme güç tüketimine sahip priz sistemi, konut içi cihazların kullanılmadıkları anlarda enerji harcamalarını minimize

ederek, toplam tüketimi ciddi oranda düşürmektedir (Tsai ve ark., 2009). Akıllı ev sistemlerinde yazılım altyapısı da büyük önem taşır. Chen ve arkadaşlarının sunduğu Java tabanlı mobil geliştirme platformu, tipik bir konutta kullanılan cihazların merkezi olarak yönetilmesini mümkün kılmakta ve kullanıcıya esnek kontrol imkânı sunmaktadır. Bu platform, enerji tüketimi ile kullanıcı davranışları arasındaki etkileşimi analiz edebilecek sistemler geliştirmek için temel teşkil eder (Chen ve ark., 2008).

Yenilenebilir enerji entegrasyonu da konut uygulamalarında giderek önem kazanmaktadır. Demirtaş'ın hibrit enerji santrali tasarımı, güneş ve rüzgar enerjisinin aynı anda kullanıldığı, şebeke ile paralel çalışan bir sistem önererek, konutların enerji ihtiyacını karşılamada dışa bağımlılığı azaltmayı hedeflemiştir. Bu sistem, tipik bir konutta çevreci enerji politikalarının nasıl uygulanabileceğini göstermektedir (Demirtaş, 2008). Enerji kullanımının davranışsal analizine dayalı olarak karar verme süreçlerinin modellenmesinde sınıflandırma algoritmaları önemli rol oynar. Gray ve Fan tarafından geliştirilen TARGVe arkgoritması, enerji kullanım verilerinin sınıflandırılarak belirli kullanım desenlerinin ortaya çıkarılmasını sağlar. Bu tür veri madenciliği

yaklaşımları, konut içi enerji yönetiminin kişiselleştirilmesini mümkün kılar (Gray ve Fan, 2008). Loh'un sunduğu CART (Classification and Regression Trees) yöntemi de ev bazlı enerji kararlarında etkin bir araçtır. Özellikle aydınlatma, priz kontrolü ve ısıtma sistemlerinin ne zaman devreye gireceği gibi kararlar bu yöntemle optimize edilebilir. Tipik bir konutta enerji verimliliğine ulaşmak için kullanıcıya özel senaryolar tanımlamak mümkündür (Loh, 2008).

Kablosuz güç aktarımı ve kontrol sistemleri, konut otomasyonunda kolaylık ve enerji verimliliğini aynı anda sağlar. Song ve arkadaşlarının kablosuz priz sistemiyle geliştirdikleri model, tipik bir ev ortamında kullanıcıların cihazları uzaktan yönetmesini ve sistemin bekleme modlarında enerji tasarrufu yapmasını sağlamıştır (Song ve ark., 2008). Benzer şekilde, Lien ve arkadaşlarının geliştirdiği uzaktan kontrol edilebilir priz sistemi, kullanıcıya mobil ya da bilgisayar tabanlı arayüzlerle tüm cihazları açma-kapama esnekliği sunmuştur. Bu sistem, sadece konfor değil, aynı zamanda kullanım dışı zamanlarda enerji kaybını önleme açısından da oldukça etkilidir (Lien, Bai ve Lin, 2007).

Konut içerisindeki zayıf akım sistemlerinin ağ altyapısı üzerinde yeniden yapılandırılabilir olması da büyük avantaj sağlar. Rosa ve arkadaşlarının Appia protokolü üzerinden geliştirdiği dinamik protokol bileşeni yapısı, konut içi ağların cihaz yoğunluğuna göre otomatik olarak yeniden yapılandırılabilmesine imkân tanımaktadır (Rosa, Rodrigues ve Lopes, 2007). Yenilenebilir enerji sistemlerinin konutlara entegrasyonunda jeneratör kontrolü de önemli bir konudur. Chinchilla ve ekibinin sabit mıknatıslı jeneratörlerle ilgili çalışması, değişken rüzgar hızlarına karşı enerji üretiminin kararlılıkla sağlanabileceğini göstermiştir. Bu sistemler konut tipi enerji üretiminde kullanılabilir ve şebeke yükünü azaltır (Chinchilla, Arnaltes ve Burgos, 2006). Darby'nin enerji geri bildirimine ilişkin çalışması, kullanıcıların enerji tüketimlerine dair anlık bilgi edindiklerinde daha bilinçli davranışlar geliştirdiğini ortaya koymuştur. Bu yaklaşım, konutlardaki enerji kullanım alışkanlıklarının doğrudan verimlilikle ilişkili olduğunu ve kullanıcı odaklı tasarımın önemini vurgular (Darby, 2006).

6.2. Kat Planları ve Elektrik Projeleri Hakkında

Akıllı ev teknolojilerinin mimari projelere entegre edilmesinde kat planları ve elektrik projeleri temel

belirleyicilerdendir. Özellikle IoT destekli uygulamalar, elektrik tesisatının daha esnek ve veri odaklı şekilde planlanmasını gerektirir. Li ve Kara'nın sunduğu yöntem, kablosuz sensör ağlarıyla çevresel verilerin kat planına göre dağılımının izlenmesini mümkün kılarak, konutlarda enerji yönetimi, güvenlik ve otomasyon gibi sistemlerin elektrik projesine entegre edilmesine olanak tanır (Li ve Kara, 2017). Elektrik projelerinin yazılım altyapısıyla desteklenmesi, özellikle büyük yapılarda sistem takibinin kolaylaştırılması açısından önemlidir. Python gibi güçlü dillerin bu alanda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Özgül'ün Python üzerine kapsamlı çalışması, bu dilin akıllı sistem entegrasyonunda ne kadar esnek ve etkili olduğunu göstermektedir. Kat planı üzerinde cihaz yerleşimi, enerji tüketimi analizi ve zaman tabanlı otomasyon gibi işlevler Python desteğiyle geliştirilebilir (Özgül, 2017).

Akıllı ev projelerinde kat planına göre hangi otomasyon yöntemlerinin daha avantajlı olduğu konusu da önem taşır. Öztürk ve Naimi'nin yaptığı karşılaştırmalı çalışma, farklı yöntemlerin avantaj-dezavantaj analizini sunmakta ve bu analiz doğrudan elektrik projelerinin tasarım aşamasına yön vermektedir. Örneğin, sensör temelli bir sistemin oda sayısına göre avantajlı olduğu, ancak büyük alanlarda maliyet arttırıcı etkisi olabileceği gösterilmiştir (Öztürk ve

Naimi, 2017). Kullanıcı odaklı sistemlerin kat planı üzerine uygulanabilirliğini ortaya koyan çalışmalardan biri de Yazıcı'nın yapay zekâ destekli otomasyon tezidir. Kullanıcının davranışlarını öğrenen sistemler, sadece elektriksel ekipman yerleşimini değil, aynı zamanda bu ekipmanların ne zaman, hangi senaryo ile çalışacağını da planlamaya dahil eder. Bu durum elektrik planlarının artık sadece enerji hatları değil, davranış senaryolarını da içermesi gerektiğini gösterir (Yazıcı, 2017).

Paris İklim Anlaşması gibi uluslararası çevre politikalarının, yeni bina projelerinde enerji verimliliğine daha fazla yer verilmesini şart koşması, kat planlarında güneş ışığı kullanımı, doğal havalandırma ve akıllı aydınlatma sistemlerinin zorunlu hâle gelmesini beraberinde getirmiştir. Horowitz'in uluslararası çevre hukuku perspektifiyle yaptığı inceleme, kat planlarının artık sadece estetik değil, sürdürülebilirlik temelinde şekillendiğini açıkça ortaya koymaktadır (Horowitz, 2016). Kaya'nın Türkiye'nin nükleer enerji politikalarına dair yaptığı analiz, özellikle yüksek enerji tüketimi olan yapılarda alternatif enerji kaynaklarının dikkate alınmasının gerekliliğini vurgular. Kat planlarında enerji ihtiyacının hesaplanması ve bu ihtiyacın hangi kaynaklardan sağlanacağını planlanması, elektrik

projesinin ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir (Kaya, 2016).

Kat planı üzerinde yıldırımdan korunma, topraklama ve gerilim ani değişimlerine karşı alınan önlemler de detaylandırılmalıdır. Mamiş ve arkadaşlarının Faraday kafesi analizine dayalı çalışması, yıldırım etkisine karşı fiziksel koruma önlemlerinin konutların elektrik projelerine nasıl entegre edilebileceğini göstermektedir (Mamiş ve ark., 2016). Sultan ve Nabil'in akıllı ev sistemlerinin tarihçesi üzerine yaptığı çalışmada belirtildiği üzere, kat planlarının yalnızca fiziksel bir şema değil, aynı zamanda teknolojik altyapının planlandığı dijital bir iskelet olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. BMS (Building Management Systems) gibi sistemlerin yerleşimi, elektrik hatlarının dijitalleşmesiyle birebir ilişkilidir (Sultan ve Nabil, 2016).

6.3. Otomasyon Senaryolarının Oluşturulması

Otomasyon senaryoları, kullanıcı ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilen enerji, güvenlik ve konfor çözümleri sunar. Özellikle uzaktan erişim teknolojileri sayesinde evde bulunmadan kontrol sağlama imkânı, ev yönetimini daha etkili kılmaktadır. Ahmad ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, uzaktan ev yönetiminin çalışma ortamında

bulunmadan işlerin yürütülmesini kolaylaştırdığı ve bu senaryoların güvenlikten enerji verimliliğine kadar birçok alanda fayda sağladığı vurgulanmıştır (Ahmad ve ark., 2014). Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ise otomasyon senaryolarını sadece kontrol odaklı değil, enerji kalitesine duyarlı hâle getirir. Akdeniz ve arkadaşları tarafından yapılan analizde, rüzgar ve güneş gibi kaynakların entegrasyonunun şebekede gerilim dalgalanmalarını azaltmada etkin rol oynadığı gösterilmiştir. Bu durum, otomasyon senaryolarına enerji izleme ve tepki mekanizmalarının dahil edilmesini gerektirmektedir (Akdeniz ve ark., n.d.). Mikro-momentlar ve yapay zekâ tabanlı öneri sistemleri ise kullanıcı alışkanlıklarına göre otomatik senaryoların oluşturulmasını sağlar. Alsalemi ve arkadaşları, ev içi enerji verimliliğini artırmak amacıyla kullanıcının geçmiş davranışlarını analiz ederek gerçek zamanlı öneriler sunan sistemleri önermektedir. Bu yaklaşım, senaryoların kullanıcı dostu ve öğrenen sistemler olarak gelişmesine öncülük etmektedir (Alsalemi ve ark., 2020).

