

Televizyonların Arka Işık Sistemlerinde Kullanılan LED Fosfor Teknolojilerinin Güvenirlik ve Renk Doğruluğu Üzerine Etkileri

Effects of LED Phosphor Technologies Used in Television Backlight Systems on Reliability and Color Accuracy

^{1,2}Olcay SARIBIYIK , ^{1,3}Ramazan AYZAZ 

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, İstanbul, Türkiye

²Arçelik A.Ş., Ar-Ge Sistem Tasarım, İstanbul, Türkiye

³Yıldız Teknik Üniversitesi, Temiz Enerji Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

¹sarbykolcay@gmail.com, ³ayaz@yildiz.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 19 September 2024

Accepted : 12 October 2024

Keywords:

LED Television, Phosphor Technology, Television Backlight System, Reliability Analysis, Junction Temperature

ABSTRACT

This study examines LED bars composed of LEDs with YAG (Yttrium Aluminum Garnet) and KSF (K₂SiF₆:Mn⁴⁺) phosphors, commonly used in televisions, for reliability under different environmental conditions and driving currents. The ambient temperature is kept high in the first scenario while applying a low LED current. In the second scenario, a low ambient temperature with a high LED current is applied. Microscopic images of each LED are taken both before and after the tests in both scenarios. Additionally, during the tests, periodic checks are conducted to record the junction temperatures of the LEDs. The point at which each LED failed is documented, and reliability analysis is performed using the Reliasoft program to estimate their approximate lifetimes. The analysis shows that under high current conditions, LEDs are at risk of premature degradation, but durable chips can have a long lifetime. On the other hand, high temperature conditions accelerate the degradation process of LEDs. LEDs, which are especially weak in production processes, fail faster under high current and temperature.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 19 Eylül 2024

Kabul : 12 Ekim 2024

Anahtar Kelimeler:

LED Televizyon, Fosfor Teknolojisi, Televizyon Arka Işık Sistemi, Güvenirlik Analizi, Jonksiyon Sıcaklığı

ÖZET

Bu çalışmada, televizyonlarda kullanılan (Yttrium Aluminum Garnet) ve KSF (K₂SiF₆:Mn⁴⁺) fosforlu LED'lerden oluşan LED barlar farklı ortam koşulları ve sürme akımlarında çalıştırılarak güvenilirlik açısından incelenmiştir. Birinci durumda ortam sıcaklığı yüksek tutulurken düşük LED akımı uygulanmış, ikinci durumda ise düşük ortam sıcaklığında yüksek LED akımı uygulanmıştır. Her iki durumda da test öncesi ve test sonrası her bir LED'in mikroskop görüntüleri alınmıştır. Ayrıca her durumda LED'ler periyodik olarak kontrol edilerek LED'lerin jonksiyon sıcaklıkları kaydedilmiştir. Kontrol sırasında LED'lerin testin kaçınıcı saatinde bozulduğu kayıt altına alınarak Reliasoft programında güvenilirlik analizi yapılmış ve yaklaşık ömürleri tahmin edilmiştir. Analiz sonucuna göre yüksek akım altında LED'ler erken bozulma riski taşısa da dayanıklı çipler uzun ömürlü olabilmektedir. Buna karşın, yüksek sıcaklık koşulları LED'lerin bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Özellikle üretim süreçlerinde zayıf kalan LED'ler, yüksek akım ve sıcaklık altında daha hızlı arıza göstermektedir.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Televizyon üreticileri yıllar önce enerji verimliliği ve televizyonların fiziksel olarak incelenmesinin getireceği estetik faydalar nedeniyle katot tüplü floresan lambalardan LED tipi ışık kaynaklarına geçiş için çalışmalara başlamıştır. Bu bağlamda 2005 yılında SONY firması kırmızı, yeşil ve mavi LED çiplerinin kombinasyonunu kullanarak üç renkli beyaz ışık yayan televizyonu tanıtır ve piyasaya sunar [1, 2]. Ancak RGB LED teknolojisi geniş renk yelpazesi sunan soğuk katot tüplü lambalardan daha geniş bir renk sunmasına rağmen teknoloji hiçbir zaman yükselmez. Çünkü maliyeti, ağırlığı, boyutu ve zaman içinde görüntüde neden olduğu düzensizliği ve nispeten düşük enerji verimliliği gibi dezavantajları vardı [3].

