

YENİ NESİL AKILLI AYDINLATMA SİSTEMLERİ VE GELECEĞİ

Emre ERKİN

Sermin ONAYGİL

erkinem@itu.edu.tr

onaygil@itu.edu.tr

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi ABD
Ayazağa Kampüsü, Maslak – İstanbul

ÖZET

LED teknolojisi ve nesnelerin internetinin hızlı gelişimi sayesinde aydınlatma sistemleri bütünlük wi-fi modülleri, sensörler, kullanıcılardan gelen geri bildirimler, bulut hizmetleri ve akıllı algoritmalar ile gelişerek geleneksel aydınlatma otomasyonunun değişmesine ve evrimleşmesine; enerji tasarrufu, işlevsellik ve kullanıcı merkezli aydınlatma konularında gelişerek de yeni nesil akıllı aydınlatma sistemlerinin oluşmasına sebep olmuşlardır. Bu gelişmeler karşısında yeni çalışmalara, standart ve öneri dokümanlarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada, akıllı aydınlatma sistemleri sınıflandırılarak nesnelerin interneti kapsamında ortaya çıkan yeni nesil akıllı aydınlatma sistemleri incelenmiş, özellikle konutlarda kullanılan akıllı LED lambaların avantajları ve dezavantajları, bunlar ile ilgili yayımlanan doküman ve raporlar ele alınmış ve yeni nesil akıllı aydınlatma sistemlerinin geleceğine ilişkin bilgiler verilmiştir.

1. GİRİŞ

Aydınlatma otomasyonu, geleneksel yöntemler ile özellikle konut dışı ticari binalarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Daha çok zaman kontrolüne veya varlık sensörlerine bağlı açma kapama ve günışığına bağlı aydınlık düzeyinin kontrolü ile bina otomasyon sistemlerinin önemli bir parçası olmuşlardır. Günümüzde ise gerek iletişim teknolojilerinde gerekse elektronikte yaşanan hızlı gelişmeler sayesinde mikro ölçekte nesneler, makro ölçekte ise binalar ve hatta şehirler internete bağlı, birbirleriyle iletişim ve etkileşim halinde olan birer sistem haline almaya başlamıştır. Son birkaç yıl içinde hızla gelişen ve dördüncü sanayi devrimi olduğu ifade edilen nesnelerin interneti (Internet of Things - kısaca IoT), hayatımızda kullandığımız birçok nesnenin internete bağlanarak birbirleriyle veya daha büyük sistemlerle iletişim halinde olmasını, mobil uygulamalar ile kontrol edilebilmesini ve izlenmesini sağlayan bir iletişim ağı olarak tanımlanmaktadır [1,2]. Böylece sadece

nesneler değil, sistemler, binalar ve hatta şehirler gibi tüm çevremizin akıllı hale gelmesi, birbirleri ile etkileşerek daha verimli, ekonomik, hızlı ve esnek olması söz konusu olmuştur. Nesnelerin internetinin getirdiği bu avantaj ve üstünlükler, geleneksel aydınlatma kontrolünün değişmesine, dönüşmesine ve yenilenmesine başka bir deyişle, aydınlatma teknolojisinin gelişiminde bir sonraki adım olarak tanımlanan yeni nesil akıllı aydınlatma sistemlerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur [2]. Bu çalışmada, akıllı aydınlatma sistemleri sınıflandırılarak nesnelerin interneti kapsamında yeni nesil akıllı aydınlatma sistemleri incelenmiş, özellikle konutlarda kullanılan akıllı LED lambaların avantajları ve dezavantajları vurgulanarak, bunlar ile ilgili yayımlanan doküman ve raporlar ele alınmış ve yeni nesil akıllı aydınlatma sistemlerinin geleceğine ilişkin bilgiler verilmiştir.