Tarım sektöründe de IoT destekli otomasyon senaryoları öne çıkmaktadır. Bounnady ve ekibi, bitki yetiştirme ortamlarında nem, sıcaklık ve ışık gibi değişkenleri izleyen otomasyon senaryoları geliştirmiştir. Bu tür çözümler

konut içi otomasyona da uygulanarak, çevresel faktörlere göre cihazların yönetimini mümkün kılmaktadır (Bounnady ve ark., 2019). Enerji kalitesi yüksek rüzgar türbinlerinin otomasyon sistemlerine entegrasyonu da senaryo planlamasında dikkate alınmalıdır. Eskander ve meslektaşları, değişken hızlı rüzgar türbinlerinin güç kalitesine etkisini göstererek, otomasyon senaryolarının bu değişkenlere göre optimize edilmesi gerektiğini savunmuştur (Eskander ve ark., 2005). Yapay sinir ağları gibi makine öğrenmesi yöntemleriyle otomasyon senaryolarının oluşturulması, özellikle fotovoltaik (PV) sistemlerde aktif talep yönetimini mümkün kılar. Matallanas ve arkadaşları, PV sistemlerin şebeke üzerindeki etkisini azaltmak için yapay zeka destekli senaryolar önererek, kullanıcıların tüketim alışkanlıklarına göre esnek kontrol mekanizmalarının oluşturulabileceğini göstermiştir (Matallanas ve ark., 2012).

Pasif kızılötesi (PIR) sensörlerle yapılan enerji yönetimi ise harekve arkgılama üzerinden senaryo tetikleyicisi olarak önemli bir rol oynar. Matthew ve arkadaşlarının çalışması, enerji tüketimini azaltmaya yönelik basit ama etkili otomasyon senaryolarının bu tür sensörlerle gerçekleştirilebileceğini ortaya koymaktadır (Matthew ve ark., 2018). Farklı sensör verilerini birleştiren akıllı priz

ağları sayesinde senaryolar daha akıllı hâle getirilmektedir. Morimoto ve meslektaşları, ev içindeki farklı sensör verilerinin bir araya getirilerek enerji odaklı hizmetlerin otomatik olarak devreye sokulmasını sağlayan bir sistem tasarlamıştır. Bu yapı, tüketim alışkanlıklarına göre özelleştirilmiş senaryo örneklerinin temelini oluşturur (Morimoto ve ark., 2013). Nükleer, biyolojik ya da çevresel değişkenlerin izlenmesinde otomasyonun başka bir boyutunu gözler önüne seren çalışmalardan biri de Muniraj ve ekibinin geliştirdiği konum etiketli IoT cihazıdır. Bu cihazlarla oluşturulan otomasyon senaryoları, sadece enerji değil, aynı zamanda güvenlik ve çevre sağlığı açısından da akıllı kontrol sağlar (Muniraj ve ark., 2017).

6.4. Enerji Tüketim Simülasyonu ve Karşılaştırmalar

Akıllı evlerde enerji tüketimini simüle etmek ve farklı senaryolarla karşılaştırmalar yapmak, sürdürülebilir enerji yönetiminin temelini oluşturur. Zhu ve arkadaşları, yenilenebilir enerji kaynaklarının akıllı evler içindeki entegrasyonu için verimli bir yönetim modeli önermiştir. Çalışmalarında, enerji kaynaklarının tahmini üretim ve tüketim verileriyle optimize edilebileceği simülasyon ortamları geliştirilmiştir (Zhu ve ark., 2011). Güncel donanımlar da bu simülasyonların pratik uygulamalarında

önemli bir yer tutmaktadır. Raspberry Pi 5 gibi düşük güçlü bilgisayarlar sayesinde enerji simülasyonları düşük maliyetli ve verimli biçimde gerçekleştirilebilmektedir (IEEE Spectrum, 2024). Bu tür sistemler, ev tipi tüketim analizlerinin gerçek zamanlı işlenmesini sağlayarak kullanıcının anlık enerji farkındalığını artırır. Simülasyon sonuçlarının yorumlanmasında kullanıcı perspektifini de dikkate almak önemlidir. Investopedia'ya göre, akıllı ev sistemleri sayesinde enerji tüketiminin anlık izlenebilmesi ve otomatik karar destek mekanizmaları sayesinde enerji verimliliği sağlanabilmektedir (Investopedia, 2024). Bu yaklaşımlar, simülasyonların sadece teknik değil aynı zamanda kullanıcı deneyimi odaklı değerlendirilmesi gerektiğini gösterir.

Enerji tüketimini etkileyen bir diğer önemli faktör de sensör teknolojileridir. Özellikle pasif kızılötesi (PIR) sensörlerin farklı uygulamalara adaptasyonu ile birlikte, tüketim senaryolarının optimize edilmesi mümkün hâle gelmiştir. Keenan'ın çalışmasında, PIR teknolojisinin çok sayıda yeni kullanım alanına entegre edilerek simülasyonlarda verimliliğin arttığı ifade edilmiştir (Keenan, 2024). IoT platformları ve geçitleri, farklı cihazlardan gelen verilerin simülasyonlara entegre edilmesini kolaylaştırmaktadır. PsiBorg'un sunduğu

detaylı analizde, IoT geçitlerinin enerji tüketimi kontrolünde merkezi bir rol oynadığı ve farklı ağlardan gelen verilerin simülasyon modellerine entegre edilerek daha doğru tahminlerin yapılabildiği vurgulanmıştır (PsiBorg, 2024). Simülasyonları daha ileri bir seviyeye taşımak için model tabanlı pekiştirmeli öğrenme teknikleri kullanılmaktadır. Moerland ve arkadaşları tarafından yapılan kapsamlı literatür taraması, bu öğrenme yöntemlerinin özellikle enerji optimizasyonu ve karar destek sistemlerinin geliştirilmesinde güçlü araçlar sunduğunu göstermektedir (Moerland ve ark., 2023).

Yüksek irtifa konutları gibi özel coğrafyalarda yapılan karşılaştırmalı simülasyon çalışmaları, yenilenebilir enerji potansiyelini analiz etmeye olanak tanır. Santivañez ve ekibinin çalışmasında, And Dağları'ndaki evler için bir yenilenebilir enerji izleme modülü geliştirilmiş ve farklı enerji tüketim senaryoları simüle edilmiştir (Santivañez ve ark., 2023). Simülasyonların yalnızca teknik değil, sosyopolitik etkilerle de ilişkilendirilmesi mümkündür. Khairunnisa'nın çalışması, Avrupa'nın çevre politikaları çerçevesinde enerji tüketimi ve atık yönetimi gibi konuların yalnızca tüketim değil, dışa bağımlılık ve eşitsizlik kapsamında da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur (Khairunnisa, 2021). Uzunkaya'nın MQTT

protokolüne dayalı entegrasyon çalışması, üretim hatları gibi yüksek tüketimli ortamlarda simülasyon tabanlı enerji takibini mümkün kılmaktadır. Bu da akıllı ev sistemlerinden sanayiye kadar geniş bir alanda enerji modellemesi yapılmasına olanak tanımaktadır (Uzunkaya, 2021). Yapay zekâ teknolojilerinin COVID-19 dönemindeki kullanımı üzerine yapılan bir inceleme, kriz anlarında enerji simülasyonlarının önceden planlama ve tahmin konusunda ne kadar değerli olduğunu göstermiştir. İlkbahar ve Sungu'nun çalışması, AI destekli sistemlerin olağanüstü durum senaryolarında enerji kullanımı ve önceliklendirme gibi konularda kritik faydalar sağladığını belirtmiştir (İlkbahar ve Sungu, 2020).

6.5. Maliyet Analizi ve Geri Dönüş Süresi

Akıllı ev sistemlerinin maliyet analizi ve geri dönüş süresi hesaplamaları, projenin sürdürülebilirliğini ve uygulanabilirliğini belirlemede hayati öneme sahiptir. Bu analizler, yalnızca başlangıç yatırımını değil; aynı zamanda bakım maliyetleri, enerji tasarrufu potansiyeli ve sistem ömrünü de kapsamaktadır. Loh'un sınıflandırma ve regresyon ağaçları üzerine yaptığı çalışmada, bu tür çok değişkenli karar problemleri için uygun modelleme teknikleri önerilmiştir. Bu sayede, yatırım getirisi

hesaplamaları daha doğru tahminlenebilmektedir (Loh, 2008). Enerji verimliliği sağlayan akıllı priz sistemleri gibi donanımlar, yatırımın geri dönüş süresini doğrudan etkileyen faktörlerdendir. Song ve arkadaşlarının geliştirdiği kablosuz priz sistemi, enerji israfını minimuma indirerek uzun vadede ciddi tasarruflar sağlamaktadır (Song ve ark., 2008). Lien ve ekibinin sunduğu uzaktan kontrol edilebilen priz sistemi de kullanıcıların tüketim alışkanlıklarını denetlemesini mümkün kılarak, ekonomik faydayı doğrudan artıran çözümler arasında yer almaktadır (Lien ve ark., 2007).

Sistemlerin protokol düzeyinde uyarlanabilirliği de donanım verimliliğine katkıda bulunur. Rosa ve arkadaşlarının protokol yeniden yapılandırma sistemleri üzerine çalışması, uzun vadeli sistem sürdürülebilirliği ve yükseltme maliyetlerinin optimize edilmesi açısından önemlidir (Rosa ve ark., 2007). Chinchilla ve ekibi, değişken hızlı rüzgar türbinleriyle çalışan sistemlerin kontrolü üzerine yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunun enerji üretim maliyetlerini nasıl düşürebileceğini göstermiştir. Bu da geri dönüş süresini kısaltan önemli faktörlerden biridir (Chinchilla ve ark., 2006). Enerji tasarrufu konusunda kullanıcı davranışlarının etkisi göz ardı edilemez. Darby'nin enerji

tüketimi üzerindeki geri bildirimlerin etkinliğine dair araştırması, kullanıcıların farkındalığının artırılmasının tasarruf oranlarını ciddi oranda etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu da dolaylı olarak geri dönüş süresine olumlu katkı sunar (Darby, 2006).

