

AKILLI TERMOSTAT KULLANIMININ KONUTLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNE KATKISI ÜZERİNE DEĞERLENDİRME

Deniz Cura
ECA Valf Sanayii A.Ş.
denizcura@valf.com.tr
ORCID: 0000 0002 8633 9181

Oğuz Çicek
ECA Valf Sanayii A.Ş.
oguzcicek@valf.com.tr
ORCID: 0000 0001 5812 7192

Hacer Şekerci Öztura
Yaşar Üniversitesi
hacer.sekerci@yasar.edu.tr
ORCID: 0000-0003-1277-2414

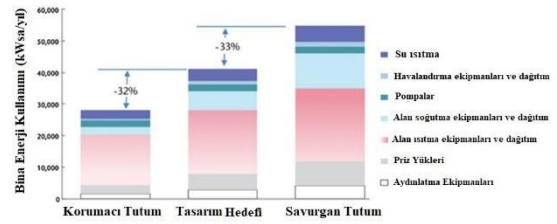
Özet: Enerji kaynaklarının sınırlı, enerji maliyetlerinin yüksek olması, artan nüfus ile orantılı olarak artan enerji ihtiyacı, bizleri yeni enerji kaynaklarının varlığını araştırmaya ve mevcut kaynaklardan elde ettiğimiz enerjiyi de daha verimli kullanmaya zorlamaktadır. Üstelik fosil kaynaklı enerjilerin üretimi sırasında çevreye verdiği bilinen zararları nedeniyle, enerji kullanımı sırasında hem kişisel dikkat hem de kullandığımız cihazların enerji verimli ekipmanlar olması çok önemlidir. Bir diğer yandan gelişen teknolojilerin günlük hayatımıza daha fazla girmesi ile akıllı ev otomasyonları çok yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır. Konutlarda uygulanan akıllı ev otomasyonları ile kullanıcıların yaşam konforunun daha az enerji ile sağlanması gerçekleşeceğinden, bu durum hem de enerji verimliliğine katkı koyacak hem de sera gazı salınımlarının azalmasına yardımcı olacaktır. Bu çalışmada konutlara kullanılan akıllı termostatların enerji verimliliğine olan etkileri literatür bazında detaylı olarak incelenmektedir.

1. Giriş

2021 yılı verilerine göre ülkemizin birincil enerji tüketimi 159,5 milyon TEP olarak gerçekleşerek, bu toplam enerjinin %16,47'si konutlarda kullanılmıştır. Yıllık ülke toplam tüketiminin %30,8'i doğal gaz olup, bu doğal gaz miktarının 16,7 milyar m³ ile %27,9'u konutlarda tüketilmiştir. Konutların doğalgaz tüketimi 2022 yılında ise 18,1 milyar m³ olarak %33,8 oranında gerçekleştiği görülmüştür [1].

Ev içi yaşam konforunun en önemli parçası ısıtma, soğutma ve havalandırma olarak bildiğimiz iklimlendirme sistemlerdir. Bu sistemler doğal gaz ve elektrik ile çalışır. Bu çalışmada iklimlendirmenin ısıtma kısmı olarak ev tipi kalorifer sistemlerinde yoğun olarak kullanılan termostatların kullanımının enerji verimliliğine etkilerini farklı ülke ve farklı alışkanlıklar bazında inceleyen araştırmalar ile, çalışmaların son yıllarda birçok farklı alanda yöneldiği nesnelere interneti ve makine öğrenmesinin akıllı termostat uygulamalarındaki kullanımları detaylı olarak incelenecektir. Bu çalışmada incelenen yayınlar termostatların üzerine son yıllarda yapılan çalışmalar ile bizlere olaya birçok farklı açıdan bakma fırsatı sağlayacaktır.

Konutlarda enerji kullanım alanları sıcak su, ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi farklı alanlarda gerçekleşmektedir. Konutlarda sistem tasarımlarında yapılacak iyileştirmeler ve bu konutlarda yaşayan insanların davranışlarındaki olumlu değişimlerle neredeyse yarıya düşen yıllık enerji kullanımı olacağı Şekil-1'den görülmektedir [2].



Şekil-1 Konutlarda enerji kullanımının dağılımı ve iyileşme oranları [2]

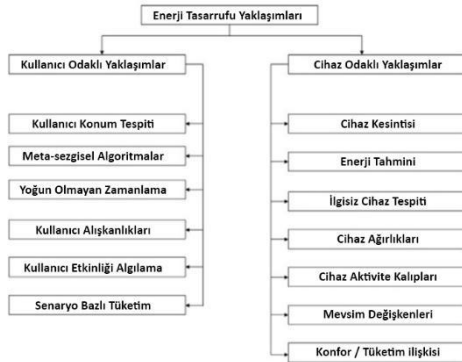
Avrupa Birliği Projesi olarak yeşil bina kapsamında destek alan bu çalışmada Şekil-1'deki analizler yapılırken insanların alışkanlıkları, kültürleri, yaşları, teknoloji kullanım becerileri, çevre dostu davranışlar, maliyet konusuna hassasiyet, kişi konforu, çalışma verimi, güvenlik gibi konu başlıkları ön plana alınmıştır.

İlk başlarda kişilerin yaşam konforu ve enerji verimliliğine katkısı olarak düşünülen akıllı termostatların verilerine

göre ulusal elektrik şebekesinde talep tarafı katılımı (demand response DR) konusunda katkı koyabileceği görülmüştür.