2. AKILLI AYDINLATMA SİSTEMLERİ

Son yıllarda teknolojinin hızlı gelişimi, daha küçük boyutlarda daha fazla işlem yapabilen elektronik elemanların yaygınlaşması, akıllı LED lambaların, akıllı ofis ve yol aydınlatması armatürlerinin dolayısıyla akıllı aydınlatma sistemlerinin günlük hayatımıza hızla girebilmesinin nedeni olmuştur. Akıllı aydınlatma sistemleri maksimum tasarruf sağlayabilmenin ötesinde, kullanıcı ihtiyacına bağlı olarak ışık akısının kontrolü ve renk ile ilgili adaptif çözümler de sunabilmektedir [3]. Nesnelerin interneti alt yapısı ile söz konusu sistemlerin gerek mobil gerekse web tabanlı uygulamalar ile kolayca kontrol edilebilmeleri sayesinde günlük hayatımızda, yakın gelecekte çok daha sık kullanacağımız bir kontrol yönetimi olacağı, akıllı aydınlatma sektörünün 2022 yılında yaklaşık 20 Milyar \$ değerine ulaşacağı, 2016 yılına göre yıllık ortalama %71'lik bir büyüme ile bağlı cihaz sayısının 1.3 Milyara çıkacağı ve bu artışın en çok etkileyenlerin son kullanıcı ürünleri ile akıllı yol aydınlatmalarının olacağı tahmin edilmektedir [4].

Bu kapsamda, akıllı aydınlatma sistemleri günümüzde temel olarak üç başlık altında incelenebilir [5]:

- Ticari akıllı aydınlatma sistemleri
- Enerji tasarrufu sağlayan akıllı aydınlatma sistemleri
- Gelişmiş akıllı aydınlatma sistemleri

Ticari akıllı aydınlatma sistemleri son kullanıcı tarafından kolayca ulaşılabilir ve satın alınabilir ürünlerdir. Açma/kapama, loşlaştırma ve izleme gibi mobil kontrollere daha fazla odaklanırlar. Ticari akıllı aydınlatma sistemleri için en iyi örneklerden biri konutlar için geliştirilen akıllı LED lambalardır.

Enerji tasarrufu sağlayan akıllı aydınlatma sistemleri ise, enerji tasarrufu senaryoları ile işletilmektedir ve ayrıca maksimum enerji tasarrufu sağlamak için varlık ve gün ışığı sensörlerine sahiptirler ya da bu tip sensörler ile iletişim halindedirler. Enerji tasarrufuna odaklanmış bu sistemler genellikle ticari binalar için kullanılmakta ve %17 ila %60 arasında tasarruf potansiyeline sahiptirler [6].

Gelişmiş akıllı aydınlatma kontrol sistemleri, varlık ve günışığı kontrolünün yanında insan merkezli aydınlatma için gerekli sensörler ile donatılmış ve kontrolü için akıllı algoritmalara ve yapay zeka gibi uygulamalara ihtiyacı olan sistemlerdir. Gerekli hallerde üretilen ışığın kalitesini arttırmak, sirkadiyen ritmini düzenlemek [7], etkinlik faktörünü arttırmak [8], bitkiler için büyümeyi hızlandırmak [9] gibi birçok fayda sağlayabildikleri için endüstriyel uygulamalar, bahçecilik, mimarlık, bina yönetimi, ışık kalitesi kontrolü ve insan fizyolojisi üzerindeki araştırmalar üzerinde olumlu bir etkisi olacağı ve bu kapsamda geniş uygulama alanları bulabilecekleri ifade edilmektedir.