Rüzgar türbinlerinin şebeke ile entegrasyonu üzerine çalışan Erlich ve arkadaşları, akıllı sistemlerin şebeke gereksinimlerine uygun tasarlanması sayesinde yatırım maliyetlerinin düşürülebileceğini ve daha kararlı bir ekonomik yapı oluşturulabileceğini vurgulamışlardır (Erlich ve ark., 2006). Ev otomasyon sistemlerinin doğrudan maliyet kontrolüne etkisi Ha ve ekibinin çalışmasında ele alınmıştır. Sistem, kullanıcıların tüketim davranışlarını analiz ederek gereksiz enerji kullanımını engellemekte ve bu sayede uzun vadede önemli tasarruflar sağlamaktadır (Ha ve ark., 2006). Sensör tabanlı kaynak dağıtım algoritmaları ise sistem kaynaklarının dengeli kullanımıyla bakım ve yenileme maliyetlerinin düşürülmesini sağlar. Lim ve arkadaşları bu kapsamda sensör ağlarının verimli yönetimi ile enerji ve kaynak kullanımının en aza indirilebileceğini göstermiştir (Lim ve ark., 2006). Araujo ve Pereira'nın nesne yönelimli çerçeve yaklaşımı, sistemlerin daha modüler ve ekonomik biçimde tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Bu sayede proje

ölçeklendirme sürecinde ilave yatırımlar minimize edilerek, geri dönüş süreleri daha kısa hale getirilebilmektedir (Araujo ve Pereira, 2005).

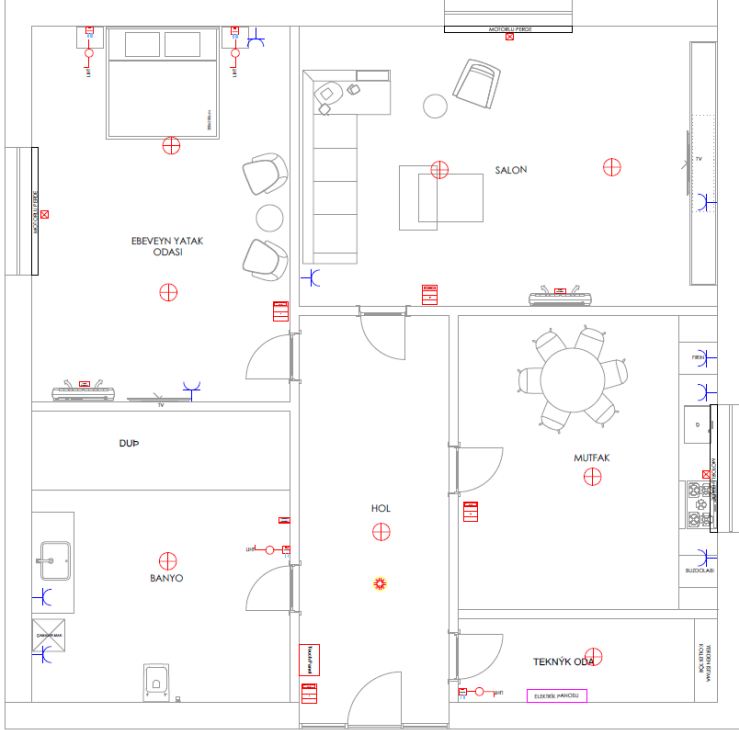
6.6. Projelendirme Uygulaması

Sembol Listesi	
	1 Gang Knx Anahtar
	2 Gang Knx Anahtar
	3 Gang Knx Anahtar
	3 Gang Termostatlı Knx Anahtar
	2'li Knx Interface
	Knx Touch Panel
	Su Baskın Sensörü
	Knx Hareket Sensörü
	Knx Klima Gateway
	Manyetik Kontak
	Led Aydınlatma Armatürü
	Elektrik Panosu
	Topraklı Priz
	Liht Anahtar

Şekil 6.1. Projelendirme sembol listesi

Çizelge 6.1. Kullanılan malzemelerin listesi

Malzeme Listesi	Miktar	Marka
3 Gang Termostatlı Knx Anahtar	4	MDT
2'li Knx Interface	4	GIRA
Knx Touch Panel	1	SCHNEIDER
Knx Hareket Sensörü	1	ABB
Knx Klima Gateway	2	ABB
Su Baskın Sensörü	1	INTERRA
Manyetik Kontak	3	PARADOX
24 Kanal Switch Aktuatör	1	INTERRRA
Knx Güç Kaynağı	1	INTERRRA

**Şekil 6.2. Cihaz Yerleşimi**

Cihaz Yerleşim Projesi: KNX ve Kuvvetli Akım Sistemlerinin Entegrasyonu

Bu projede, bir konutun farklı alanlarında kuvvetli akım ve KNX otomasyon cihazlarının yerleşimi, alanların kullanım amacına ve güvenlik, konfor ile enerji verimliliği kriterlerine uygun olarak planlanmıştır. Her bir alan için seçilen cihazlar, hem işlevsellik hem de maliyet-etkinlik açısından optimize edilmiştir.

Hol Alanı: Hol bölümünde, güvenlik önceliği doğrultusunda KNX tabanlı bir sensör konumlandırılmıştır. Bu sensör, kapıdan yetkisiz girişlerin algılanması halinde sistemi alarm moduna geçirerek kullanıcıya internet üzerinden anlık bildirim gönderebilmektedir. Kullanıcı, holde konumlandırılan KNX touch panel üzerinden çeşitli senaryolar oluşturabilmekte ve ilgili kontrol işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca, termostatl KNX anahtarı ile yerden ısıtma seviyeleri hassas biçimde ayarlanabilmekte ve aydınlatma armatürleri efektif biçimde yönetilebilmektedir.

Banyo: Banyo bölümünde maliyetin düşürülmesi amacıyla geleneksel liht anahtarlar tercih edilmiş, bu anahtarların KNX sistemiyle entegre çalışabilmesi için KNX interface

modülü eklenmiştir. Ayrıca, alanın güvenliği için su baskın sensörü KNX ağına entegre edilmiştir; böylece herhangi bir su taşkını durumunda kullanıcıya internet aracılığıyla anlık bilgilendirme yapılabilmektedir. Prizlerin kontrolü ise, pano içerisinde konumlandırılan kontaktörler aracılığıyla KNX sistemi üzerinden sağlanmaktadır.

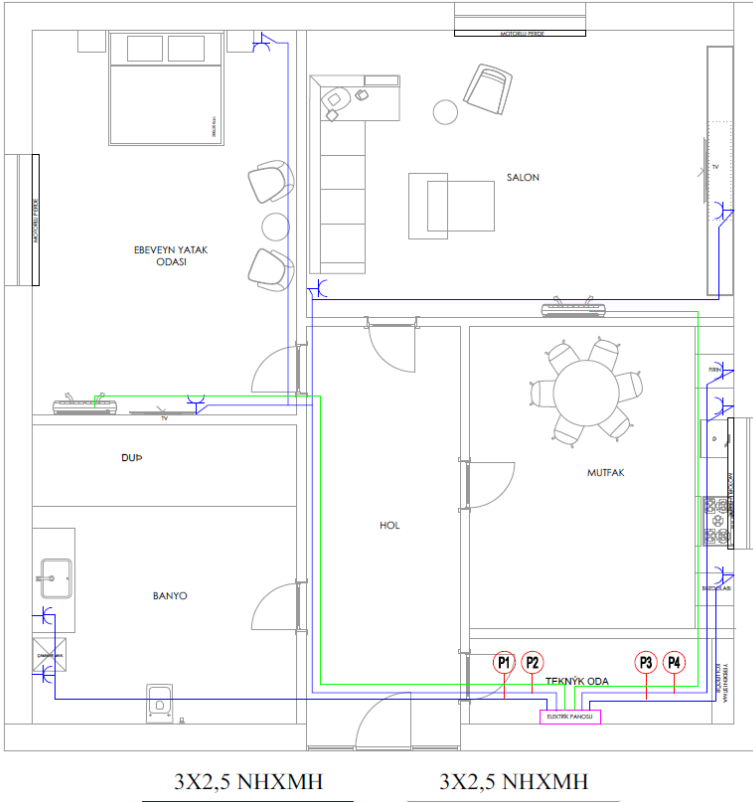
Ebeveyn Yatak Odası: Ebeveyn yatak odasında, termostatlı KNX anahtarı ile hem yerden ısıtma hem de aydınlatma armatürleri merkezi şekilde kontrol edilebilmektedir. Yatak başlarında ise ekonomik çözüm olarak liht anahtarlar kullanılmış ve bunlar KNX interface modülleriyle sisteme entegre edilmiştir. Odada güvenlik için pencere kenarlarına manyetik kontaklar yerleştirilmiş, izinsiz girişler anında kullanıcıya bildirilerek güvenlik seviyesi yükseltilmiştir. Konfor ve enerji tasarrufu amacıyla, motorlu perdelerin KNX sistemi üzerinden otomatik kontrolü sağlanmaktadır. Ayrıca, klima kontrolü için kullanılan Klima Gateway modülü sayesinde klimalar uzaktan ve otomatik olarak istenilen derecede çalıştırılabilmektedir. Prizlerin yönetimi yine pano içindeki kontaktörler sayesinde merkezi olarak yapılmaktadır.

Salon: Salon bölümünde de termostatlı KNX anahtarı ile yerden ısıtma ve armatürlerin kontrolü sağlanmaktadır.

Pencerelerde yer alan manyetik kontaklar, güvenlik ihlallerinde kullanıcıya uyarı göndermektedir. Enerji tasarrufu ve konfor için motorlu perdeler KNX ağı üzerinden yönetilebilmektedir. Klima kontrolü, Klima Gateway modülü ile entegre edilmiştir. Prizlerin kontrolü ise pano kontaktörleri üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Mutfak: Mutfakta da benzer şekilde termostatlı KNX anahtarı kullanılarak hem ısıtma hem de aydınlatma yönetilebilmektedir. Pencerelerdeki manyetik kontaklarla güvenlik önlemleri artırılmıştır. Motorlu perdeler KNX sistemi üzerinden otomatik olarak yönetilebilmekte, klima kontrolü ise ilgili gateway modülü ile sağlanmaktadır. Prizlerin kontrolü yine kontaktörler aracılığıyla merkezi olarak gerçekleştirilmektedir.