Beyaz ışık yayan LED'ler üzerine çalışmalar devam etmiştir. Bu çalışmalar sonucunda ultraviyole veya mor LED çipi ve ultraviyole ışığı emen bir fosfor yapısı önerilmiştir. Tabuchi [4] ultraviyole ve mor ışık yayan LED çip üzerindeki şeffaf cam yüzey üzerine kaplanmış bir fosfor tabakasını önermiştir. Bu yaklaşımla birlikte insan gözünün spektral hassasiyetine daha uygun ışık üretmek mümkün olmuştur. Ancak önerilen bu yöntem de piyasada beklenen karşılığı bulamadı çünkü ultraviyole ışığın dönüşümü büyük bir dalga boyu kayması gerektirdiğinden bazı verimlilik sorunlarına neden olabilmektedir.

Sektörde kabul görmüş olan diğer bir yöntem ise kısmi dönüştürme olarak da literatürde tanımlanan mavi LED çipi üzerine konumlandırılmış fosfor tabakası ile elde edilen beyaz ışıktır. Bu yöntem ile mavi ışık fosfor tarafından emilir ve iletilir, ancak fosfor üzerinde bulunan yeşil ve kırmızı parçacıklar mavi ışığın emilip kırmızı ve yeşil olarak iletilmesine yardımcı olur böylelikle beyaz ışık elde edilmiş olur [5, 6]. Ancak yapılan çalışmalar sonucunda mavi LED'lerin zorlu koşullarda organik fosforlarla güvenilir şekilde çalışamayacağı anlaşılır [7, 8]. Bu kapsamda daha güvenilir inorganik fosforlar üzerine çalışmaya başlayan Shimuzu ve ekibi tarafından Seryum katkılı Yitrium-Alüminyum Garnet (YAG-CE) bileşiğine sahip inorganik bir fosfor ortaya konulur [9].

Televizyon, cep telefonu, bilgisayar gibi cihazların ekranlarında kullanılan LED'lerin, bu cihazların kullanıcılarından gelen taleplere uygun olmalıdır. Bu nedenle LED'lerin daha iyi renk gamına ve renk doygunluğuna sahip olması beklenmektedir. Bu amaçla spektrumda daha keskin kırmızı, yeşil ve mavi piklere sahip LED çipler araştırılmış ve bu bağlamda Yitrium Alüminyum Garnet fosforlara alternatif olarak Adachi ve Takahasi 2008 yılında $K_2SiF_6:Mn^{4+}$ 'yı önermiştir [10, 11].

Televizyonların yıllık satış adetleri her geçen gün artmaya devam etmektedir ve televizyonlar bir iletişim aracından daha çok eğlence sistemi olarak algılanmaya başlanmıştır. Bu durum çok sayıda televizyonun gün içinde uzun süre boyunca kullanılmasına neden olmuştur. Televizyonların güç tüketiminin büyük kısmından sorumlu olan LED'ler çok daha fazla termal strese maruz kalmaktadır ve bozulmaya en yakın parça olarak öne çıkmaktadır. Televizyonların yukarıda belirtildiği gibi çok uzun süre kullanılması üreticiler için büyük bir satış fırsatı getirmesinin yanında garanti giderlerinin artması riski olarak geri dönmektedir.