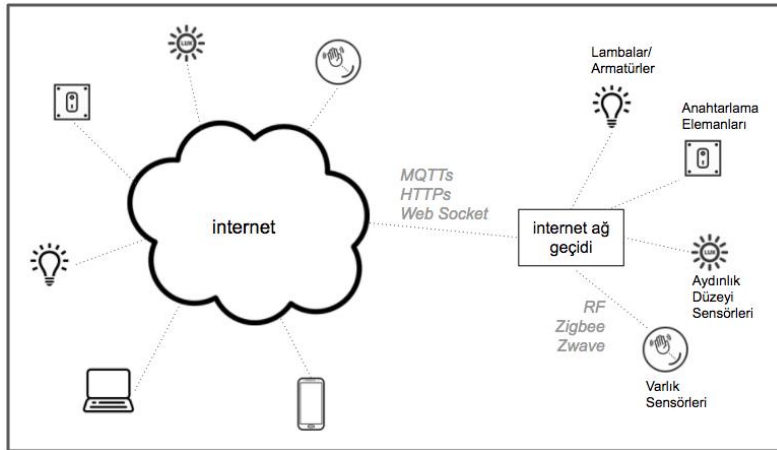
Günümüzde, yeni nesil akıllı aydınlatma sistemleri içerisinde en yaygın olanı ticari aydınlatma sistemlerinin bir ürünü olan akıllı LED lambalardır. Bunlar her ne kadar enerji tasarrufu sağlayan akıllı lambalar diye satılsa da içerdikleri kablosuz iletişim altyapısı yüzünden sahip oldukları bekleme güçlerinden dolayı fazla enerji de tüketebilmektedirler [10]. Bu sebeple, enerji tasarrufu sağlayan akıllı aydınlatma sistemlerinden çok ticari akıllı aydınlatma sınıfına girmektedirler. Son kullanıcıların internet üzerinden ya da marketlerden kolayca satın alabildiği bu tip lambaların tıpkı kompakt floresan lambalarda olduğu gibi belirli standartlarda üretimi, denetimi ve tüketicinin bilinçlendirilmesi konularında

gerekli çalışmalara ve yasal düzenlemelere ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, ticari akıllı aydınlatma sistemleri kapsamına giren akıllı LED lambalara odaklanarak yeni nesil akıllı aydınlatma sistemlerinin günümüzdeki durumu üstünlükleri ve sakıncaları dikkate alınarak incelenmiş, enerji verimliliği ve teknolojinin bu konudaki olası gelişimi baz alınarak akıllı aydınlatma sistemlerinin geleceği hakkında bilgiler verilmiştir.

3. NESNELERİN İNTERNETİ VE AKILLI AYDINLATMA

LED teknolojisinin ve nesnelerin internetinin paralel gelişimi, lamba veya armatürlerin herhangi bir ek altyapı gerektirmeksizin uzaktan kontrol

edilebilmesini, kullanıcıların kendilerinin oluşturabileceği senaryolar eşliğinde konut aydınlatmasının akıllı bir otomasyon alt yapısına sahip olabildiğini sağlamaktadır. IoT tabanlı yeni nesil aydınlatma kontrol sistemlerinde öncelikle kablolu bağlantı problemi ortadan kalkmıştır. Bu sayede, hem kolay kurulum hem de maliyetlerin düşürülmesi sağlanmıştır. IoT tabanlı çözümlerde her bir aydınlatma noktası kablosuz iletişim yöntemlerinden biriyle konutta bulunan internet çıkışından bulut sistemine ulaşmaktadır. Böylelikle tüm aydınlatma noktaları, mobil ve web tabanlı uygulamalar ile tek tek kontrol edilebilmektedir. Şekil 1’de IoT tabanlı akıllı aydınlatma sistemlerinin çalışma prensipleri gösterilmektedir.



Şekil 1. IoT tabanlı akıllı aydınlatma sistem mimarisi

Şekil 1’den de görüldüğü gibi IoT tabanlı aydınlatma kontrolünde kablolu yerine belirli protokoller ile kablosuz haberleşme sağlanmaktadır. Kablosuz haberleşme genel olarak iki şekilde gerçekleşmektedir. Birincisi, nesnelerin yani lamba, sensör ya da anahtarlama elemanlarının içerdikleri wi-fi modülleri ile direkt olarak internete bağlanabilmesidir. Bu sayede bu nesneler konutta bulunan wi-fi modem üzerinden internete çıkış yapmaktadır. İkincisinde ise modeme kablolu ya da kablosuz olarak bağlanmış bir ağ geçidi bulunmaktadır. Bu