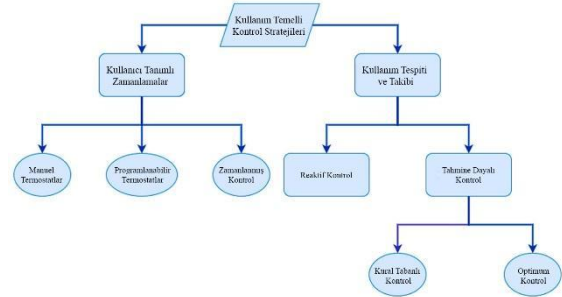
2. Akıllı Termostat Kullanım Alanları

Bir mekânı termal olarak şartlandırırken ortam sıcaklığının anlık olarak çok hızlı değişim göstermesi durumunda enerji tüketimi çok fazla olacağından çalışmaların çoğunda kullanıcı alışkanlıklarını ve davranışlarını takip ederek bu verilere göre ortam sıcaklığını önceden tahmin ederek yönetmek son zamanlarda çokça karşılaşılan çalışmalardandır. [3] nolu çalışmada yapılan konutlarda ve ofislerde enerji verimliliği çalışmalarında görülen yaklaşımlarının sınıflandırması Şekil-2'de görülmektedir. Yaklaşım daha en baştan kullanıcı ve cihaz temelli olarak iki ana dala ayrılıp detaylandırılmıştır. Buna göre 2006 ile 2022 yılları arasında yayınlanmış çalışmaların %46,8'i cihaz kullanarak verimlilik çalışmalarını incelerken, %53,2'si kullanıcı davranışlarına odaklanmıştır. Kullanıcı temelli bakış açısına göre, kişilerin pozisyonu, o andaki aktiviteleri, alışkanlıkları, enerji açısından puant dışı zamanın kullanılması gibi yöntemler belirlenerek, bunlara göre kullanım senaryoları oluşturulması başlıca amaçtır. Cihaz temelli yaklaşımda ise kullanıcıdan bağımsız olarak ortamdaki tüm cihazlar ve bunların çalışma döngüleri üzerinden verimlilik çalışmaları yürütülür. Özellikle akıllı ev uygulamaları, sensörlerin yoğun kullanımı ile verimlilik üzerine anlamlı kazanımlar sağlanabilmektedir.



Şekil-2 Enerji verimliliği çalışmalarının taksonomisi [3]

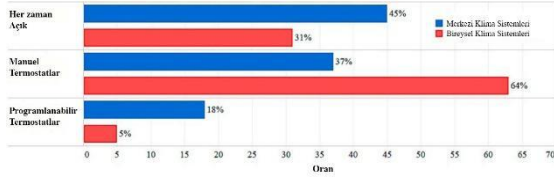
Akıllı binalar hayatımıza girmesi, iletişim ve bilgi teknolojilerinin gelişmesini takip etmiştir. Bu binalarda kullanıcıların bina içindeki konumlarının belirlenmesi ve görüntülenmesinden elde edilen eski ve mevcut verilerin kullanılması ile kapalı mekanlardaki hava kalitesini enerji verimliliğini de gözeterek sağlayacak kullanıcı temelli araştırmalar [4] nolu çalışmada özetlenmiştir. İklimlendirme sistemlerinin kullanıcı temelli kontrol yöntemleri ve kullanıcı bilgilerinin sisteme entegrasyonu içeren sınıflama Şekil-3'de verilmiştir.



Şekil-3 İklimlendirme sistemlerinin kontrol yöntemlerinin kullanıcıya göre sınıflandırılması [4]

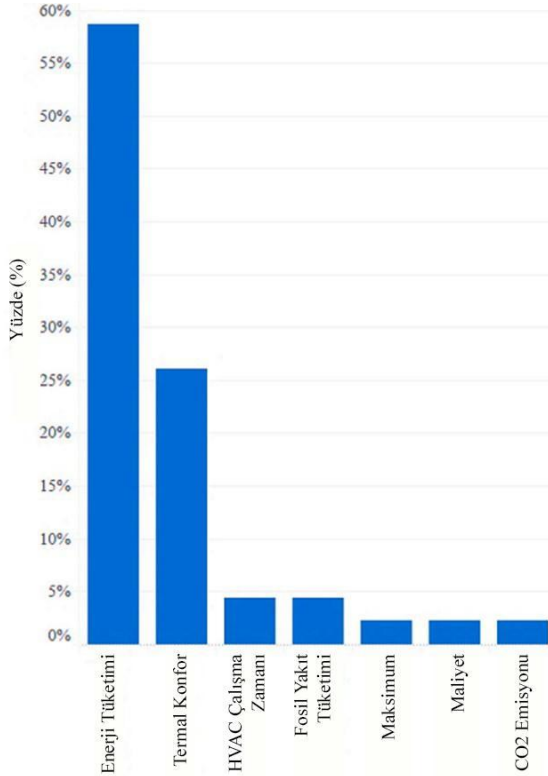
Bu sınıflama ilk olarak ikiye ayrılır. Birincisi kullanıcının manuel, programlama veya takvim oluşturarak kontrol etmesi, diğeri ise varlık sensörü gibi kullanıcıyı algılayan sensörler veya görüntüleme yöntemleri ile yapılan kontrollerdir. İlk yöntem sadece farklı türde termostat ile gerçekleştirilmektedir.

Amerika Birleşik Devletlerinde yapılan bir araştırmaya göre iklimlendirme sistemlerinin merkezi veya kişisel olarak elle veya programlanabilir termostatlar ile sürekli açık olmalarının yüzdeleri Şekil-4'de görülmektedir. Merkezi sistemlerde programlanabilir termostat kullanımı %18 iken, kişisel kullanımda bu oran %5'e kadar düşmektedir.



Şekil-4 Merkezi ve kişisel olarak gerçekleştirilen iklimlendirmelerde termostat kullanım oranları [4]

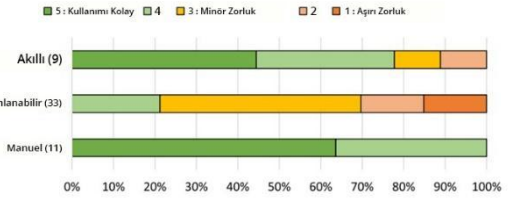
Kullanıcıların ortamda tespit edilmesi ilkesine dayalı sınıflama iki ayrı başlık altında incelenmektedir. Bunlar reaktif kontrol ile tahminlemeye dayalı yöntemlerdir. Daha ileride tahminleme yöntemlerini içeren makalelerden bahsedilecektir. [4] nolu çalışmadan bahsedilmesi gereken bir diğer bilgi ise kullanıcı temelli iklimlendirme kontrollerinin ana amacının incelenen çalışmalara göre dağılımı Şekil-5’de verilmektedir. %60’a yakın çalışmanın temel motivasyonu enerji verimliliği olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil-5 Kullanıcı merkezli kontrol stratejilerinin temel kriterleri [4]