Son yıllarda LED teknolojisinin sağladığı enerji verimliliği ve maliyet avantajları nedeniyle birçok sektörde LED kullanımı artmıştır. Her sektörde olduğu gibi televizyon sektöründe de LED'lerin kullanımı çok hızlı sürede yaygınlaşmış hatta günümüzde neredeyse tüm ürün gamını kapsamaktadır. Bu talep ve kullanım oranı da LED teknolojisindeki gelişmeleri daha da hızlandırmaktadır. Teknolojideki gelişimler kullanıcıların istek ve şikayetleri doğrultusunda şekillenmektedir. Televizyonlar günümüzde artık bir iletişim aracından çok evlerde eğlence sistemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle televizyonlar son kullanıcıların günlük rutin hayatlarının önemli parçası haline gelmiştir ve çok daha özel istekler ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda kullanıcılar oyun oynama, film izleme gibi aktivitelerde maksimum görsel kalite deneyimi yaşamak için tüm renklerin doğruluğunu çok fazla önemsemektedir. Görsel kalite ve renk doğruluğunu etkileyen en önemli faktör ise televizyonda kullanılan LED'lerdir. Bu kapsamda üreticiler yeni nesil LED çiplerinde farklı yapılarda fosfor tabakaları kullanmaktadır. Bunun yanı sıra fosfor içermeyen mavi LED'lerle birlikte kullanılan Kuantum filmler de kullanılmaktadır. Kuantum noktaların (Quantum-Dot) ekran teknolojisinde kullanılabilirliği konusundaki deneyler ilk olarak 1982 yılında yapılmıştır. Bu deneylerde kuantum noktalarının küçük boyutlarına bağlı olarak renkleri kontrol etme yeteneği gösterilmiş ve bu, daha sonraki ekran teknolojileri için temel oluşturmuştur [12]. Bu konuda yapılan çalışmalar uzun yıllarca devam etmiş ve ilk ticari ürün SONY firması tarafından 2013 yılında CES'da (Consumer Electronics Show) tanıtılmıştır [13]. Bu konuda daha sonrasında renk gamını daha da arttıracak yöntemler ve hassas ayarlamalar üzerine yapılan çalışmalar ile QDEF ismi verilen bir kuantum nokta içerikli film tanıtılmıştır. Bu film özellikle mavi ve yeşil renkler üzerinde etkili olarak konvansiyonel teknolojilere nazaran çok daha yüksek renk gamı sağlamaktadır [14].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte her bir yöntem farklı zamanlarda ve farklı oranlarda piyasada uygulanmaya başlanmıştır. Her bir yöntemin avantaj ve dezavantajlarına göre sürdürülebilirliği değişkenlik göstermiştir. Özellikle kuantum içerikli filmlerin sahip olduğu yüksek teknoloji ve hassas üretim süreçleri bu teknolojinin en yüksek renk gamı sağlamasına rağmen maliyet olarak hala fosfor çözümlerine göre çok yüksek olmasına neden olmuştur. Fiyat rekabetinin her geçen gün daha da arttığı günümüzde televizyon sektöründe en yaygın olarak kullanılan teknoloji; YAG ve KSF fosforlara sahip mavi renkli LED çipleri olmuştur [15]. Bu çalışmada, piyasada en yaygın kullanılan KSF ve YAG fosfora sahip LED barlar fırın ortamında 3600 saat test edilmiştir. Test öncesinde her bir numunenin mikroskop görüntüleri alınarak test sonrası durumları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca test edilen numuneler ile aynı özelliklere sahip referans LED barlar ile test sonucunda optik ölçümler karşılaştırılmıştır. Böylece test sonucuna göre spektrum ve parlaklıktaki degradasyonlar karşılaştırılmıştır. Test nominal televizyon koşullarında ve ekstrem koşullarda tekrarlanmıştır, her iki durumda da yukarıda belirtilen

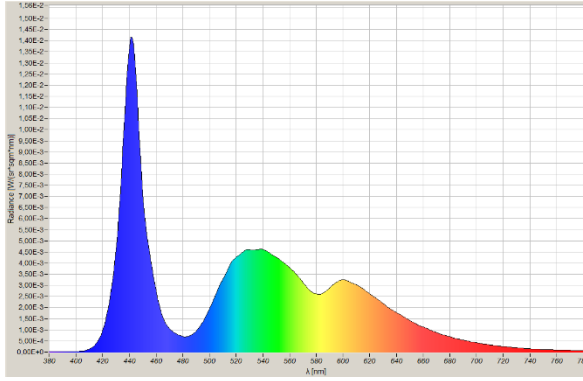
ölçümler tekrarlanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda uzun süreli kullanımlarda KSF ve YAG fosforun degradasyon oranları karşılaştırılmıştır ve Reliasoft programı ile yaklaşık ömür tahminleri yapılmıştır. Böylece LED'lerin dayanım riskleri ortaya koyularak, kazanılan geniş renk gamına karşılık, düşük yaşam döngüsü riski ortaya konulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde materyal ve metot anlatılmış, üçüncü ve dördüncü bölümde ölçüm ve güvenilirlik analiz sonuçları verilmiştir. Son bölümde ise sonuç başlığı altında genel değerlendirmeler sunulmuştur.