ağ geçidi genelde 868 MHz ya da 2.4 GHz bantlarında RF modüller içermektedir ve nesneler wi-fi modülü yerine içerdikleri RF modülleri ile internet ağ geçidi üzerinden internete çıkış yapabilmektedir. Akıllı lamba olarak nitelendirilen ve IoT tabanlı çalışan lambalar genellikle Zigbee adı verilen 2.4 GHz bandında çalışan kablosuz iletişim standardını kullanmaktadır [11]. Günümüzde her iki yöntem de kullanılmakta olup, IoT teknolojisinin halen gelişmekte olması nedeni ile henüz tam standart bir altyapı oluşmamış, nesneler ve kullanıcı

ihtiyaçlarına göre çeşitli çözümler geliştirilmeye devam etmektedir.

Akıllı LED lambaların yaygınlaşması ile birlikte son yıllarda yapılan çalışmalar, kablosuz iletişim standartlarını belirlemekten daha çok bu tip lambaların teknik özelliklerini ele alan ve performans kriterlerini belirlemeye yönelik olmuş ve gerek Avrupa Birliği gerek dünya genelinde bir çok doküman ve rapor yayımlanmıştır.

3.1. Akıllı LED Lambalar için Performans Kriterleri

Son yıllarda hızla gelişen ve pazara girip yaygın olarak satılmaya başlayan LED lambalar, yeni aydınlatma tesisatları için kullanılmalarının yanı sıra özellikle mevcut akkor telli lambalar yerine birebir değişim yapılması amacıyla da tercih edilmektedirler. Sadece akkor telli lambalar için değil, KFL'ler ve diğer tüm benzer tipteki lambalar için de birebir değişim amaçlı kullanılmaları beklenmektedir. Bu kapsamda, kaliteli ve nitelikli ürünlerin pazara doğru şekilde sunulması ve tüketicilerin bilinçlenerek doğru ürünlere yönelmesi amacı ile birçok ülkede ve uluslararası düzeyde uzun yıllardır çalışmalar ve yasal düzenlemeler yapılmaktadır. Örneğin, LED lambaların konut aydınlatması için akkor telli lambalara alternatif olarak sunulmasına benzer bir durum, 20 yıldan fazla bir süre önce KFL'lar piyasaya sürüldüğünde yaşanmış ve beraberinde AB KFL Kalite Beyanı hazırlanmıştır. İlk KFL'leri satın aldıktan sonra birçok tüketici memnuniyetsizlik yaşamış ve teknolojiyi reddetmiştir. LED lambalar için de benzer sıkıntıların yaşanmaması ve

iyi kalite LED lambaların piyasaya sunulması ve kullanımının artırılması için Avrupa Komisyonu'nca Avrupa LED Kalite Beyanı hazırlanmıştır. Bu kapsamda, lamba etkinlik faktörü, ömrü, renksel özellikleri, enerji kalitesi ve boyutları gibi pek çok başlıkta akkor telli lambaların yerine kullanılacak LED lambalara özel performans kriterleri beyan edilmiştir. Özetlenecek olursa, 1500 lm'e kadar ışık akısına sahip lambaların etkinlik faktörleri 80 lm/W'ın üzerinde, ortalama ömürleri 15000 saatten fazla, renksel geriverim indeksleri 80'in üzerinde, renk sıcaklıkları 2600 K – 3500 K arasında, 2 W ile 25 W güce sahip lambaların güç faktörlerinin de 0,50'nin üzerinde olması istenmektedir [12].

2013 yılında, AB tarafından "Energy Labelling Directive" kapsamında yayımlanan "Ecodesign and Energy Label Regulation for Domestic Lighting" dokümanı, AB LED Kalite Beyanı'ndaki kriterlere paralel olmakla birlikte lambaların enerji tüketimlerine göre nasıl etiketleneceği de açıklamakta, lamba etkinlik faktörlerine yönelik kriterler için ise 2016 yılında UEA tarafından yayımlanan, Enerji Verimli Nihai Tüketim Ürünleri: Katı Hal Aydınlatma Eki'nde belirtilen değerlere referans vermektedir [13]. UEA tarafından konutlarda kullanılan LED lambalar için hazırlanan dokümanda, üç adet performans kademesi oluşturulmuş ve her bir kademe için AB LED Kalite Beyanı'na benzer şekilde enerji verimliliği, ömür, renk, işletme, sağlık ve çevre gibi pek çok başlıkta performans kriterleri belirlenmiştir. AB ve UEA dokümanlarınca tanımlanan kriterler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AB LED Kalite Beyanı ve UEA LED Performans Kademelerine İlişkin Kriterler