Teknik Oda: Teknik odada maliyetin minimize edilmesi amacıyla liht anahtarlar tercih edilmiştir ve KNX interface modülleriyle otomasyon ağına dahil edilmiştir. Elektrik panosu ise, güvenlik gerekçesiyle bu alanda konumlandırılmıştır ve tüm KNX altyapısının merkezi yönetimi burada sağlanmaktadır.

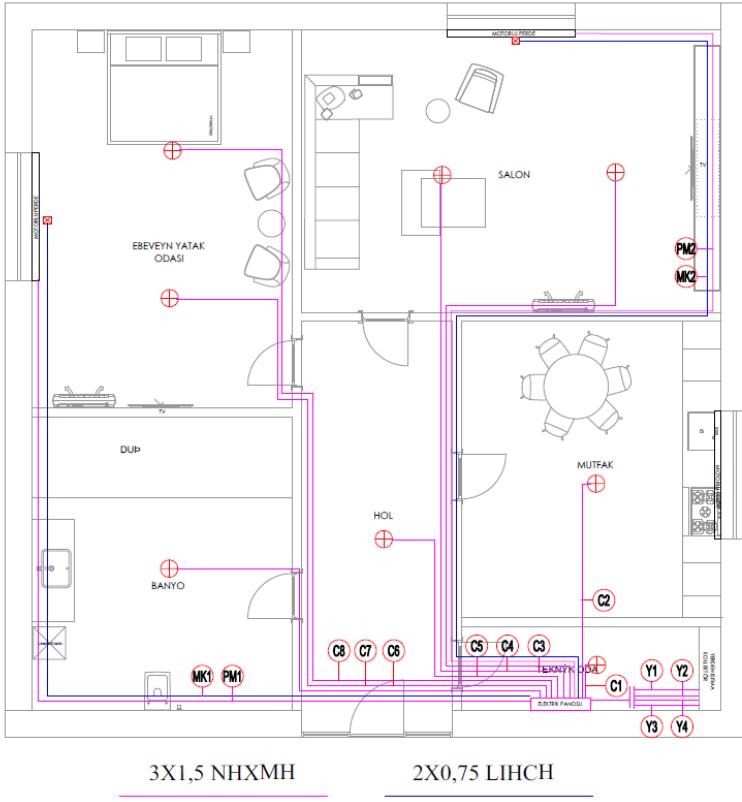


Şekil 6.3. Priz+Klima Kablolama

Priz ve Klima Kablolama Projesi: Yönetmeliklere Uygun Kuvvetli Akım Tesisatı Tasarımı

Bu projede, priz ve klima gibi kuvvetli akım gerektiren cihazların elektriksel beslemesinin güvenli ve sürdürülebilir biçimde sağlanması hedeflenmiştir. Kablolama tasarımında, ilgili ulusal ve uluslararası elektrik tesisatı yönetmeliklerine tam uyum gözetilmiştir. Kullanılan kablo tipi olarak, halojen içermeyen ve yangın

esnasında toksik gaz çıkışını minimuma indiren 3x2,5 mm² NHXMH halogen free kablolar tercih edilmiştir. Bu kablolar, çevre ve insan sağlığı açısından önemli avantajlar sunmakta olup, özellikle yangın güvenliği gereksinimlerinin ön planda olduğu bina otomasyon sistemlerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Söz konusu kablo seçimi, sistemin elektriksel yük taşıma kapasitesi, uzun ömürlü performansı ve olası arızalara karşı dayanıklılığı göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Priz ve klima hatlarının ayrı güzergahlardan ve uygun koruma önlemleri ile taşınması, hem enerji verimliliği hem de sistem güvenliği açısından kritik bir unsurdur. Ayrıca, halogen free kabloların kullanımı sayesinde, olası bir yangın durumunda koridor ve yaşam alanlarında zehirli gaz birikiminin önüne geçilerek tahliye ve müdahale süreçlerinde önemli bir avantaj sağlanmaktadır. Tüm kablolama uygulamaları, yürürlükteki elektrik tesisatı standartlarına (örneğin, TS EN 60364 ve ilgili yönetmelikler) uygun şekilde planlanmış ve tesis edilmiştir. Böylece, hem kullanıcı güvenliği hem de sistemin sürdürülebilirliği üst düzeyde korunmuştur.



**Şekil 6.4. Armatür – Manyetik Kontak- Perde Motoru
Kablolama**

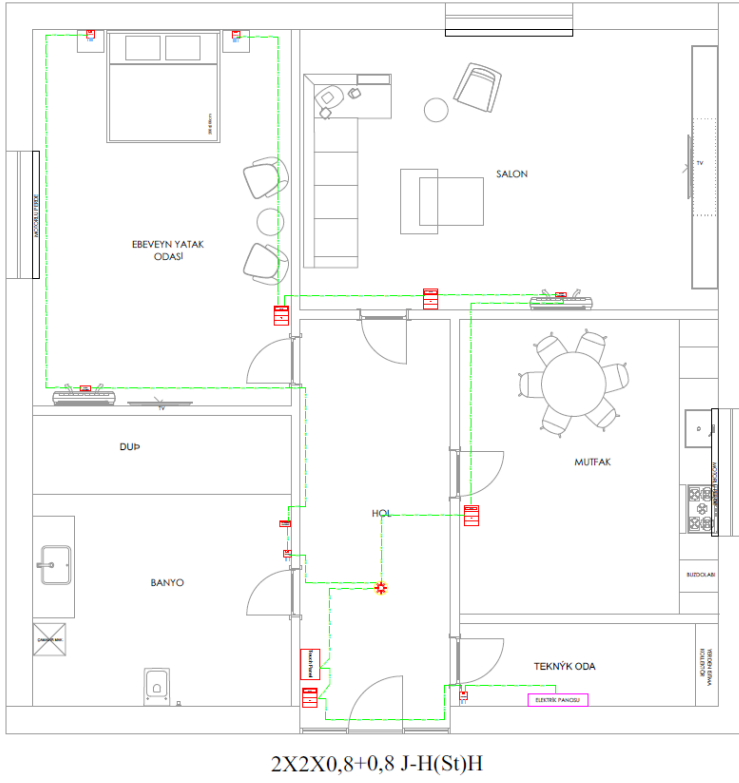
Armatür, Manyetik Kontak ve Perde Motoru Kablolama
Projesi: KNX Otomasyonuna Uygun Altyapı Tasarımı

Bu bölümde, KNX otomasyon sistemine entegre edilecek armatürler, pencere manyetik kontakları ve perde motorlarının elektriksel altyapısının oluşturulması hedeflenmiştir. Tüm kablolama çalışmaları, sistem güvenilirliği, enerji verimliliği ve yangın güvenliği esas

alınarak, ilgili yönetmeliklere ve uluslararası standartlara uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Armatürlerin elektriksel beslemesi için, $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ NHXMH halogen free kablolar tercih edilmiştir. Bu kablolar, özellikle halojen içermeyen yapıları sayesinde olası bir yangın anında toksik gaz çıkışını en aza indirir ve duman yoğunluğunu azaltarak bina içinde yaşayanların güvenliğini artırır. Ayrıca, $1,5 \text{ mm}^2$ kesitli kablolar, aydınlatma devrelerinde gerekli akım taşıma kapasitesini karşılamakta ve uzun süreli kullanımda sistem performansını korumaktadır.

Pencere güvenliğini sağlanması amacıyla kullanılan manyetik kontakların bağlantısı için $2 \times 0,75 \text{ mm}^2$ LIH (halojen free) sinyal kabloları kullanılmıştır. Bu kablo tipi, düşük akım taşıma gereksinimlerini karşılamasının yanı sıra, sinyal bütünlüğünü koruyarak KNX sistemine iletilen verilerin doğruluğunu garanti altına almaktadır. Ayrıca, halojen free özelliği sayesinde yangın sırasında minimum duman ve zehirli gaz oluşumuna katkı sağlamaktadır. Yerden ısıtma sistemine ait selenoid vanaların KNX altyapısına entegrasyonu için ise, yine $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ NHXMH halogen free kablolar kullanılmıştır. Bu kablo seçimi, vanaların güvenli ve sürekli olarak çalışmasını desteklerken, otomasyon sisteminin merkezi yönetimiyle de tam uyumluluk sağlamaktadır. Böylece, tüm bu

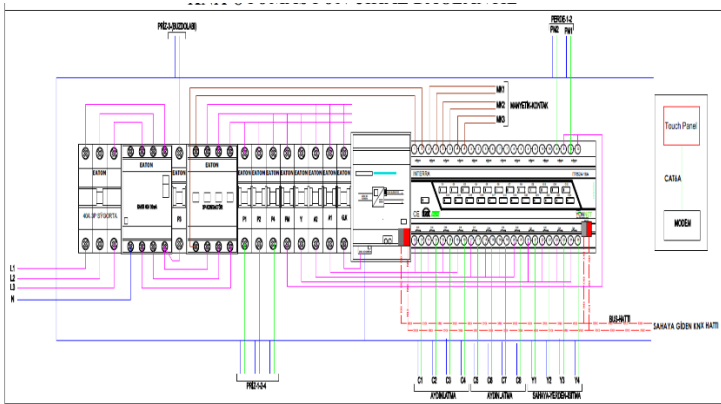
cihazların KNX sistemi üzerinden akıllı kontrolü ve izlenmesi mümkün olmaktadır. Kablo seçimlerinde yangın güvenliği, sistem entegrasyonu ve enerji verimliliği ön planda tutulmuş; projede hem kullanıcı hem de bina güvenliği için gerekli tüm teknik ve yönetmelik şartları titizlikle sağlanmıştır.