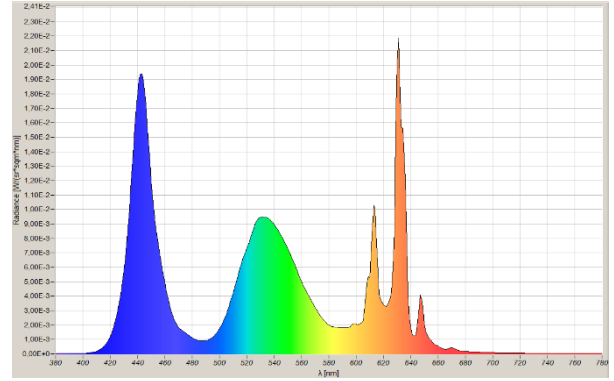
2. MATERYAL ve METOD

2.1. Renk Gamı ve Spektral Güç Dağılımı

Günümüzde televizyonların akıllı (smart) fonksiyonları kazanması ve işletim sistemlerinin gelişmesi ile bir iletişim aracı olmaktan çıkıp evlerde eğlence ekranları olarak kullanılmasının yolunu açılmıştır. Bu da müşterilerin temel fonksiyonlar dışında daha gelişmiş özellikler talep etmesine sebep olmuştur. Kullanıcılar televizyonlardaki ses ve görüntü özelliklerinden maksimum faydalanmayı istemesi nedeniyle rekabette öne çıkmayı isteyen TV üreticileri farklı teknolojileri kullanmaya yönelmiştir. Müşterilerin talep ettiği en önemli özelliklerden birisi olan renk doğruluğu direkt olarak televizyonun arka aydınlatma sistemi ve kullanılan ekran teknolojisi ile alakalıdır [16]. LED'lerin sahip olduğu fosfor tabakasına göre verebileceği renk gamı (color gamut) değişkenlik göstermektedir. Bu da öndeki ekranın renk filtresine göre değişkenlik gösteren bir etkileşim sonucu izleyiciye aktarılmaktadır. Aktarılan bu renk ekranın renkleri gösterebilme kapasitesini göstermektedir. Bu kapsamda YAG ve KSF fosforlar arasında spektral ışınma güçleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Şekil 1 ve Şekil 2'de KSF ve YAG fosforlara sahip LED ışık kaynaklarının spektral güç dağılımları verilmiştir.



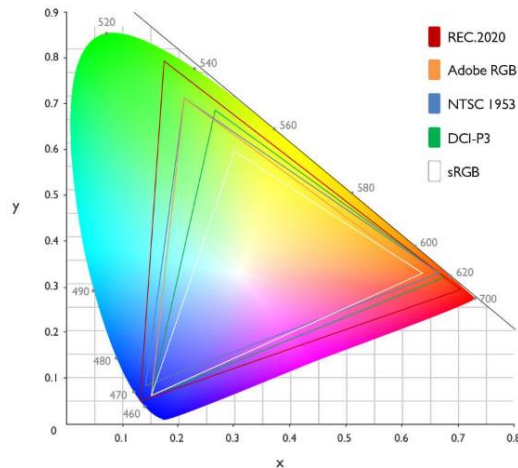
Şekil 1. YAG fosfora sahip LED çipler ile oluşturulmuş arka aydınlatma sistemine sahip televizyonun spektral güç dağılımı



Şekil 2. KSF fosfora sahip LED çipler ile oluşturulmuş arka aydınlatma sistemine sahip televizyonun spektral güç dağılımı

Şekil 1 ve Şekil 2'den de açıkça görüldüğü üzere KSF fosfora sahip LED'lerde mavi, yeşil ve kırmızı renklere gelen dalga boylarındaki pikler daha keskindir. Bu da KSF fosfora sahip LED'ler ile oluşturulan arka aydınlatma sistemlerinin daha geniş renk yelpazesine sahip olduğunu göstermektedir.

Televizyon, monitör, kamera gibi cihazların renk yelpazelerini tanımlamak için çeşitli standartlar geliştirilmiştir. Sektörde renk yelpazesini tanımlamak için renk gamı ifadesi kullanılmaktadır. Renk gamı bir cihazın üretebileceği renk aralığı olarak tanımlanabilir ve bu farklı standartlarca, farklı aralıklar olarak tanımlanmıştır. Şekil 3'te verilen CIE 1931 renklilik diyagramında sektörde sıkça kullanılan renk gamları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir [17].



Şekil 3. CIE1931 renklilik diyagramında oluşturulan renk gamı standartları [17, 18].

Şekil 3'te görüleceği üzere CIE1931 renklilik diyagramı üstünde çok sayıda renk gamları tanımlanmıştır. Bu renk gamları farklı alanlar için geliştirilmiş olup, televizyon vb. cihazlar için sektörde en sık kullanılan renk gamı olan NTSC (National Television System Committee, Ulusal Televizyon Sistem Komitesi) ilk olarak 1953 yılında ulusal televizyon sistem komitesi tarafından duyurulmuştur [19].

Bu çalışmada kullanılan TVlerin renk gamı ölçümleri için Şekil 4'te verilen ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Ölçüm düzeneği YAG ve KSF fosfora sahip LED'ler ile oluşturulmuş arka aydınlatma sistemlerine sahip televizyonlar ve spektrometre cihazından (Jeti Lival Sectraval 1511) oluşmaktadır. Bu ölçüm düzeneğinde televizyonlarda tek renk kırmızı, yeşil, mavi ve beyaz renk veren içerikler açılarak spektrometre aracılığıyla ölçümler alınmış ve her bir renkte alınan ölçümlerin x ve y koordinat değerleri kaydedilmiştir.