	AB LED Kalite Beyanı	UEA LED Performans Kademeleri		
		Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3
Etkinlik Faktörü	>80 lm/W	>65 lm/W	>90 lm/W	>125 lm/W
Renksel Geriverim	Ra>80	Ra≥80	Ra≥80	Ra≥85
Renk Sıcaklığı	2600 – 3500 K	2200 – 6500 K için dokümanda belirtilen toleranslara uygun olmalıdır.		
Güç Faktörü	>0,50	>0,50	>0,50	>0,50
Bekleme Gücü	-	0,5 W	0,3 W	0,2 W

Tablo 1’den görüldüğü üzere, LED lambaların etkinlik faktörleri, renksel geriverimleri ve güç faktörleri için minimum değerler ile uygun renk sıcaklıklarına ilişkin değerler tanımlanmıştır. UEA dokümanında, AB dokümanından farklı olarak akıllı LED lambaların bekleme güçleri için de kriterler tanımlanmıştır. Akıllı LED lambaların yaygınlaşmaya başlaması ile birlikte 2016 yılında da, “Akıllı

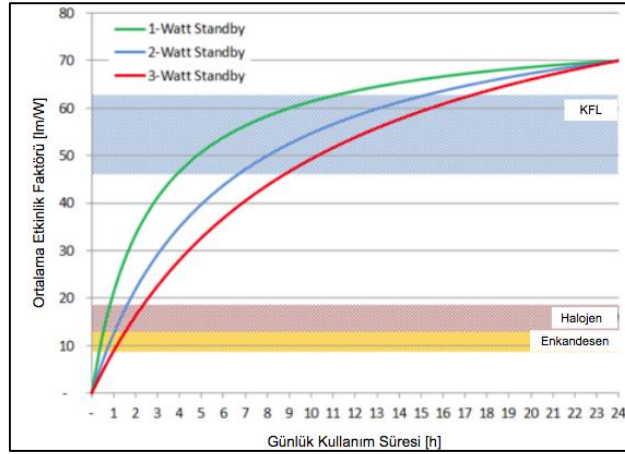
Aydınlatma – Enerji Tüketimine Etki Eden Yeni Özellikler” başlığı altında başka bir dokümanda akıllı LED lambalar detaylı olarak ele alınmıştır [14]. Bu kapsamda, bekleme güçlerine sahip olan akıllı LED lambalar için Ortalama Etkinlik Faktörü (Overall Efficacy Factor) tanımlanmıştır. Buna göre Ortalama Etkinlik Faktörü 1 nolu denklemdeki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{Ortalama Etkinlik Faktörü} = \frac{\text{Lamba Işık Akısı} \times \text{İşletme Süresi}}{(\text{Lamba Gücü} \times \text{İşletme Süresi}) + (\text{Bekleme Gücü} \times \text{Bekleme Süresi})} \quad (1)$$

4. AKILLI LED LAMBALARDA ENERJİ TÜKETİMİ

Literatürde yapılan kapsamlı çalışmalar incelendiğinde piyasadan alınan akıllı LED lambalar ile yapılan ölçümlere göre bu lambaların bekleme güçleri, içerdikleri kablosuz iletişim teknolojisine bağlı olarak 0,15 W ila 2,71 W arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir [10,14]. Türkiye pazarından temin edilebilen akıllı lambalar incelendiğinde ise, bekleme güçlerinin 0,3 W ila 0,95 W arasında değiştiği tespit edilmiştir [15]. Dolayısıyla, UEA LED performans kademelerine uymayan, yüksek bekleme gücüne sahip akıllı LED lambaların günlük 1-2 saat kullanımı dışında geriye kalan 22-23 saatlik bekleme süresi için tüketilen enerjinin lambanın toplam enerji