Şekil 6.5. KNX Cihaz Kablolama

KNX Cihaz Kablolaması: Bus Hattı Altyapısının Tasarımı ve Uygulaması

Bu bölümde, bina otomasyonunun temelini oluşturan KNX cihazlarının birbiriyle güvenilir biçimde iletişim kurabilmesi için gerekli olan bus hattı kablolamasının tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tüm kablolama çalışmaları, KNX standardının gereklilikleri ve ilgili uluslararası yönetmeliklere uygun şekilde planlanmıştır. KNX bus hattı için, 2x2x0,8+0,8 J-H(St)H tipi sinyal kablosu tercih edilmiştir. Bu kablo, hem yüksek iletim güvenilirliği hem de elektromanyetik parazitlere karşı dayanıklılığı ile öne çıkmaktadır. Ayrıca, halogen free yapıda olması sayesinde yangın güvenliği standartlarını karşılamakta ve bina içerisinde toksik gaz salınımını en aza indirmektedir.



Şekil 6.6. KNX Otomasyon Cihaz Bağlantıları

Pano İçerisinde Kullanılan Cihazlar ve Kablolama Düzeni

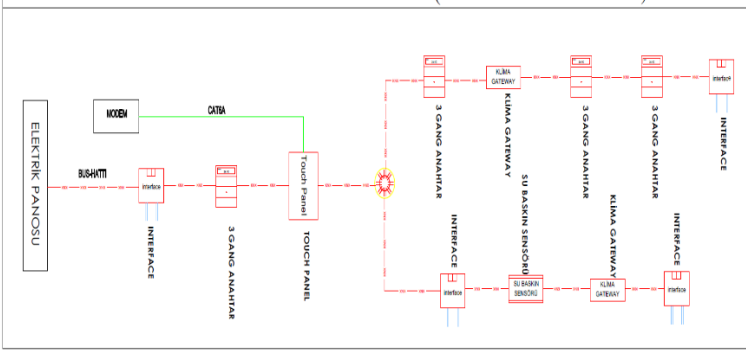
Elektrik panosu, hem kuvvetli akım hem de otomasyon altyapısının merkezi bir yönetim noktası olarak tasarlanmıştır. Panoya enerji girişi, 3x40A sigorta ve 4x40A kaçak akım rölesi üzerinden sağlanmaktadır. Bu elemanlar, sistemin genel güvenliğini ve olası kaçak akımlara karşı koruma işlevini üstlenerek, kullanıcıların ve tesisatın güvenliğini maksimum seviyeye çıkarmaktadır.

Cihaz linyeleri için ayrı ayrı 16A sigortalar kullanılmıştır. Bu sigortalar, priz, aydınlatma ve diğer yük gruplarının ayrı devreler üzerinden beslenmesini ve herhangi bir arıza durumunda lokal olarak koruma sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Böylece, bir hatta meydana gelebilecek sorunlar, diğer sistemlerin çalışmasını etkilemeden izole edilebilmektedir.

Üç fazlı kontaktörlerin kuru kontak uçları, KNX switch aktuatörlerine bağlantı yapılarak prizlerin otomasyon sistemi üzerinden kontrolü sağlanmıştır. Bu yapı sayesinde, prizlerin açma/kapama işlemleri hem manuel hem de otomatik senaryolar dahilinde gerçekleştirilebilmektedir. KNX bus hattı beslemeleri için özel olarak KNX güç kaynağı kullanılmış ve bu kaynak, doğrudan switch aktuatörlerine bağlanmıştır. Bu sayede,

otomasyon altyapısının güvenilir ve kesintisiz biçimde çalışması temin edilmiştir.

Manyetik kontakların kabloları, yine kuru kontak olarak switch aktuatörlere entegre edilmiştir. Bu entegrasyon, pencere ve kapılardaki güvenlik ihlallerinin otomasyon sistemi tarafından algılanıp gerekli aksiyonların alınmasını sağlamaktadır. Son olarak, kullanıcının uzaktan ve mobil cihazlarla kontrol sağlayabilmesi için, modem ile touch panel arasına CAT6A standardında data kablosu çekilmiştir. Bu yüksek hızlı veri iletim hattı, sistemin internet üzerinden güvenilir biçimde yönetilebilmesine ve senaryoların uzaktan kontrolüne olanak tanımaktadır.



Şekil 6.7. KNX Cihazların Topolojisi (Yıldız Bağlantı)

Akıllı Ev Senaryosu ve Mobil Cihaz Üzerinden Kontrol Olanakları

Akıllı ev otomasyon sistemlerinde, kullanıcıların konfor, güvenlik ve enerji verimliliğini en üst düzeyde yaşayabilmeleri amacıyla çeşitli senaryolar tanımlanmıştır. Bu senaryolar, KNX altyapısı sayesinde otomatik veya manuel olarak aktif hale getirilebilmekte, günlük yaşamın ihtiyaçlarına uygun çözümler sunmaktadır. Gündüz modunun "Uyanma" senaryosunda, saat 07:00 itibarıyla yatak odası, salon ve mutfak perdeleri otomatik olarak açılmakta, ışıklar kapatılmakta ve prizler aktif hale getirilmektedir. Ayrıca, bu saat diliminde evdeki güvenlik sistemleri (manyetik kontaklar ve sensörler) devre dışı bırakılarak kullanıcının serbest hareket etmesi sağlanmaktadır. Bu yaklaşım, sabah saatlerinde doğal ışığın ev içerisine maksimum seviyede alınmasını ve enerji tüketiminin optimize edilmesini amaçlamaktadır.

Gündüz modunun "Evden Çıkış" senaryosu ise, 08:30'da güvenlik sistemlerinin tekrar aktif hale getirilmesini, perdelerin kapanmasını ve buzdolabı hariç tüm prizlerin devre dışı bırakılmasını kapsamaktadır. Aynı zamanda, yerden ısıtma sistemi istenilen seviyeye düşürülmekte veya tamamen kapatılmaktadır. Bu sayede, evin boş olduğu

saatlerde enerji tasarrufu sağlanırken, güvenlik önlemleri de üst seviyeye çıkarılmaktadır. Akşam saatlerinde, "Eve Geliş" senaryosu kapsamında saat 17:30 itibarıyla güvenlik sistemleri devre dışı bırakılmakta, perdeler açılmakta ve prizler aktif hale getirilmektedir. Eve gelmeden önce, yerden ısıtma ve klimalar odaların sıcaklığını istenilen seviyeye getirecek şekilde otomatik olarak devreye girmektedir. Bu senaryo, kullanıcıların konforunu ve yaşam alanlarının hazır bulunuşluğunu sağlamaya yönelik tasarlanmıştır.

Ayrıca, belirlenen saatler dışında veya kullanıcı talebiyle odaların sıcaklıkları otomatik olarak ayarlanabilmekte, güvenlik sistemi aktif hale getirilebilmekte, perdeler kapatılabilmekte ve buzdolabı haricindeki prizler kapatılabilmektedir. Bu kapsamlı otomasyon, enerji yönetimi ve güvenlik arasında denge kurarak modern yaşam gereksinimlerini karşılamaktadır. Bütün bu senaryo ve fonksiyonlar, kullanıcıların mobil cihazları üzerinden kolayca yönetilebilmektedir. Mobil uygulama aracılığıyla; uyanma, evden çıkış, eve geliş ve yatma gibi senaryo modları tek dokunuşla etkinleştirilebilmektedir. Ayrıca, ışıkların açılıp kapatılması, belirli bir seviyeye kadar kısılması (dimleme), perdelerin açılıp kapatılması, güvenlik sisteminin devreye alınması ya da çıkarılması,

odaların sıcaklıklarının ayarlanması ve prizlerin yönetilmesi de kullanıcıya sunulan başlıca kontrol imkanları arasında yer almaktadır. Bu kapsamlı kontrol olanağı, akıllı ev konseptinin kişisel ihtiyaçlara göre uyarlanabilmesine ve yaşam kalitesinin artırılmasına olanak sağlamaktadır.

6.7. Proje Tasarım Hesaplamaları ve Doğrulama

Bu bölümde, Bölüm 6.6'da mimari ve elektriksel yerleşimi sunulan Akıllı Ev projesinin teknik yeterliliği; güç analizi, akım taşıma kapasitesi kontrolü, gerilim düşümü ve topraklama güvenliği hesapları ile doğrulanmıştır. Tüm hesaplamalarda, Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği ve Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği hükümleri esas alınmıştır.

6.7.1. Kurulu Güç ve Talep Gücü Analizi

Projede yer alan cihazların (Şekil 6.2) güç değerleri baz alınarak dairenin toplam enerji ihtiyacı hesaplanmıştır. Toplam kurulu güç 13.940 W (13,9 kW) olarak belirlenmiştir. Konutlarda eşzamanlılık katsayısı uygulanarak talep gücü şu şekilde hesaplanmıştır.

$$P_{talep} = (8000 \times 0,60) + ((P_{kurulu} - 8000) \times 0,40) \quad (1)$$

$$P_{talep} = 4800 + (5940 \times 0,40) \approx 7.176 \text{ W} \quad (2)$$

Hesaplanan 7,2 kW talep gücü için seçilen 3x40A ana sigorta ve kaçak akım rölesi tesisat güvenliği açısından uygundur.

6.7.2. Akım Taşıma Kapasitesi ve Sigorta Seçimi

Priz linyeleri için seçilen 3x2,5 mm² NHXMH kablunun akım taşıma kapasitesi (I_z), Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği Çizelge-9'a göre yaklaşık 21 A'dır. Projede seçilen sigorta değeri ($I_n = 16A$) kablo kapasitesinin altında olduğundan ($16A \leq 21A$), seçim güvenlidir ve yönetmeliğe uygundur.

6.7.3. Gerilim Düşümü Hesabı

Tesisatın en kritik hattı olan 2000 W gücündeki mutfak fırın linyesi ($L = 15m$, $S = 2,5mm^2$) için gerilim düşümü kontrolü yapılmıştır.

$$\%e = \frac{200 \cdot L \cdot P}{k \cdot S \cdot U^2} = \frac{200 \cdot 15 \cdot 2000}{56 \cdot 2,5 \cdot 220^2} \approx \%0,88$$

Hesaplanan %0,88 değeri, yönetmelikte izin verilen %1,5 sınırının altında olduğundan tesisat uygundur.

6.7.4. Priz Tesisatı Kontrolleri

Priz yerleşimi, Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği Madde 52 ve Madde 57 hükümlerine göre kontrol edilmiştir.