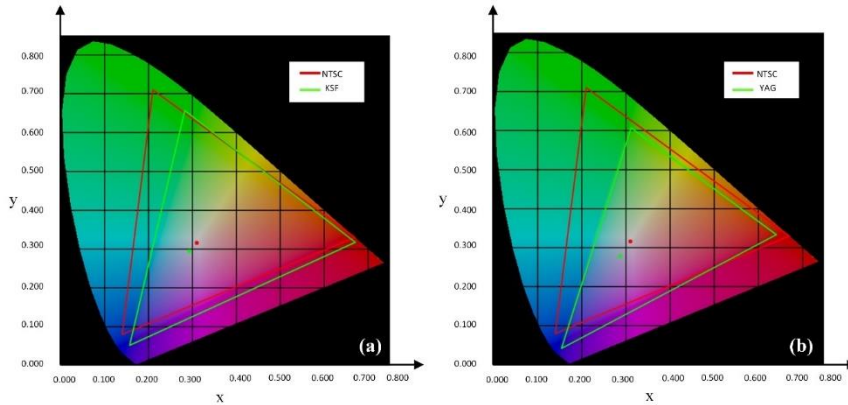


Şekil 4. Renk gamı ölçüm düzeneği.

Tablo 1. NTSC standardının belirlediği referans x ve y koordinatları.

	x	y
Kırmızı	0,67	0,33
Yeşil	0,21	0,71
Mavi	0,14	0,08
Beyaz nokta	0,31	0,316

NTSC standardında belirtilen referans x ve y koordinat değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Farklı ekran renkleri için alınan ölçüm değerleri referans x ve y koordinat değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma KSF ve YAG fosfor için Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. a) KSF ve b) YAG fosfora sahip LED çiplerle tasarlanmış arkadan aydınlatmalı sisteme sahip televizyonun NTSC renk gamı ile karşılaştırılması.

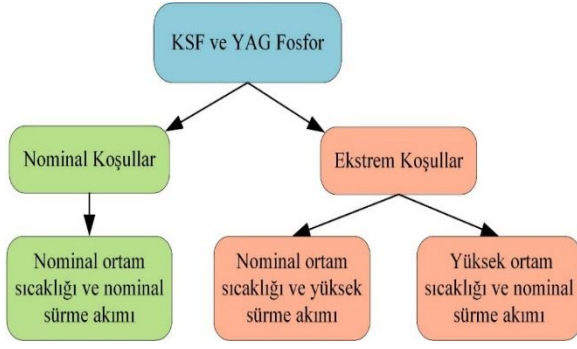
Şekil 5'te kırmızı renk ile gösterilen renk gamı alanı CIE1931 renklilik diyagramı üzerinde NTSC renk gamının kapladığı alanı göstermektedir. Yeşil ile gösterilen alan ise televizyondan ölçtüğümüz değerlere göre renklilik diyagramında kapladığı alanı göstermektedir. Ölçüm sonuçlarına göre KSF fosforlu LED çip ile oluşturulan sistemin renk gamı kapsama oranının %79,59; YAG fosforlu LED çip ile oluşturulan sistemin renk gamı kapsama oranının ise %67,65 olduğu görülmüştür.

Bu ölçümlerden de anlaşılacağı üzere KSF fosfora sahip LED çiplerin verebildiği renk yelpazesi daha geniştir. Bu durum daha geniş renk yelpazesi sunulması beklenen projelerde KSF fosforun kullanılması anlamına gelmektedir. Ancak TV üretiminin ve satışının çok fazla artması ve kullanıcıların TV kullanım senaryolarının değişmesi nedeniyle gün içerisinde daha uzun saatler televizyonların çalışması bu iki fosfor türünün dayanım açısından da incelenmesi gerekliliğini doğurmuştur. Bu bağlamda farklı ortam sıcaklığı ve sürme akımı koşullarında ölçümler yapılmıştır.

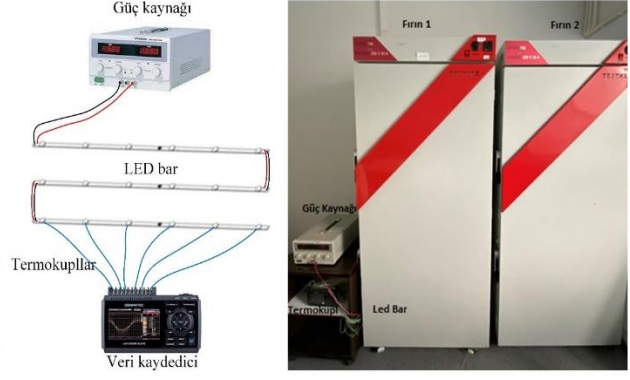
2.2. Ölçüm Düzeneği

Televizyonlarda kullanılan YAG ve KSF fosforlu LED'lerden oluşan LED barlar farklı ortam koşulları ve sürme akımlarında çalıştırılarak nominal ve zor koşullar altında güvenilirlik açısından incelenmiştir. Birinci durumda LED barlara nominal sıcaklıkta nominal sürme akım uygulanırken, ikinci koşulda ise LED'ler zorlu koşullara tabii tutulmuştur. Bu koşullardan ilki yüksek ortam sıcaklığı altında nominal akım ile LED'lerin sürülmesi, diğer koşul

ise nominal ortam sıcaklığında yüksek akım ile LED'lerin sürülmesidir. Yapılan ölçümlere ait akış diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Yapılan ölçümlere ait akış diyagramı.