tüketimi içerisinde önemli bir paya sahip olacağı söylenebilir. UEA’nın ilgili dokümanında tanımlanan ortalama etkinlik faktörü değeri de tam bu tip lambaların günlük kullanım sürelerini dikkate alarak hesaplanan bir etkinlik faktörüdür. 1 nolu denklemde verilen eşitlikten de görüleceği üzere, lambanın bekleme gücü ve günlük işletme süresi ortalama etkinlik faktörünün en belirleyici parametreleridir. Akıllı LED lambaların bekleme güçlerinin değişkenlik gösterdiği düşünüldüğünde 10 W gücünde ve 700 lümen ışık akısına sahip bir akıllı LED lambanın 1, 2 ve 3 W bekleme gücüne sahip olması durumunda 1 nolu denklem ile elde edilen ortalama etkinlik faktörlerine ilişkin grafik Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. 10W gücünde 700 lm ışık akısına sahip akıllı LED lambaların farklı bekleme güçleri için ortalama etkinlik faktörü değerleri [13]

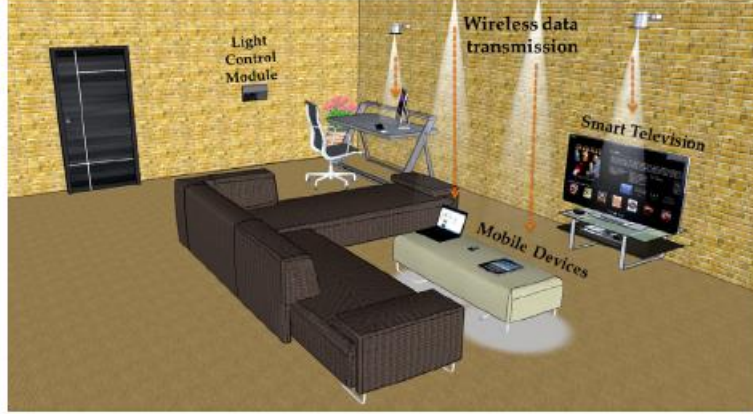
Şekil 2'deki grafikten günlük 1-2 saat kullanılan akıllı LED lambaların ortalama etkinlik faktörlerinin bekleme güçlerine göre değişiklik göstermekle birlikte bir akkor telli veya halojen lambadan daha düşük değerlerde olabildiği görülmektedir. Grafığe göre, 1 W bekleme gücüne sahip bir lambanın en düşük etkinlik faktörüne sahip (~46 lm/W) bir KFL'den daha iyi ortalama etkinlik faktörüne sahip olabilmesi için günlük en az 4 saat, en iyi etkinlik faktörüne sahip (~63 lm/W) KFL'den daha iyi olabilmesi için ise günlük en az 11 saatten fazla işletmede olması gerekmektedir. Bu durum bekleme güçleri arttıkça daha olumsuz olarak etkilenmektedir. Özetle bekleme gücü, akıllı LED lambaların toplam enerji tüketiminde belirleyici bir faktör olmaktadır. Özellikle konutlarda kullanılan akıllı lambalar, bu durumda enerji tasarrufları ile değil daha çok mobil uygulamalar aracılığıyla kontrol edilebilme, loşlaştırma, değişik renk seçenekleri ve farklı senaryolar yaratabilme gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadırlar. Konutlarda kullanılan akıllı LED lambalar dışında ofisler gibi farklı bina tiplerinde kullanılan akıllı aydınlatma sistemleri uzaktan kontrolün yanında daha çok enerji tasarrufuna odaklanan sistemler olacağından, aydınlatmanın gün içinde uzun saatler kullanıldığı bu sistemlerde bekleme

güçlerinin klasik aydınlatma otomasyonundan daha fazla bir yük getirmeyeceği söylenebilir.