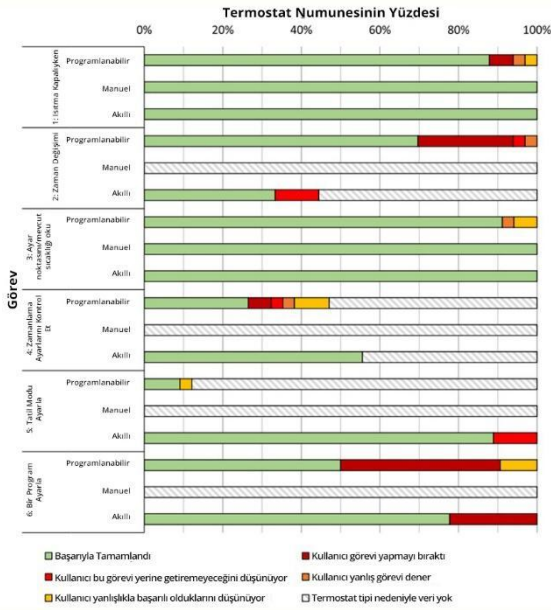
1920’ler den itibaren kullanıma başlayan termostatların 1990’lardan

itibaren programlanabilir şeklinin ortaya çıkması ile çok büyük bir enerji tasarrufu olacağı düşünülmüştür, ancak daha sonra yapılan araştırmalar kullanım becerisi eksikliği nedeniyle beklenen faydanın görülmediğini ortaya koymuştur [5]. Bu nedenle zaman içerisinde akıllı termostatların gelişen özellikleri ve kullanıcı dostu ara yüzlerinin geliştirildiği araştırmalar ve yayınlar çoğalmıştır. [5] nolu çalışmada ise Kanada’da (Toronto ve Ottawa) yaşayan 29 kadın ve 22 erkekten oluşan yaş aralığı da 20 ile 80 arasında değişen 51 kullanıcı ile evlerinde yapılan görüşmelerde kullandıkları akıllı termostat markasının ara yüzünü kullanma becerileri incelenmiştir. Bu termostatlardan 11 tanesi manuel, 33 tanesi programlanabilir ve 9 tanesi akıllı ara yüze sahiptir. Katılımcıların kendi termostatları için kullanılabilirlik değerlendirmesi Şekil-6’de görülmektedir.



Şekil-6 Termostatların kullanım kolaylığı konusunda katılımcıların değerlendirmesi [5]

Kullanım için bu şekilde görüş bildiren katılımcılara ısıtmayı kapatın, zamanı değiştirin, ayar noktasını ve mevcut sıcaklığı okuyun, program ayarlarını kontrol edin, bir tatil için termostatu ayarlayın ve termostata bir program ayarlayın şeklinde altı ayrı iş tanımlanmış ve bunları yapmaları beklenmiştir. Bu işlerin tüm kullanıcılar tarafından gerçekleştirilme yüzdeleri ise Şekil-7’de verilmiştir.



Şekil-7 Tüm termostat türleri için tanımlanmış görevi gerçekleştirme yüzdeleri [5]

Bu çalışmada 51 kullanıcının 41 farklı marka ve model üzerinde ortaya koyduğu çalışmaları farklı model cihazlar nedeniyle aynı metrik ile değerlendirmek mümkün olamamıştır. Ancak %60'dan fazla kullanıcının termostatlarını günde bir kereden az ayarladığı ve programlanabilir ve akıllı termostatların programlanması öğrenmek ve kullanmak için kullanıcılarının çok daha fazla zaman harcadıkları tespit edilmiştir. Ancak özellikle zengin özelliklere sahip ara yüzü olan akıllı termostatların kullanımının %10-15 arasında enerji tasarrufu sağlayacağı düşünülmektedir [5].

Danimarka'da 18 yaşın üstünde hemen hemen her yaştan (%43'ü 65 yaş ve üstü), çok farklı eğitim ve gelir seviyesinden, oldukça geniş bir eğitim seviyesine sahip, %45'i emekli, %30'ı tam zamanlı çalışan, %7'si öğrenci gibi çok farklı iş kollarında bulunan apartman veya bahçeli ev türlerinde ikamet eden, %51'i erkek olan 3000'den fazla konut sakini ile yapılan bir araştırmaya göre [6] tutumlar, güven, bilgi, politika, sosyal etki ve farkındalığın kullanıcı davranışsal niyeti üzerinde önemli etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Katılımcılar enerji verimliliğini arttırmak ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için

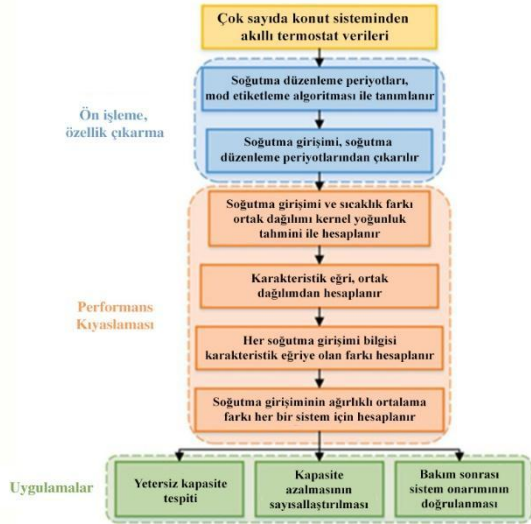
akıllı sistemlerin ve görüntüleme yöntemlerinin evlerde kullanımının önemini bilmekle birlikte, en önemli sorunun teknolojinin benimsenmesinde ortaya çıktığı görülmüştür. Çoklu lineer regresyon analizi yapıldığında bilginin ve algılanan kullanım kolaylığının %50,5 ve %40,3 oranında davranışsal niyeti etkilediği bulunmuştur. Bu nedenle Danimarka'nın 2050 yılı için koyduğu enerji hedeflerine ulaşabilmesi için, konut kullanıcılarına özendirici, teşvik edici yeni politikalar ortaya koyması gerektiği belirtilmiştir.