Şekil 7. Örnek LED bar bağlantısı ve ölçüm düzeneği.

Farklı fosfor teknolojilerine sahip ve farklı markalara ait LED barlar bir güç kaynağı ile sürülmektedir. Örnek bir LED bar bağlantı şekli sıcaklık ölçümlerine ait test düzeneği Şekil 7'de verilmiştir. Ölçüm düzeneğinde güç kaynağı olarak GWINSTEK GPR-30H10D modeli, termokupl ve veri kaydedici olarak GRAPHTEC midi LOGGER GL240, fırın olarak ise TESTMAK laboratuvar fırını kullanılmıştır. LED'lerin ömürlerini etkileyen en önemli faktör jonksiyon sıcaklığı değeridir. Bu değere etki eden en önemli dış faktör ortam sıcaklığı ve LED'in sürme akımıdır. Bu nedenle testlerde fırınların ikisi de aynı anda kullanılmakta olup, fırınların birinde nominal TV sıcaklığında LED'lere yüksek akım uygulanmış, diğer fırında ise LED barlar yüksek ortam sıcaklığına maruz bırakılmış ancak LED'lere düşük akım uygulanmıştır.

Teste tabii tutulan LED'lerin katalog özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Burada, üç farklı markaya ait LED barlar KSF ve YAG fosforlu olmak üzere A, B, C, D, E ve F olarak isimlendirilmiştir. Farklı markaların farklı özelliklere sahip ürünleri kullanılarak marka ve LED'lerin farklı üretim tarihlerindeki farklı karakteristik özellik deviasyonuna bağlı hataların ölçüm sonucunu etkileme olasılığı minimize edilmiştir.

Tablo 2. Ölçümlerde kullanılan LED'lerin elektriksel ve termal özellikleri.

LED Barlar	Sürme Akımı (mA)	Maksimum Jonksiyon Sıcaklığı (°C)	R _{th} (°C/W)	Fosfor
A	750	<145	<14	KSF
B	650	<110	<15	KSF
C	700	<125	<12	KSF
D	750	<145	<14	YAG
E	600	<125	<15	YAG
F	700	<125	<12	YAG

Numune LED'ler ile iki farklı ölçüm gerçekleştirilmiştir. İlk ölçümde, LED'lerin elektriksel katalog özelliklerine uygun akım değerleri (nominal televizyon çalışma koşullarında) ile LED'lerin bozulma ve mavileşme durumları takip edilip kaydedilmiştir. İkinci ölçümde ise LED'ler ilk ölçümde belirlenen nominal koşulların üstünde ekstrem akım ve sıcaklık altında test edilip, sürme akımının ve ortam sıcaklığının bozulma ve mavileşme durumları üzerine etkilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. İlk ölçümün sınır değerlerini belirlemek için ölçümlerde kullanılan LED'lerden aynı markaya ait farklı özelliklerdeki LED barlar ile tasarlanan televizyonlar nominal çalışma koşullarında termal teste tabii tutulmuştur. Bu ölçüm sonuçlarına göre testler için gerekli olan sıcaklık ve akım değerleri ortaya konulmuştur. Ölçüm düzeneğinde LED'ler gerçek bir televizyon çalışma ortamında ve koşullandırılmış ortam sıcaklığında çalıştırılmaktadır. Burada ölçülen en sıcak lehim noktası baz alınarak LED'lerin jonksiyon sıcaklığı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama Eşitlik (1)'de verilmiştir.