5. AKILLI AYDINLATMANIN GELECEĞİ

Nesnelerin interneti ile beraber gelen yeni nesil kontrol ve otomasyon yaklaşımının yanı sıra, günümüz teknolojisinin getirdiği ve yakın gelecekte daha da sık karşılaşılabileceğimiz bir başka konu da Görünür Işık İletişimi (VLC-Visual Light Communication)'dir. Özellikle ışık kaynaklarının analog yapıdan dijital yapıya geçiş yapmasıyla, artık aydınlatmanın olduğu her yerde veri aktarımından bahsedilebiliyor olacaktır [16]. VLC sistemleri ışık kaynaklarının birer Li-Fi modem olarak kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. LED'ler, birkaç MHz'den GHz'e kadar olan elektrik bant genişlikleri arasında değişen yüksek anahtarlama kabiliyeti nedeniyle on yıllardır optik haberleşmede kullanılmıştır. Örneğin, kızıl ötesi (IR-infrared) haberleşme sistemleri bu mantıkla çalışmaktadır. Günümüzde iç mekan aydınlatmasında kullanılan LED ışık kaynaklı armatürler bunu kızıl ötesi değil görünür ışık ile yapabilmektedir. İletilmek istenen veri LED kullanılarak modüle edilirken, alıcıya yerleştirilen foto algılayıcılar da görünür ışığa yerleştirilen bilgiyi de-modüle ederek bilginin

iletilmesini sağlamaktadır. Şekil 3'te VLC olarak gösterilmektedir. içeren bir akıllı aydınlatma sistemi örnek



Şekil 3. VLC içeren akıllı aydınlatma sistemi [5]

VLC dışında, günümüz teknolojisinin sunduğu başka bir avantaj Görünür Işık Konumlandırması (VLP – Visual Light Positioning) olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle GPS sistemlerinin etkin olamadığı iç mekanlarda, Wi-Fi yerine VLP yöntemleri ile iç mekan konumlandırması yapılabilmektedir [17]. Dolayısıyla gelecekte, akıllı aydınlatma olarak tanımlanan aydınlatma sistemleri sadece aydınlatma kontrol ve otomasyonu merkezli değil, bilgi iletimi, veri haberleşmesi ve iç mekan konumlandırma gibi başka bir çok konuda aktif sistemler olacaktır. Ancak veri iletiminin söz konusu olduğu bir akıllı aydınlatma sisteminde güvenliğin çözülmesi gereken bir sorun olarak ortaya çıkacağı ifade edilmektedir [18].

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Yeni nesil akıllı aydınlatma sistemlerinin bileşenleri olarak tanımlayabileceğimiz sensör ağları, bütünleşik sensörler, kullanıcılardan gelen geri bildirimler, bulut hizmetleri, akıllı algoritmalar nesnelerin interneti ile çok daha kolay, hızlı ve ekonomik bir şekilde hızla yaygınlaşarak geleneksel aydınlatma kontrolünün evrimleşmesine ve böylece enerji tasarrufu, işlevsellik ve kullanıcı merkezli aydınlatma konularında gelişime sebep olmuştur. Özellikle konutlarda kullanılan ticari akıllı aydınlatma sistemi