Akıllı termostatlarda ortaya çıkan gelişmeler ile nesnelerin interneti (IoT) uygulama alanlarının gelişmesiyle bölge bazında yüzlerce, ülke bazında binleri bulan konutta kullanılan akıllı termostatların set değerlerinin düzenli olarak kayıt altına alınması ve bunlar ile bir kıyaslama yapılması [7]'de incelenmiştir. Bu çalışma özellikle soğutma süreçlerine odaklanılmış ve elde edilen veriler Şekil-9'da görüldüğü akış diyagramına göre kıyaslamaların özellikleri belirlenmiş, sonra bu özelliklere göre kıyaslamalar yapılarak, bu konutların sistem kapasitelerinin normal yetersiz veya büyük olduğuna karar verilmektedir.

Gene aynı çalışmada yetersiz kapasiteye sahip olduğuna karar verilen konutların akıllı termostatlarından alınan veriler Şekil-9'da çizdirilmiştir. Düz siyah çizgi olması beklenen soğutma kapasitesini, kesikli siyah çizgi yetersiz kapasiteye sahip konutların ortalamasını, mavi noktalar ise bu konutlardan ölçülen değerleri vermektedir. Gerçekleşen ve olması beklenen değerler arasında yaklaşık %29,1'lik bir soğutma kapasitesi yetersizliği olduğu bu şekilden görülmektedir.

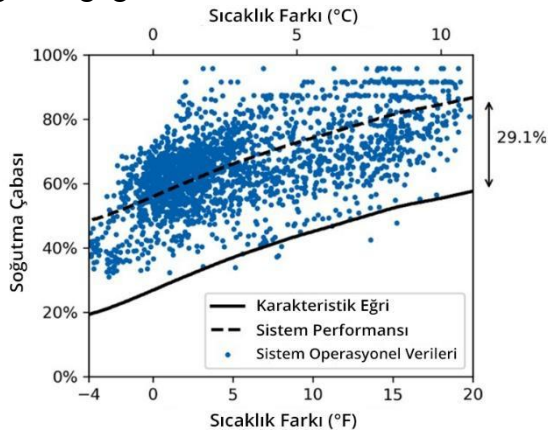
Nesnelerin interneti, makine öğrenmesi, kontrol teknolojileri ve dijital sistemlerin yaygın kullanılması ile ortaya çıkan S³ (sensing, smart, & sustainability) algılmalı, akıllı ve sürdürülebilir olarak tanımlanabilen (diğer bir deyişle sosyal ihtiyaçlara duyarlı) sistemler üzerine bir

başka çalışma olan [8]'de ürün-ürün ve ürün-kullanıcı iletişimini ön plana çıkaran yeni yaklaşımlar anlatılarak, bu sürece örnek olarak da akıllı termostatlar üzerine bir araştırma yapılmıştır.

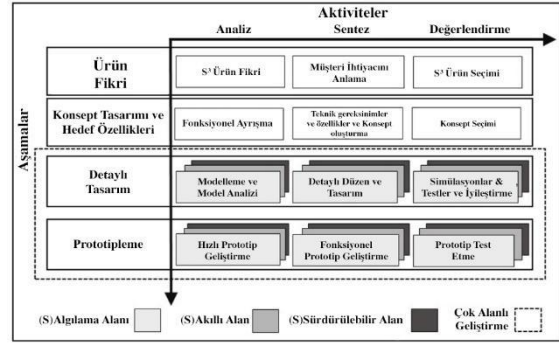


Şekil-8 Performans kıyaslama yönteminin prosedürlerini ve uygulamalarını gösteren akış şeması [7]

S^3 kategorisinde ürün geliştirmek için önerilen referans haritası Şekil-10'de görülmektedir. Ürünün fikir aşamasından prototip aşamasına gelinceye kadar tüm evrelerinde analiz, sentez ve gerçekleştirme adımlarında hangi S ile değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir.



Şekil-9 Yetersiz soğutma kapasitesine sahip konutlara ait veriler [7]



Şekil-10 S^3 ürün geliştirme referans çerçevesi [8]

Bu çalışmada özellikle akıllı termostat üzerinde durulduğu için, tasarım adımlarında ürün-tüketici arasındaki doğal olan ve olmayan davranış tanımları ile ürün-ürün arasındaki sosyal iletişimi artırıcı S^3 açısından belirlenen kriterler Tablo-1'de görülmektedir.

Bu kriterlere göre ise elde edilen prototip ürün ise Şekil-11'de verilmiştir. Söz konusu metod ile ürün geliştirme yöntemi literatürde (IPPMD integrate product, process and manufacturing-system development) olarak kısaltılan entegre ürün, süreç, sistem ve imalat olarak da bilinen referans modeli kullanarak yapılan bu çalışma ile, sadece teknik kriterlerin değil merkezine tüketicinin taleplerini alarak yapılacak bir prototip imalatını ortaya koymaktadır.

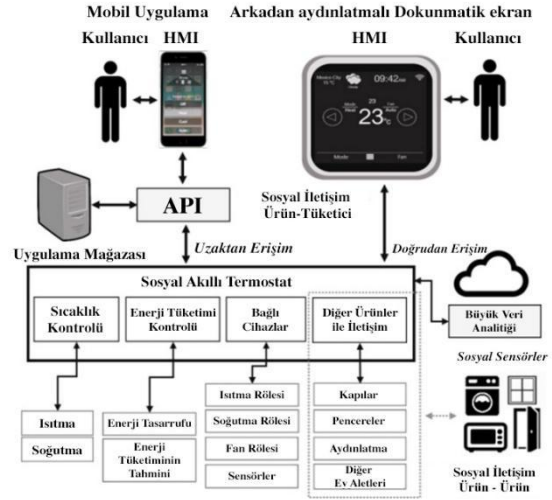
Tablo-1 Akıllı termostat tasarım kriterleri [8]