$$T_j = T_{lehim} + V_{ort} \times I_{ort} \times R_{th} \quad (1)$$

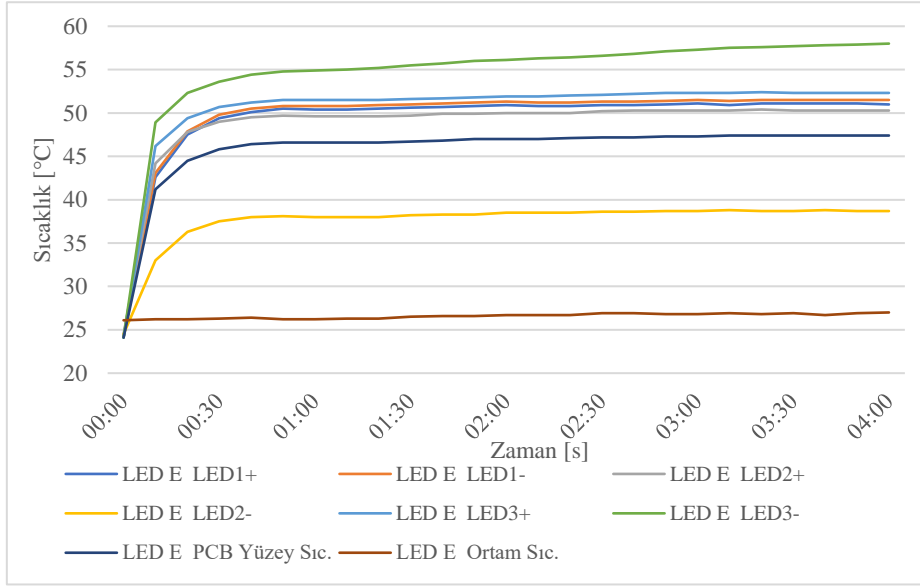
Burada T_j LED'lerin lehim sıcaklığından hesaplanan jonksiyon sıcaklığını, T_{lehim} oluşturulan test düzeneğinde ölçülen en sıcak LED lehim noktası sıcaklığını, V_{ort} ortalama LED gerilimini, I_{ort} LED'in sürme akımını, R_{th} ise LED'in jonksiyon ile ortam arasındaki termal direnci belirtmektedir.

3. ÖLÇÜM SONUÇLARI

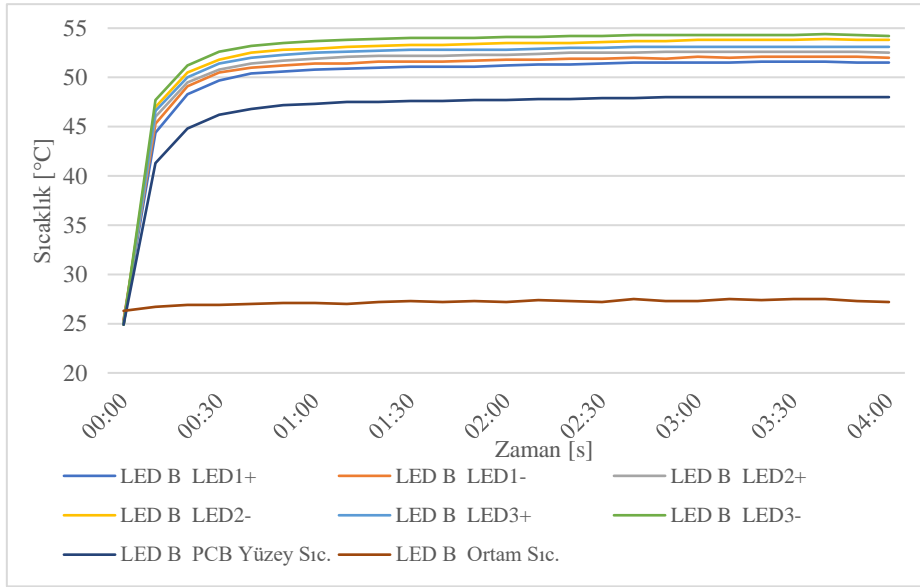
Aynı markaya ait (LED E ve LED B) iki farklı elektriksel katalog değerine sahip olan LED barlar ile oluşturulan televizyonlarda 550mA sürme akımı ile LED'lerin en sıcak lehim noktaları 4 saat boyunca ölçülmüştür. Ölçümler her LED çip üzerindeki artı (+), eksi (-) uçlardan ve PCB yüzeyinden aynı anda alınmıştır. E ve B markasına ait ölçüm sonuçları sırasıyla Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.

Ölçüm sırasında ortam sıcaklığı 26-27,2°C aralığında değişkenlik göstermiştir. Bu sıcaklık değerleri normal sıcaklıklar olarak kabul edilebilir olsa da televizyonların kullanım yerleri ve kullanım şartları göz önünde

bulundurulduğunda, televizyon için normal sıcaklık değeri sektörde standart olarak kullanılan 40°C kabul edilmiştir [20]. Bu nedenle ölçümlerde elde edilen sıcaklık değerleri televizyonun çalışma sıcaklığı olan 40 °C 'ye



Şekil 8. E markasına ait LED çip lehim sıcaklıkları.



Şekil 9. B markasına ait LED çip lehim sıcaklıkları.

göre normalize edilmiştir. Burada ölçülen ortam sıcaklığı 40°C'ye tamamlanarak aradaki fark ölçülen lehim sıcaklığı üzerine eklenmiştir. Bu ifade Eşitlik (2)'de verilmiştir. Tablo 3'te ise LED E ve LED B için ölçülen en yüksek lehim sıcaklıkları ve bu sıcaklıkların 40°C ortam koşuluna göre normalize edilmiş değerleri verilmiştir.

$$T_{norm} = T_{lehim} + (40 - T_{ortam}) \quad (2)$$

Tablo 3. LED E ve LED B için uyarlanmış en yüksek lehim sıcaklıkları.