- **Sorti Sayısı:** Her bir linyeye bağlanan priz sayısı yönetmelik sınırı olan 7 adedin altındadır.
- **Müstakil Linyeler:** Çamaşır makinesi (2500 W), bulaşık makinesi (2500 W) ve fırın (2000 W) için yönetmelik gereği müstakil hatlar çekilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, bir konutta enerji verimliliğini artırmak amacıyla kuvvetli akım, zayıf akım, otomasyon sistemleri ve IoT tabanlı uygulamaların bütünleşik biçimde nasıl kullanılabileceği teorik ve uygulamaya dayalı yaklaşımlarla ele alınmıştır. Günümüzde enerji kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve tüketim davranışlarının optimizasyonu, sadece endüstriyel düzeyde değil, bireysel yaşam alanlarında da öncelikli hale gelmiştir. Bu kapsamda, akıllı ev teknolojilerinin sunduğu imkânlar, enerji yönetiminde devrim niteliğindedir. Kuvvetli akım sistemleri, evin temel enerji altyapısını oluşturmakta olup, elektrik panoları, priz devreleri, cihaz

beslemeleri ve aydınlatma tesisatları gibi kritik bileşenleri içermektedir. Bu sistemlerin enerji verimliliğine uygun şekilde tasarlanması; doğru kablolama, yük dağılımı, pano seçimi ve topraklama uygulamaları ile mümkündür. Literatürde sıklıkla vurgulandığı gibi, doğru mühendislik uygulamalarıyla desteklenen kuvvetli akım sistemleri, enerji kayıplarını minimuma indirmekte ve güvenli bir enerji altyapısı sunmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının (örneğin güneş panelleri) sisteme entegrasyonu, enerji bağımsızlığı sağlamada kuvvetli akım altyapısının yeniden kurgulanmasını zorunlu kılmaktadır. Diğer bir yandan literatürde yer alan birçok akıllı ev çalışması, büyük oranda IoT protokolleri ve yazılım algoritmalarına odaklanmakta, ancak bu sistemleri besleyen elektriksel altyapının yasal ve teknik sınırlarını (gerilim düşümü, kablo ısınması vb.) göz ardı etmektedir. Bu çalışma, yazılım ile donanım mimarisinin yanı sıra altyapı güvenliği ve mevzuat uyumluluğu konuları kapsamlı olarak değerlendirilmiştir.

Zayıf akım sistemleri ise; veri, güvenlik, yangın, alarm, CCTV, IP iletişim, aydınlatma kontrolü ve uzaktan yönetim gibi fonksiyonları kapsayarak enerji yönetiminin bilişsel boyutunu temsil etmektedir. Akıllı sensörler aracılığıyla çevresel verilerin sürekli izlenmesi, gereksiz enerji

tüketimini önleyici tedbirlerin otomatik olarak devreye alınmasını sağlamaktadır. Bu sistemler sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda konfor, güvenlik ve kontrol gibi kullanıcı ihtiyaçlarını da maksimum düzeyde karşılamaktadır. Bu yönüyle zayıf akım sistemleri, enerji verimliliğini bütüncül bir akıllı yaşam deneyimi ile entegre etmektedir. Otomasyon sistemleri, hem kuvvetli hem zayıf akım sistemleri üzerinde merkezi bir denetim ve koordinasyon sağlar. Otomasyonun temel avantajı, kullanıcı alışkanlıklarını analiz ederek dinamik enerji yönetimi stratejileri oluşturabilmesidir. Zaman bazlı senaryolar, ortam koşullarına göre kendini ayarlayan aydınlatma ve ısıtma sistemleri ile birlikte çalışan sensörler, günlük yaşamda enerji tasarrufunu sürdürülebilir hale getirmektedir. Ayrıca, kullanıcıya uzaktan erişim imkânı sunan mobil uygulamalar ve web tabanlı platformlar, enerji kullanımını sürekli denetim altında tutmakta, gereksiz tüketimleri anlık olarak tespit etmeye olanak sağlamaktadır.

Çalışmanın uygulama bölümünde gerçekleştirilen mühendislik hesaplamaları akıllı ev sistemlerinin sadece konfor odaklı değil, aynı zamanda can ve mal güvenliğini esas alan bir altyapıya sahip olması gerektiğini somut verilerle ortaya koymuştur. Yapılan çalışma ile tasarlanan

sistemin gerilim düşümü (%0,88), yönetmelik sınırı olan %1,5'un altında kalarak elektronik cihazların sağlıklı çalışmasını garanti altına almıştır. Seçilen halogen-free kablolar ve kesme kapasitesi uygun sigortalar ile yangın ve kısa devre risklerine karşı yasal zorunluluklar yerine getirilmiştir. Ayrıca hesaplanan topraklama direnci sınırı, kaçak akım rölesinin (RCD) insan hayatını koruma fonksiyonunu eksiksiz yerine getireceğini doğrulamıştır. Sonuç olarak bu kitap, akıllı evlerin yalnızca 'akıllı' değil, aynı zamanda 'güvenli ve yasalara uygun' olarak nasıl projelendirileceğini gösteren bir başvuru kaynağı niteliği taşımaktadır.

Nesnelerin İnterneti (IoT) altyapısının gelişimi, bu çalışmanın çerçevesini genişletmiş ve entegre kontrol sistemlerinin evlerde etkin şekilde uygulanmasını mümkün kılmıştır. Gelişmiş mikrodenetleyiciler, düşük güç tüketimli iletişim protokolleri (MQTT, CoAP gibi) ve bulut tabanlı veri işleme altyapıları ile akıllı cihazlar arasında güçlü bir ekosistem oluşmuştur. Bu sayede sadece enerji üretim ve tüketim süreçleri değil, aynı zamanda cihazların davranışsal verileri de analiz edilebilmekte ve enerji tasarrufu stratejileri sürekli güncellenebilmektedir. Günümüz teknolojileri, konut bazında enerji verimliliğini hem donanımsal hem de yazılımsal boyutlarıyla

yönetilebilir bir olgu haline getirmiştir. Gelişmiş akıllı kontrol sistemlerinin, kuvvetli ve zayıf akım altyapılarına entegre edilmesi sayesinde, enerji tüketiminin hem azaltılması hem de izlenebilirliği sağlanmıştır. Bu çalışmada uygulanan senaryolar ve yapılandırmalar, akıllı ev sistemlerinin gelecekteki enerji politikalarına katkı sunabilecek düzeyde olduğunu göstermektedir.

Akıllı ev uygulamalarında, sürdürülebilir enerji verimliliği ve sistem güvenliği hedeflerine ulaşılabilmesi için, kuvvetli ve zayıf akım sistemlerinin tasarım aşamasında bütünleşik bir yaklaşımla ele alınması, enerji kayıplarını minimize etmek ve entegrasyonu kolaylaştırmak adına hayati önem taşımaktadır. Bu süreçte, enerji sınıfı yüksek ve MQTT gibi hafif iletişim protokollerine sahip akıllı cihazların tercih edilmesi ağ yükünü hafifletirken, topraklama, kaçak akım rölesi ve yıldırımdan korunma gibi güvenlik standartlarının önceliklendirilmesi sistemin güvenilirliğini garanti altına alacaktır. Ayrıca, tasarlanan enerji yönetimi senaryolarının gerçek tüketim verileri ve simülasyon araçlarıyla test edilerek doğrulanması, sistemin sahadaki başarısını artıracaktır. Teknik altyapının yanı sıra, kullanıcıların enerji tüketimi konusunda bilinçlendirilmesi için geri bildirim sağlayan panellerin geliştirilmesi ve sistemin kullanıcı davranışlarıyla etkileşimli hale

getirilmesi gerekmektedir. Bu ekosistemin sürdürülebilirliği için ticari çözümler yerine, maliyet etkin ve güncellenebilir yerli ve açık kaynaklı (Raspberry Pi, NodeMCU vb.) otomasyon çözümleri teşvik edilmeli; üniversite ve sanayi iş birlikleriyle geliştirilecek ortak projeler sayesinde sektöre nitelikli ve yenilikçi çözümler kazandırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abur, A. (2013). Akıllı şebekeler: Yeni uygulamalar ve ileriye dönük düşünceler. *Akıllı Şebekeler Sempozyumu*, 1-6.
- Ahmad, B. I., Yakubu, F., Bagiwa, M. A., ve Abdullahi, U. I. (2014). Remote home management: An alternative for working at home while away. *arXiv preprint arXiv:1403.3274*.
- Ahmed, A., Arab, K., Bouida, Z., ve Ibnkahla, M. (2018). Data communication and analytics for smart grid systems. In *IEEE International Conference on Communications* (pp. 1-6).
- Akdeniz, E., Kaypmaz, A., ve Yağmur, E. A. (n.d.). Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin şebekenin enerji kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi.
- Alagoz, B. B., Keles, C., ve Kaygusuz, A. (2015). Towards energy webs: Hierarchical tree topology for future smart grids. *2015 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)*, 1-4.
- Alam, M. R., Reaz, M. B. I., ve Ali, M. A. M. (2012). A review of smart homes: Past, present, and future. *IEEE*

Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 42(6), 1190–1203.

Alsalemi, A., Himeur, Y., Bensaali, F., Amira, A., Sardianos, C., Varlamis, I., ve Dimitrakopoulos, G. (2020). Achieving domestic energy efficiency using micro-moments and intelligent recommendations. *IEEE Access*, 8, 15047–15055.

Araujo, J. J., ve Pereira, C. E. (2005). Object-oriented framework for the design of home/building automation systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(1), 169–174.

Arce, J. M. M., ve Macabebe, E. Q. B. (2019). Real-time power consumption monitoring and forecasting using regression techniques and machine learning algorithms. In *International Conference on Internet of Things and Intelligence System* (pp. 135–140).

Ayan, O., ve Belgin, T. (2017). Smart home energy management based on demand side management and a review of smart plugs with smart thermostats. In *10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*. IEEE.