Ürün-Kullanıcı: Doğal olmayan davranış	
Algılama	<ul style="list-style-type: none"> Tüketicilerin mevcut ve geçmiş davranışları hakkında bilgi almak için sensörler kullanılır. Örneğin, Açma-Kapama düğmesi, akıllı termostatın kaç kez açılıp kapandığını kaydetmek için bir sensör de olabilir.
Akıllı	<ul style="list-style-type: none"> Tüketicilerin enerji tasarrufu gibi termostatın performansını artırmaya motive eden iyi alışkanlıklarını teşvik etmek için oyunlaştırma gibi sisteme ek stratejiler eklenir. Bu durumda, sosyal ağlar da ürünün sosyal etkinliği hakkındaki bilgileri canlandırabilir veya sembolik ödüller verebilir. Ayrıca, tüketicinin davranışıyla ilgili istatistiksel bilgiler, hızlı davranış değişiklikleri oluşturmak için depolanabilir.
Sürdürülebilir	<ul style="list-style-type: none"> Termostat çalışması için yeterli olan ve tüketicinin sahip olmadığı sürdürülebilir aktiviteler için kullanıcılar teşvik edilir.
Ürün-Kullanıcı: Doğal olan davranış	

Algılama	<ul style="list-style-type: none"> Sıcaklık sensörleri, açma-kapama düğmesi, varlık sensörleri vb. kurulu sensörler kullanıcıların temel aktivitelerini tespit etmeye yarar. Bu algılama sürecinde, Daly ES (2010) tarafından sunulduğu gibi bir Sosyal Ürün Geliştirme ve kitle kaynağı bir arada bulunabilir.
Akıllı	<ul style="list-style-type: none"> Alınan tüm kararlar termostatın birincil işlevi ile bağlantılı olmalıdır, ancak tüketicinin faaliyetini minimum düzeyde tutmak gibi bazı ek kısıtlamalar vardır, bu nedenle tüketici sosyal ihtiyaçlarına göre otonom bir sisteme sahip olacaktır.
Sürdürülebilir	<ul style="list-style-type: none"> Termostatın çevre dostu çalışmasını sağlayın, bu nedenle akıllı alt sistemde alınan kararlar sürdürülebilir çalışmaya uygun olmalıdır
Ürün-Ürün: Performans artırıcı iletişim	
Algılama	<ul style="list-style-type: none"> Algılama kısmı, bilgiyi diğer ürünlerden alan alt sistemdir. Termostat söz konusu olduğunda, verilerin elde edilmesi ve gönderilmesi için sosyal iletişim sistemlerinin eklenmesi gerekir.
Akıllı	<ul style="list-style-type: none"> Akıllı alt sistem, performansını artırmak ve ürün topluluğu performansını artırmak için kararlar almak zorundadır. Örneğin, termostat kendi ihtiyaçlarına ve toplumun ihtiyaçlarına göre bir karar vermek zorundadır. Bu, termostatın ürünler arasında rızaya dayalı bir karar verdiği anlamına gelir. İlgili ürünler, enerji tüketimi olarak ayar noktası sıcaklığını etkileyebilen ürünlerdir.
Sürdürülebilir	<ul style="list-style-type: none"> Sürdürülebilir alt sistem, akıllı alt sisteme çevreci elektrik tarifeleri ve enerji tasarrufu ile ilgili ihtiyaçlar, değerler ve tutumları ile ilgili bilgi gönderir. Sosyal öğrenme; tüketicilerin sınıflandırılması; ve ilgili ürün özellikleri ve sürdürülebilir koşullara göre sınıflandırılması.

Gene akıllı termostatlar üzerine literatürde yayınlanan bir diğer çalışma olan [9]'da konutlarda kullanılan akıllı termostatlardan alınan büyük data setleri üzerinde son yıllarda birçok alanda başarı ile uygulanan yeni bir kontrol yöntemi olan model öngörülü kontrol (MPC model predictive control) metodu ile Kanada Ontario ve Québec'de bulunan toplam 7800 evden 5 dakikalık aralıklarla ocak ayında 7 gün boyunca alınan verilerde kullanılmış ve değerlendirme yapılmıştır. Sistemde kaydedilen veriler ise iç ortam ve dış hava sıcaklığı, relatif nem değeri ile ısıtma ve soğutmada kullanıcı tarafından belirlenen set değerleridir. Bu evlerin ısıtma sistemleri elektrik, doğal gaz ve ısı pompası olarak farklılık göstermektedirler ve aynı zamanda evlerin lokasyonu, yaşı, iç özellikleri, kullanıcı sayıları ve kullanım

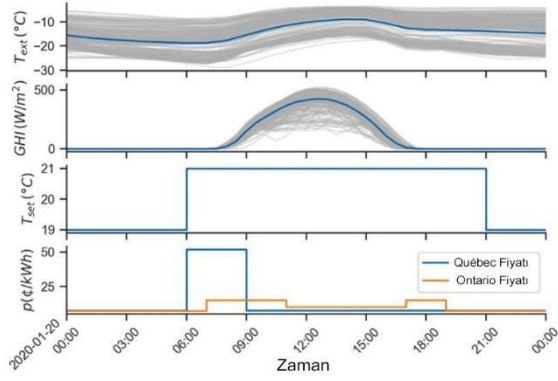
zamanları da farklı olup bunların hepsi modele yansıtılmıştır.



Şekil-11 Akıllı termostat prototipi [8]

Söz konusu verilerin alındığı dönemde ortalama dış hava sıcaklığı -20°C ve -10°C arasında değişirken, ortalama güneş radyasyonunun maksimum değeri 420 W/m^2 olmuştur. Ev içi set değerlerinin ise genellikle 9:00-18:00 arasında 21°C iken diğer zaman aralığında 19°C 'ye set edildiği bilinmektedir. Hava sıcaklığı, termostatların set değerleri ile bu zaman diliminde elektrik fiyatları Şekil-12'de görülmektedir.

Detayları birazdan paylaşılacak olan bu çalışmanın sonucunda Model Öngörülü Denetleyicinin yüksek fiyatlı enerji tüketim zaman diliminden önce başarılı bir şekilde ön ısıtma yaparak termal konforu iyileştirebileceğini ve böylece yüksek fiyat döneminde talebi azaltmak için sadece 1000 evin önerilen bu stratejileri hayata geçirdiği takdirde Ontario için %15 ve Québec için %30 enerji ihtiyacında azalma olacağını, bunun ise Ontario ve Québec için yüksek fiyat döneminde sırasıyla 15 MWh ve 11 MWh'ye varan enerji tasarrufu olacağını ortaya koymuştur. Ortalama bir kış sabahında ısıtma amaçlı elektrikteki güç ihtiyacının 38 MW olduğu bilinirken, bu çalışma bulguları olarak önerilen sistemlerin hayata geçirilmesi durumunda çok önemli bir enerji tasarrufu sağlanacağı çok açıktır.