olarak tanımlanan akıllı LED lambaların hızla yaygınlaştığı görülmektedir. Öte yandan, bekleme gücüne sahip bu LED lambalar kullanım sürelerine bağlı olarak ek bir enerji tüketimini de beraberinde getirmektedir. Günlük kullanım süreleri kısa olan akıllı LED lambaların tüketeceği enerji miktarı bir akkor teli ya da halojen lambanın tükettiği enerji kadar olabilmektedir. Bu sebeple, bu tip akıllı aydınlatma sistemleri için hem fotometrik hem renksel hem de enerji tüketimi için hedef değerler öneren bir çok doküman ve rapor yayımlanmıştır. Ayrıca, VLC teknolojisinin aydınlatma sistemlerine entegrasyonu ile kablosuz veri iletiminin gelecekte günlük hayatımıza girmesi beklenmektedir. Yeni nesil akıllı aydınlatma sistemleri sadece izleme, kontrol ve otomasyon merkezli değil, telekomünikasyon ve insan sağlığı gibi konuları da kapsıyor olacaktır. Sonuç olarak, yeni nesil akıllı aydınlatma sistemleri, ancak kullanım amaçlarının iyi düşünülerek tasarlandığı ve buna uygun akıllı algoritmalar ile donatılarak düzgün işletildiği durumlarda istenilen sonuçları verebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Wikipedia, “Nesnelerin İnterneti”, https://tr.wikipedia.org/wiki/Nesnelerin_in_terneti, Erişim tarihi: 17.09.2019
- [2] F. Xia, L.T. Yang, L. Wang, A. Vinel, “Internet of Things”, *Int. J. Commun. Syst.* 25 (9) (2012) 1101.
- [3] S. Wang, X. Ruan, K. Yao, S.-C. Tan, Y. Yang, Z. Ye, “A flicker-free electrolytic capacitor-less ac-dc led driver”, *IEEE Trans. Power Electron.* 27 (11) (2012) 4540–4548.
- [4] Amy Nordrum, “Popular Internet of Things Forecast of 50 Billion Devices by 2020 Is Outdated”, <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/internet/popular-internet-of-things-forecast-of-50-billion-devices-by-2020-is-outdated>, Erişim tarihi: 17.09.2019
- [5] Chew I, Karunatilaka D., Tan C. P., Kalavally V., “Smart lighting: The way forward? Reviewing the past to shape the future”, *Energy and Buildings*, 149 (2017), 180–191.
- [6] B. Von Neida, D. Manicria, A. Tweed, “An analysis of the energy and cost savings potential of occupancy sensors for commercial lighting systems”, *J. Illum. Eng. Soc.* 30 (2) (2001) 111–125.
- [7] J.H. Oh, S.J. Yang, Y.R. Do, “Healthy, natural, efficient and tunable lighting: four-package white leds for optimizing the circadian effect, color quality and vision performance”, *Light Sci. Appl.* 3 (2) (2014) e141.
- [8] R.F. Karlicek, “Smart lighting-beyond simple illumination,” 2012 IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting Series, IEEE (2012) 147–148.
- [9] G.D. Massa, H.-H. Kim, R.M. Wheeler, C.A. Mitchell, “Plant productivity in response to led lighting”, *HortScience* 43 (7) (2008) 1951–1956.
- [10] Dikel E. E., Li Y. E., Vuotari M., Mancini S., “Evaluating the Standby Power Consumption of Smart LED Bulbs, *Energy and Buildings*, 186 (2019), 71-19.
- [11] Zigbee Alliance, www.zigbee.org, Erişim tarihi: 17.09.2019
- [12] EU Commission, “LED Quality Charter”, 2011.
- [13] IEA, “Energy Efficient End-Use Equipment, Solid State Lighting Annex Task 6: Product Quality and Performance Tiers for Non-Directional Lamps”, 2016.
- [14] IEA, “Energy Efficient End-Use Equipment, Solid State Lighting Annex Task 7: Smart Lighting – New Features Impacting Energy Consumption”, 2016.
- [15] Erkin E., Onaygil O., “Akıllı Led Lambaların Teknik ve Ekonomik Analizi”, 12. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 18-19 Eylül 2019, İstanbul.
- [16] H. Haas, L. Yin, Y. Wang, C. Chen, “What is lifi?”, *J. Lightw. Technol.* 34 (6) (2016) 1533–1544.
- [17] Y.-S. Kuo, P. Pannuto, K.-J. Hsiao, P. Dutta, Luxapose, “Indoor positioning with mobile phones and visible light”, *Proceedings of the 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom’14, ACM, New York, NY, USA, 2014*, pp. 447–458.
- [18] Ry Crist, “Hackers find security weaknesses with the Lifi smart LED”, <https://www.cnet.com/news/hackers-discover-security-weaknesses-within-the-lifi-smart-led/>, Erişim tarihi: 17.09.2019