- Bakanlar Kurulu. (2007). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. T.C. Resmi Gazete (Sayı: 26735).
- Başçiftçi, F., ve Gündüz, K. A. (2019). Nesnelerin interneti uyumlu mikrodenetleyiciler üzerine bir araştırma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 18, 66–76.
- Bounnady, K., Sibounnavong, P., Chanthavong, K., ve Saypadith, S. (2019). Smart crop cultivation monitoring system by using IoT. *2019 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST)*, 1–3.
- Breiman, L. (2017). *Classification and regression trees*. Routledge.
- Chattoraf, S. (2015). Smart home automation based on different sensors and Arduino as the master controller. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(4), 736–739.
- Chen, J., Feng, D., Hu, W., ve Chen, T. (2008). A Java development platform in mobile system for smart home. *2008 Second International Conference on Future Generation Communication and Networking*, 2, 226–229.

- Cherradi, G., Bouziri, A. E., ve Boulmakoul, A. (2019). Smart data collection based on IoT protocols. In *Proceedings of the Third International Conference on Advanced Informatics for Computing Research*.
- Chinchilla, M., Arnaltes, S., ve Burgos, J. C. (2006). Control of permanent-magnet generators applied to variable-speed wind-energy systems connected to the grid. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 21(1), 130–135.
- Current, M. (2017). *Power monitor*.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2008). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete (Sayı: 27075).
- Dali, M., Belhadj, J., ve Roboam, X. (2010). Hybrid solar-wind system with battery storage operating in grid-connected and standalone mode: Control and energy management-Experimental investigation. *Energy*, 35(6), 2587–2595.
- Darby, S. (2006). The effectiveness of feedback on energy consumption. *Environmental Change Institute, University of Oxford*.
<https://www.eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/smart-metering-report.pdf>

- Demirtaş, M. (2008). *Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santrali tasarımı ve uygulaması* (Doktora tezi, Ankara: Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Deniz, F. N., Keles, C., Alagoz, B. B., ve Tan, N. (2014). Design of fractional-order PI controllers for disturbance rejection using RDR measure. In *International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications (ICFDA'14)*, 1-6.
- Deniz, F., Keleş, C., Alagöz, B., ve Tan, N. (2014). Kapalı çevrim PID kontrolör tasarımında birim basamak cevabı çoklu ölçüt performans haritalaması. *Sakarya University Journal of Science*, 18(3), 157-165.
- Elsheikh, A. H., ve Abd Elaziz, M. (2019). Review on applications of particle swarm optimization in solar energy systems. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 1159-1170.
- Elsland, R., Divrak, C., Fleiter, T., ve Wietschel, M. (2014a). Turkey's strategic energy efficiency plan - An ex ante impact assessment of the residential sector. *Energy Policy*, 70, 14-29.
- Elsland, R., Divrak, C., Fleiter, T., ve Wietschel, M. (2014b). Turkey's strategic energy efficiency plan - An ex

ante impact assessment of the residential sector.
Energy Policy, 70, 14–29.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (1984). Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete (Sayı: 18565).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2001). Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete (Sayı: 24500)

Erdinc, O. (2014). Economic impacts of small-scale own generating and storage units, and electric vehicles under different demand response strategies for smart households. *Applied Energy*, 126, 142–150.

Erlich, I., Winter, W., ve Dittrich, A. (2006). Advanced grid requirements for the integration of wind turbines into the German transmission system. In *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 7 pp.

Eskander, M. N., Ibrahim, W. M., Aziz, M. M. A., ve Ibrahim, A. M. (2005). Generation control of a wind farm with variable speed wind turbines for high power quality. *INTELEC 05 - Twenty-Seventh International Telecommunications Conference*, 443–448.

- Finn, P., O'Connell, M., ve Fitzpatrick, C. (2013). Demand side management of a domestic dishwasher: Wind energy gains, financial savings and peak-time load reduction. *Applied Energy*, 101, 678–685.
- Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., AlWaer, H., Chang, S., Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., ve Clements-Croome, D. (2016). What is an intelligent building? Analysis of recent interpretations from an international perspective. *Architectural Science Review*, 59(5), 338–357.
- Gottwalt, S., Ketter, W., Block, C., Collins, J., ve Weinhardt, C. (2011). Demand side management – A simulation of household behavior under variable prices. *Energy Policy*, 39(12), 8163–8174.
- Gray, J. B., ve Fan, G. (2008). Classification tree analysis using TARGET. *Computational Statistics ve Data Analysis*, 52(3), 1362–1372.
- Gudi, N., Wang, L., ve Devabhaktuni, V. (2012). A demand side management based simulation platform incorporating heuristic optimization for management of household appliances. *International Journal of Electrical Power ve Energy Systems*, 43(1), 185–193.

- Guillemin, P., ve Gusmeroli, S. (2009). Internet of Things strategic research roadmap. In *Internet of Things: Global Technological and Societal Trends from Smart Environments and Spaces to Green ICT* (pp. 9–52).
- Ha, D. L., Ploix, S., Zamai, E., ve Jacomino, M. (2006). A home automation system to improve household energy control. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(3), 15–20.
- Harper, R. (2003). *Inside the smart home*. Springer.
- Hassan, H., Saad, F., Fazlin, N., ve Aziz, A. (2018). Waste monitoring system based on Internet-of-Things (IoT). *2018 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC)*, 187–192.
- Hill, J. (2015). The smart home: A glossary guide for the perplexed. *T3 Magazine*. [Link not provided, needs update if used in formal citation]
- Horowitz, C. A. (2016). Paris Agreement. *International Legal Materials*, 55(4), 740–755.
- IEEE Spectrum. (2024). Fresh from the oven: Pi for your desktop. <https://spectrum.ieee.org/raspberry-pi-5> (Erişim tarihi: 15 Eylül 2024)

- Investopedia. (2024). *Smart home: Definition, how they work, pros and cons.*
<https://www.investopedia.com/terms/s/smart-home.asp> (Erişim tarihi: 1 Ekim 2024)
- İlkbahar, F., ve Sungu, E. (2020). Analysis of artificial intelligence technologies used in the COVID-19 outbreak process. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 8(4), 154-162.
- Jain, S., Vaibhav, A., ve Goyal, L. (2014). Raspberry Pi based interactive home automation system through e-mail. *2014 International Conference on Reliability Optimization and Information Technology (ICROIT)*, 277-280.
- Kaya, F. (2016). Türkiye'nin nükleer enerji politikaları ve Avrupa Birliği.
- Keenan, M. (2024). Adapting PIR sensor technology to new applications. *Avnet.*
<https://my.avnet.com/abacus/resources/article/adapting-pir-sensor-technology-to-new-applications>
- Keles, C., Alagoz, B. B., Akcin, M., Kaygusuz, A., ve Karabiber, A. (2013). A photovoltaic system model for MATLAB/Simulink simulations. *4th*

International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 1643–1647.

Khair, U., Lubis, A. J., Agustha, I., ve Zulfin, M. (2017). Modeling and simulation of electrical prevention system using Arduino Uno, GSM modem, and ACS712 current sensor. *Journal of Physics: Conference Series*, 930(1), 012049.

Khairunnisa, M. D. (2021). Ekspor sampah Uni Eropa ke Indonesia sebagai bentuk eco-imperialism. *Transformasi Global*, 8(2), 143–154.

Kodali, R. K., ve Yadavilli, S. (2018). Mongoose RTOS based IoT implementation of surveillance system. *2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, 155–158.

Kok, K., Karnouskos, S., Nestle, D., Dimeas, A., Weidlich, A., Warmer, C., Strauss, P., Buchholz, B., Drenkard, S., ve Hatziargyriou, N. (2009). Smart houses for a smart grid. *CIREN 2009 - 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution - Part 1*, 1–4.

Kok, K., Karnouskos, S., Ringelstein, J., Dimeas, A., Weidlich, A., Warmer, C., Drenkard, S., Hatziargyriou, N., ve Lioliou, V. (2011). Field-testing

smart houses for a smart grid. *21st International Conference on Electricity Distribution*, 1-4.

Lawrence Berkeley National Laboratory. (2015). *Programmable thermostat usage in residential buildings*.

Li, L., Chen, Y., ve Liu, J. (2010). The application of Hall sensors ACS712 in the protection circuit of controller for humanoid robots. *2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*, 12, V12-101.

Li, W., ve Kara, S. (2017). Methodology for monitoring manufacturing environment by using wireless sensor networks (WSN) and the Internet of Things (IoT). In *24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering* (Vol. 61, pp. 323-328).

Lien, C.-H., Bai, Y.-W., ve Lin, M.-B. (2007). Remote-controllable power outlet system for home power management. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 53(4), 1634-1641.

Lim, H. B., Lam, V. T., Foo, M. C., ve Zeng, Y. (2006). An adaptive distributed resource allocation scheme for sensor networks. *Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks: Second International Conference (MSN 2006)*, 2, 770-781.

- Loh, W.-Y. (2008). Classification and regression tree methods. In *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability* (Vol. 1, pp. 315–323).
- Machado, M. V., Tommaselli, A. M. G., Tachibana, V. M., Martins-Neto, R. P., ve Campos, M. B. (2019). Evaluation of multiple linear regression model to obtain DBH of trees using data from a lightweight laser scanning system on-board a UAV. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 449–454.
- Machorro-Cano, I., Alor-Hernández, G., Paredes-Valverde, M. A., Rodríguez-Mazahua, L., Sánchez-Cervantes, J. L., ve Olmedo-Aguirre, J. O. (2020). HEMS-IoT: A big data and machine learning-based smart home system for energy saving. *Energies*, 13(5), 1097.
- Mamis, M. S., Keles, C., Arkan, M., ve Kaya, R. (2012). ATP simulation of Faraday cage for the analysis of lightning surges. *EEUG Conference*, Zwickau, Germany, 1–10.
- Mamiş, M. S., Keleş, C., Arkan, M., ve Kaya, R. (2016). Lightning surge analysis of Faraday cage using alternative transient program-electromagnetic

transients program. *IET Generation, Transmission ve Distribution*, 10(4), 1016-1022.

Matallanas, E., Castillo-Cagigal, M., Gutiérrez, A., Monasterio-Huelin, F., Caamaño-Martín, E., Masa, D., ve Jiménez-Leube, J. (2012). Neural network controller for active demand-side management with PV energy in the residential sector. *Applied Energy*, 91(1), 90-97.