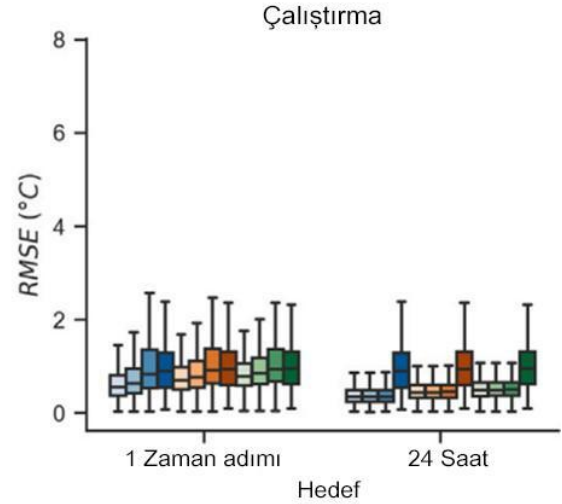


Şekil-12 Bir günlük ortalama sıcaklıklar, radyasyon ve elektrik fiyatları [9]

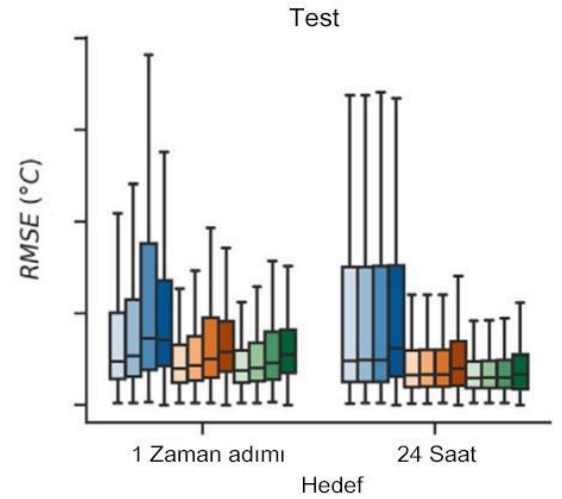
Bu çalışmada her bir ev ikinci dereceden bir termal devre olarak $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ile verilen termal direnç ve $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ ile verilen termal kapasite ile oluşturulan modele iç ortam sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, evin yapısal özellikleri de dahil edilerek analizler yapılmıştır. Modeller (RMSE root mean square error) hataların ortalama kare kökü ile değerlendirilmiş ve ölçülen değerler ile MPC yöntemi ile tahmin edilenler arasındaki fark elde edilmiştir.

7304 adet evin MPC sonuçları ile ölçülen değerlerinin 3 farklı uzunluktaki eğitim veri seti ve 2 günlük RMSE yönetmeniyle yapılan testler sonucu elde edilen grafikler Şekil-14'de görülmektedir.

Bu grafiklere göre eğitim setinin kalibrasyon ufkü 24 saat ve daha uzun ortalamada dahi iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca kalibrasyon ufkü tek zaman adımı modellerin daha küçük zaman adımları ile kalibre edildiklerinde daha iyi sonuçlar edilmiştir. Son olarak, 3 günlük veri uzunluğuyla kalibre edilen modeller, kalibrasyon sırasında "gördükleri" veri setinde iyi performans gösterdi, ancak doğrulukları test setinde önemli ölçüde azaldığı belirtilmektedir.



(a) Eğitim seti verileri



(b) 2 Günlük test

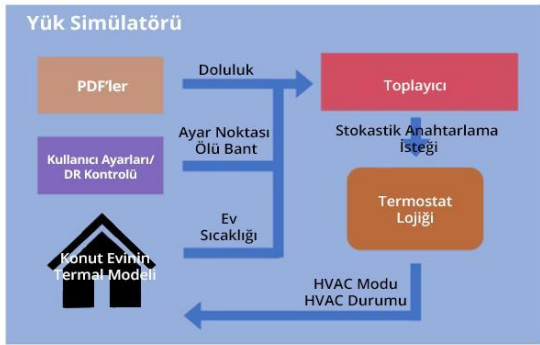


(c) Zaman aralıkları ve veri uzunluğu göstergesi

Şekil-13 RMSE Sonuçları [9]

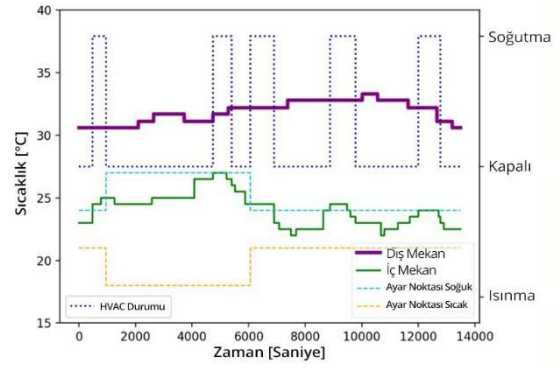
Elektriksel yükler sanayi, konut, ticari ve resmi kurum ve benzeri sınıflara ayrılır. Konutlarda kullanılan enerjinin en büyük kısmı ise ısıtma ve soğutma sistemlerinde tüketilir. Tekil tekil konutlarda kullanılan bu enerji toplamda büyük bir yer kapladığından, bunu modelleyebilmek ve istatistiksel olarak bir veri seti oluşturabilmek adına yapılan [10] nolu çalışmada bir akıllı termostat markasına yazılım yükleyerek hem istatistiksel veri toplama (günlük yük oluşumu, yük başlama zamanı, yük süresi,

set değeri ve benzeri bilgiler) yapılır. Böylece her ev için yük karakterize edilerek olasılık yoğunluk fonksiyonları (probability density function PDF) elde edilir. Hem de ısıtma ve soğutma modlarında oransal integral türev (proportional integral derivative PID) denetleyicisi kullanılmasıyla yük kontrolü yapılarak konfor artırılırken enerji verimliliğine katkı sağlanır. Veri toplamak için kullanılan algoritma Şekil-14'de verilmiştir.