Matthew, S., Elizabeth, A., Wara, S. T., Adoghe, A., ve Hope, O. (2018). Efficient energy management system using PIR sensor. In *IEEE PowerAfrica* (pp. 601-606). Cape Town, South Africa.

Medina-De-La-Cruz, M., ve Mujaico-Mariano, A. (2018). Implementation of a system for the evaluation of environmental factors that use the Internet of Things. *2018 IEEE Sciences and Humanities International Research Conference (SHIRCON)*, 1-4.

Moerland, T. M., Broekens, J., Plaat, A., ve Jonker, C. M. (2023). Model-based reinforcement learning: A survey. *Foundations and Trends® in Machine Learning*, 16(1), 1-118.

Morimoto, N., Fujita, Y., Yoshida, M., Yoshimizu, H., Takiyamada, M., Akehi, T., ve Tanaka, M. (2013).

Smart outlet network for energy-aware services utilizing various sensor information. *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, 1630–1635.

Muniraj, M., Qureshi, A. R., Vijayakumar, D., Viswanathan, A. R., ve Bharathi, N. (2017). Geo-tagged Internet of Things (IoT) device for radiation monitoring. *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 431–436.

Muñiz, R., Díaz, J., Nuño, F., Prieto, M. J., ve Pernía, A. M. (2018). A smart power meter to recharge electric vehicles in communal parking areas. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 3448–3454.

NodeMCU Team. (2014). Nodemcu – An open-source firmware based on ESP8266 WiFi-SoC. Retrieved from http://nodemcu.com/index_en.html

Norris, D. (2015). *The Internet of Things: Do-it-yourself at home projects for Arduino, Raspberry Pi and Beaglebone Black*. Tab Electronics.

Olarewaju, I. K., Ayodele, O. E., Michael, F. O., Alaba, E. S., ve Abiodun, R. O. (2017). Design and construction of an automatic home security system based on GSM technology and embedded microcontroller unit.

American Journal of Electrical and Computer Engineering, 1(1), 25-32.

Özcan, M. (2004). *Otomasyon sistemlerinde PLC uygulamaları*. Atlas Yayın Dağıtım.

Özgül, F. (2017). *Her yönüyle Python*. İstanbul: İnkılap Kitabevi.

Öztürk, A., ve Naimi, S. (2017). Akıllı ev sistemlerinde kullanılan yöntemlerin farkları, avantajları ve dezavantajları. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 9(4), 115-125.

Paavan, L. C. S., Sai, T. G., ve Naga, M. K. (2019). An IoT based smart garbage alert system. *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, 425-430.

Palensky, P., ve Dietrich, D. (2011). Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(3), 381-388.

Parihar, Y. S. (2019). Internet of things and NodeMCU. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(6), 1085.

- Pritoni, M. (2015). Energy efficiency and the misuse of programmable thermostats: The effectiveness of crowdsourcing for understanding household behavior. *Energy Research ve Social Science*, 8, 190–197.
- PsiBorg. (2024). *Exploring IoT platform and IoT gateway in depth*. <https://psiborg.in/iot-platform-and-iot-gateway> (Erişim tarihi: 22 Ekim 2024)
- pyradiomics Documentation. (2019). *PyRadiomics*. <https://pyradiomics.readthedocs.io/en/latest> (Erişim tarihi: belirtilmemiş)
- Qela, B., ve Mouftah, H. T. (2012). Observe, learn, and adapt (OLA)—An algorithm for energy management in smart homes using wireless sensors and artificial intelligence. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(4), 2262–2272.
- Rahimi, F., ve Ipakchi, A. (2010). Demand response as a market resource under the smart grid paradigm. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1(1), 82–88.
- Rashid, E. (2018). *Raspberry Pi ile gerçek zamanlı yüz tanıma ve kontrol sistemi* (Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Konya, Türkiye.

- Rastegar, M., Fotuhi-Firuzabad, M., ve Aminifar, F. (2012). Load commitment in a smart home. *Applied Energy*, 96, 45–54.
- Roberson, J. A., Webber, C. A., McWhinney, M. C., Brown, R. E., Pinckard, M. J., ve Busch, J. F. (2004). After-hours power status of office equipment and inventory of miscellaneous plug-load equipment. *Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)*. <https://eta.lbl.gov/publications/after-hours-power-status-office>
- Rosa, L., Rodrigues, L., ve Lopes, A. (2007). Appia to R-appia: Refactoring a protocol composition framework for dynamic reconfiguration. [Conference paper]
- Samuel, O., Javaid, N., Rahim, M. H., ve Aslam, S. (2018). Harmony search optimization technique for home management system in smart grid: HSA technique for HEMS. *2018 International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (ICoMET)*, 1–9.
- Sangsanit, K., ve Techapanupreeda, C. (2019). NodeMCU choreography automation by CoAP. 2019

International Conference on Information Networking (ICOIN), 350–353.

Santivañez, G. W. Q., Lazo, A. Á. Z., ve Mantari, L. E. O. (2023). Propuesta de un módulo de monitoreo de aprovechamiento de energías renovables en viviendas alto andina. *Advances in Science and Innovation*, 2(1), 20–30.

Scholer, T., ve Muller-Schloer, C. (2004). Design, implementation and validation of a generic and reconfigurable protocol stack framework for mobile terminals. *24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW 2004)*, 362–367.

Serra, H., Correia, J., Gano, A. J., de Campos, A. M., ve Teixeira, I. (2005). Domestic power consumption measurement and automatic home appliance detection. *IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing*, 128–132.

Singh, R., Tuffner, F., Fuller, J., ve Schneider, K. (2011). Effects of distributed energy resources on conservation voltage reduction (CVR). *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1–7.

- Singh, R., Tuffner, F., Fuller, J., ve Schneider, K. (2011). Effects of distributed energy resources on conservation voltage reduction (CVR). *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1–7.
- Song, G., Ding, F., Zhang, W., ve Song, A. (2008). A wireless power outlet system for smart homes. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54(4), 1688–1691.
- Steinberg, D., ve Colla, P. (2009). CART: Classification and regression trees. In X. Wu ve V. Kumar (Eds.), *The top ten algorithms in data mining* (pp. 179–201). Chapman ve Hall/CRC.
- Sultan, M., ve Nabil, K. (2016). Smart to smarter: Smart home systems history, future and challenges. In *Future of HBI: Human-Building Interaction Workshop*, ACM CHI '16.
- Tanrıöven, K., Yazarbaş, S., ve Cengiz, H. (2011). Geleceğin elektrik dağıtım şebekesi Smart Grid. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 12.
- Tasmota. (2024). *Sonoff-T1*.
<https://tasmota.github.io/docs/devices/Sonoff-T1>
(Erişim tarihi: 5 Ekim 2024)

- Taştan, M. (2019). Nesnelerin interneti tabanlı akıllı sulama ve uzaktan izleme sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 229–236.
- Tharishny, S., Selvan, S., ve Nair, P. (2016). Android based smart house control via wireless communication. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 5(2), 3.
- Tomforde, S., Cakar, E., ve Hähner, J. (2009). Dynamic control of network protocols – A new vision for future self-organising networks. *2009 International Conference on Autonomic and Autonomous Systems*, 114–119.
- Tomforde, S., Hurling, B., ve Hähner, J. (2010). Dynamic control of mobile ad-hoc networks – Network protocol parameter adaptation using organic network control. *2010 International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshop*, 41–46.
- Tomforde, S., Steffen, M., Hähner, J., ve Müller-Schloer, C. (2009). Towards an organic network control system. In *Autonomic and Trusted Computing: 6th International Conference, ATC 2009, Proceedings* (pp. 2–16). Springer.

- Torriti, J. (2012). Price-based demand side management: Assessing the impacts of time-of-use tariffs on residential electricity demand and peak shifting in Northern Italy. *Energy*, 44(1), 576–583.
- Tsai, C.-H., Bai, Y.-W., Wang, H.-Y., ve Lin, M.-B. (2009). Design and implementation of a socket with low standby power. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 55(3), 1558–1565.
- Uzunkaya, U. (2021). *MQTT protokolü ile çalışan nesnelerin interneti cihazların fabrika üretim hatlarına entegrasyonu* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). İstanbul, Türkiye.
- Wadhwani, S., Singh, U., Singh, P., ve Dwivedi, S. (2018). Smart home automation and security system using Arduino and IoT. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 3.
- Wan, Z., Song, Y., ve Cao, Z. (2019). Environment dynamic monitoring and remote control of greenhouse with ESP8266 NodeMCU. *2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, 377–382.

- Wang, C., P., K., ve Lee, H. (2020). Energy saving impact of occupancy-driven thermostat for residential buildings. *Energy ve Buildings*, 211, 109791.
- Whiteson, S., ve Stone, P. (2004). Towards autonomic computing: Adaptive network routing and scheduling. *2004 International Conference on Autonomic Computing (ICAC)*, 286–287.
- Wikipedia. (2024). *Raspberry Pi*.
https://tr.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi
- Wilson, S. W. (1995). Classifier fitness based on accuracy. *Evolutionary Computation*, 3(2), 149–175.
- Yazıcı, O. (2017). *Kullanıcı davranışlarını öğrenebilen, yapay zekaya sahip akıllı ev otomasyonu* (Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Edirne, Türkiye.
- Yılmaz, M. (2019). Akıllı şebekelerde güç kalitesinin optimizasyonu ve yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyonu. [Yüksek lisans tezi, üniversite bilgisi eksik]
- Zehir, M. A., ve Bagriyanik, M. (2012). Demand side management by controlling refrigerators and its

effects on consumers. *Energy Conversion and Management*, 64, 238–244.

Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., ve Yang, H. (2010). Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. *Applied Energy*, 87(2), 380–389.

Zhu, Q., Loke, S. W., Trujillo-Rasua, R., Jiang, F., ve Xiang, Y. (2019). Applications of distributed ledger technologies to the Internet of Things: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 52(6), 1–34.

Zhu, T., Mishra, A., Irwin, D., Sharma, N., Shenoy, P., ve Towsley, D. (2011). The case for efficient renewable energy management in smart homes. In *Proceedings of the Third ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings* (pp. 67–72).

AKILLI EV UYGULAMALARINDA KUVVETLİ VE ZAYIF AKIM ELEKTRİK İÇ TESİSATI

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com

ISBN: 978-625-8508-96-3



9 786258 508963