Şekil-14 Simule edilen termostat algoritması [10]

Evin mevcut sıcaklık değeri, doluluk oranlarına göre her ev için oluşturulmuş PDF'ler, kullanıcı tercihlerinin hepsi toplanarak termostatın iklimlendirme moduna ve derecesine karar verip sistemi çalıştırır. Isıtma ve soğutmada fancoillerin kullanılacağı varsayın bu analizde set edilen sıcaklığa göre çalışma modu PID denetleyici ile sağlanır. [10] nolu çalışmada birçok farklı durum analizleri (sadece ısıtma veya soğutma, ekonomik mod, set edilen değerde veya onun 0.5 °C altında üstünde çalışma ve benzeri) yapılmış olup, burada sadece hem ısıtma hem soğutma set değerlerinin her ikisi de aktif iken elde edilen sonuç Şekil-15'da paylaşılmıştır. 4 saatlik verinin görüldüğü bu grafikte dış ortam sıcaklığına göre soğutma modu set değerini yakalamak üzere yazılım ile sağlanan PID kontrolünün sonuçları görülmektedir. Set edilen soğutma değerini çoğunlukla yakalamaktadır.



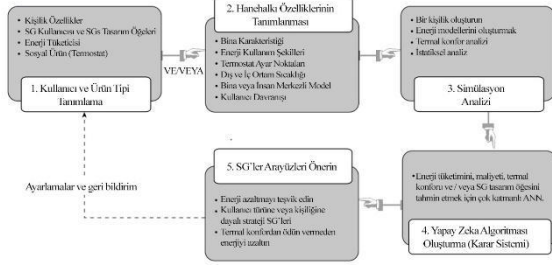
Şekil-15 Isıtma ve soğutma set değerleri aktif iken elde edilen analiz sonuçları [10]

Söz konusu çalışma ile akıllı termostatların evlerde set edilen değerlere göre kontrol ve konfor sağlarken, veri toplamak ve bunları işlemek üzere geliştirilecek yazılımlar ile toplu olarak evlerin ısıtma modellerinin çıkarılabileceği ve talep tarafı katılımı konusunda çok kıymetli bir veri sağlayacağı görülmüştür.

[11] nolu çalışma ise evlerden kullanılan enerjinin beşte üçünü kapsadığı bilenen ısıtma ve soğutma sistemlerinde akıllı termostatların konut sakinlerinin davranışsal veya kullanım becerisi kaynaklı efektif kullanılmamasına bir çözüm önerisi getirmektedir. Etkileşimli ve tahmin eden bir ara yüz yazılımı ile iklimlendirme kontrolü yapan stratejiler geliştirilmesi ve bu sırada uyarlanabilir termal konforun, enerji tüketiminin ve maliyetinin ölçülmesi üzerinde çalışılmıştır. Ashrae termal skalasını kullanarak bina ve insanı merkeze alan ve Şekil-16'de görülen kriterleri kullanan yaklaşımlarla beş adımda gerçekleşen önemli bir oyun ara yüzü geliştirilmiştir ve bu beş adım Şekil-17'de gösterilmiştir.

Şekil-16 Bina ve insan bazlı termal konfor yaklaşımı kriterleri [11]

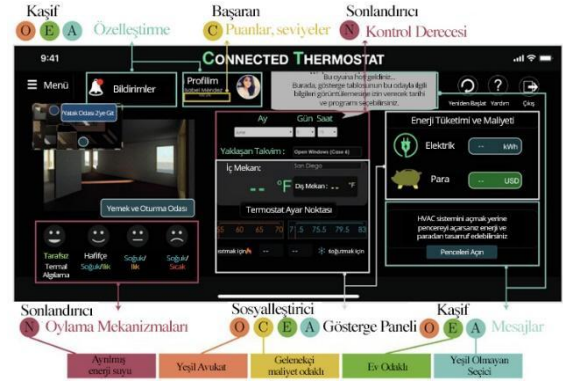




Şekil-17 Enerji uygulamaları için önerilen beş adımın kavramsal boyutu [11]

Bu grafikteki ilk iki adım tamamen tanımlarla ilgilidir, diğer adımlara ise benzetim çalışmaları, önerilen oyunların ara yüzleri ve karar aşaması için yapay zekâ uygulamaları söz konudur. İlk adımdan da görüleceği üzere bu araştırma enerji verimliliği üzerine yapılırken sosyal ürün olarak termostat seçilmiş, evlerin yapıları ve ev içi hareketlerin ASHRE standardına göre metabolik değerleri simülasyon için tanımlanmıştır. Ayrıca ASHRE standardına göre enerji modeli, kabul edilebilir termal konfor denklemi simülasyona dahil edilmiştir. Kaliforniya'nın beş farklı bölgesinden 2004-2018 yıllarını kapsayan dış hava sıcaklığı verileri de programa girilmiştir. Son olarak bu enerji modeli için termostat kullanımına göre altı farklı senaryo tanımlanarak analizler yapılmıştır.

Bu çalışmada önerilen oyunların kullanıcıları tanıyarak ve onların kişiliklerine uygun (dört farklı kişilik -sosyal, kâşif, başarılı ve katil) bir şekilde yapılmasıdır. Beklenen diğer oyuncular ile etkileşime girmeleri ve yeni teknolojilere uzak durmamaları, tasarruf bilincini ve dolayısıyla enerji verimliliği bilincini kazanmalarınıdır. Seviye atlama, puan toplama, ödül alma bu oyunda da söz konusudur. Bu oyunlar ile farklı kişiliklerin yeşil enerji algısı, eve, konfora, para tasarrufuna ve benzeri neye odaklandığını tespit etmeye çalışmışlar ve bu bilgileri de diğer verilerle birlikte simülasyonlara eklemişlerdir. Oyunların kişiliklere göre ara yüzü için bir örnek görsel Şekil-18'de verilmiştir. Model evin farklı odaları için farklı senaryolar ile analizler, farklı kişiliklere göre yapılmıştır.



Şekil-18 Kişiliğe dayalı genel SG ara yüz prototipi [11]

Farklı senaryolar için yapılan analizler sonucu elde edilen ısıtma yükü ve maliyeti değerleri Şekil-19'da görülmektedir.



Şekil-19 Isıtma elektrik enerjisi tüketim miktarları ve maliyetleri [11]

Bu çalışmanın elde ettiği sonuçlara bakıldığında, son kullanıcının kişiliğine uygun olarak kullanıcıya uyarlanabilir termostat ara yüz programı ile enerji verimliliği ve dolayısıyla para tasarrufunun önemini eğlenceli aktiviteler ile teşvik edilebileceği ve kişinin tercihiyle özel termal konfor aralıklarının her koşulda sağlanacağını söylenebilir.

3. Değerlendirme ve Sonuçlar

Yukarıda incelenen çalışmalardan görüleceği üzere akıllı termostatlar teknolojik açıdan oldukça umut vaat ederek hayatımıza girmesine rağmen, zaman içerisinde yapılan çalışmalar göstermektedir ki, söz konusu akıllı termostatları kullanacak olan insanların eğitim, yaş ve beceri düzeyleri termostatların tüm özelliklerinin kullanılması ve dolayısıyla da beklenen enerji verimliliği katkısını sağlamakla çok doğru orantılıdır. Anlama ve kullanabilme

becerisi eksikliği nedeniyle termostatın programlanma kısmının kullanım oranı düşük olan konutların örnek topluluklar içinde yerinin büyüklüğü nedeniyle akıllı termostat kullanımının enerji verimliliğine katkısını gözlemleyen ve rakamsal olarak veren bir literatüre rastlanamamıştır. Sadece bir yayında %10-15 arasında beklenmektedir şeklinde bir tahmin söz konusudur.

İnsan bilgi ve becerisine bağlı bu durum nedeniyle araştırmaların yönü bu sefer daha da teknolojiyi içererek insandan bağımsız hale gelmeyi hedeflemeye çevrilmiştir. Evin yönü, büyüklüğü, kullanım alanları, yapım yılına bağlı termal değerleri gibi koşulları ile kullanıcıların yaşam alışkanlıkları ve mevsimsel dış ortam sıcaklığındaki değişimleri içeren geçmiş verileri depolayan, bu verileri kullanarak kişilerin alışkın olduğu konforu düşürmeden mekanların ısıtma ve soğutmasına karar verecek yazılımları içeren yeni nesil termostatların geliştirilmesi son yılların gözde konuları arasına girmiştir.

Kaynaklar

- [1] TMMOB Makina Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu, “Türkiye Enerji Görünümü 2023”, Mayıs 2023, <https://enerji.mmo.org.tr/sunumlar/>
- [2] Tuan Anh Nguyen, Marco Aiello, “Energy intelligent buildings based on user activity: A survey”, Energy and Buildings, 56(2013) p:244-257 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.005>
- [3] Muhammad Zaman Fakhar, Emre Yalcın & Alper Bilge, “A survey of smart home energy conservation techniques”, Expert Systems With Applications, Volume 213, Part B, 1 March 2023, 118974, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118974>
- [4] Mohammad Esrafilian-Najafabadi, Fariborz Haghighat, “Occupancy-based HVAC control systems in buildings: A state-of-the-art review”, Building and

Yeni nesil termostatların gelişimi nesnelerin interneti, model öngörülür kontrol ve benzeri birçok yeni konu ve kavramla birleşerek ilerlemektedir. Önümüzdeki yıllarda bu alanda yapılacak deneysel çalışma kısmını da içerecek yayınlardan sonra yeni nesil akıllı termostatların enerji verimliliğine koyacağı katkıya ait net rakamları görme şansımız olacaktır.

Ancak bu çalışmaların bizlere çok önemli bir katkısı görülmüştür. Özellikle elektrik enerjisinin üretilmesinde yük modelleri çok önemlidir, çünkü bu modellere göre elektrik üretim planlaması yapılır. Talep tarafı katılımı olarak bildiğimiz demand response konusunda artık evlerin ısıtma ve soğutmada kullanacakları elektrik enerjisinin günlük ve mevsimlik değişimlerine ait verileri düzenli kayıt altına alınacağından dolayı evlerin modellemesi çok daha gerçekçi olacaktır.

- Environment, Vol 197, 15 June 2021, 107810, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107810>
- [5] Ruth Tamas, William O’Brien, & Mario Santana Quintero, “Residential thermostat usability: Comparing manual, programmable, and smart devices”, Building and Environment, Volume 203, October 2021, 108104, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108104>
- [6] Joy Billanes, Peter Enevoldsen, “Influential factors to residential building Occupants’ acceptance and adoption of smart energy technologies in Denmark”, Energy & Buildings, 276 (2022) 112524, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112524>
- [7] Fangzhou Guo & Bryan Rasmussen, “Performance benchmarking of

- residential air conditioning systems using smart thermostat data”, *Applied Thermal Engineering*, 225 (2023) 120195
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120195>
- [8] Pedro Ponce, Alan Meier, Jhonattan Miranda, Arturo Molina, Therese Peffer, “The Next Generation of Social Products Based on Sensing, Smart and Sustainable (S³) Features: A Smart Thermostat as Case Study”, *IFAC Papers On Line* 52-13 (2019) p:2390–2395,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.564>
- [9] Charalampos Vallianos, José Candanedo & Andreas Athienitis, “Application of a large smart thermostat dataset for model calibration and Model Predictive Control implementation in the residential sector”, *Energy* Volume 278, Part A, 1 September 2023, 127839,
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127839>
- [10] Jeewon Choi, Matthew Robinson & Andrea Mammoli, “Integration of Statistical Models of Residential HVAC Loads with a Commercial Smart Thermostat”, 2018 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech), 11-13 November 2018
<https://doi.org/10.1109/SusTech.2018.8671326>
- [11] Juana Isabel Méndez, Therese Peffer, Pedro Ponce, Alan Meier & Arturo Molina, “Empowering saving energy at home through serious games on thermostat interfaces”, *Energy and Buildings*, Volume 263, 15 May 2022, 112026
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112026>