		LED1+	LED1-	LED2+	LED2-	LED3+	LED3-	PCB Yüzey	Ortam
LED E	Ölçülen Lehim Sıcaklığı (°C)	51,1	51,5	50,3	38,8	52,4	58	47,4	27
	Uyarlanmış Sıcaklık (°C)	64,1	64,5	63,3	51,8	65,4	71	60,4	40
LED B	Ölçülen Lehim Sıcaklığı (°C)	51,6	52,1	52,6	53,9	53,1	54,4	48	27,5
	Uyarlanmış Sıcaklık (°C)	64,1	64,6	65,1	66,4	65,6	66,9	60,5	40

Ölçüm sonuçlarına göre LED E için en yüksek uyarlanmış sıcaklık 71 °C, LED B için en yüksek uyarlanmış sıcaklık 66,9 °C olarak hesaplanmıştır. Bu lehim sıcaklıklarına göre LED'lerin jonksiyon sıcaklığı Eşitlik (1)'e göre hesaplanmış ve Tablo 4'te bu değerler verilmiştir.

Tablo 4. LED E ve LED B için uyarlanmış jonksiyon sıcaklıkları.

	Lehim Sıcaklığı (°C)	V_{ort} (V)	I_{ort} (mA)	R_{th} (°C/W)	Hesaplanan T_j (°C)	Maks. T_j (°C)
LED E	71	3,2	550	15	97,4	<125
LED B	66,9	3,28	550	15	93,96	<110

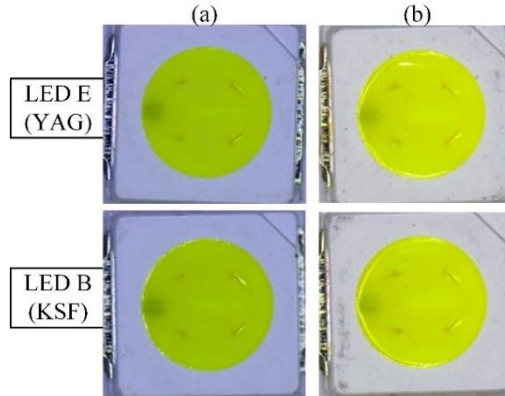
Tablo 4'te hesaplanan jonksiyon sıcaklıklarının, LED üreticilerinin sınır değerleri olarak paylaştığı 125 °C jonksiyon sıcaklıklarının altında kaldığı gözlemlenmiştir. Böylece yapılacak ölçümlerde fırın içi sıcaklık değerinin 75 °C olarak ayarlanması ortalama olarak nominal koşullarda çalışan televizyonun iç sıcaklığını simüle edebileceğini ortaya koymuştur. Yapılan ölçümlerde nominal koşullar olarak 75 °C fırın içi sıcaklığı, 550mA sürme akım değeri kabul edilmiştir.

İkinci ölçüm koşulunda ise YAG ve KSF fosfora sahip LED'lerin ekstrem koşullar altındaki dayanımı test edilmiştir. Bu ölçüm kapsamında LED'ler iki farklı koşulda değerlendirilmiştir. İlk koşulda (Durum 1) her bir LED markası için üreticilerin paylaştığı sınır akım değerlerinin 50 mA daha altında sürme akımı uygulanarak nominal ortam sıcaklığı koşulunda 3600 saatlik bir teste tabii tutulmuştur. İkinci koşulda ise (Durum 2) nominal olarak kabul edilen 550 mA sürme akımında, 110 °C fırın sıcaklığı koşulunda 3600 saatlik teste tabii tutulmuştur. Bu senaryolara göre LED'lerin tabii tutulduğu ölçüm koşulları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Zorlanmış test koşulları.

	Durum 1		Durum 2	
	LED Sürme Akımı (mA)	Ortam Sıcaklığı (°C)	LED Sürme Akımı (mA)	Ortam Sıcaklığı (°C)
A	700	75	550	110
B	600	75	550	110
C	650	75	550	110
D	700	75	550	110
E	550	75	550	110
F	650	75	550	110

Nominal ortam sıcaklığı ve sürme akımı koşullarında yapılan ölçüm neticesinde rastgele seçilen LED'lere ait test öncesi ve test sonrası mikroskop görüntüleri Şekil 10'da verilmiştir. Mikroskop görüntülerinden de anlaşılacağı üzere LED'ler üzerindeki fosfor tabakasında optik performansı etkileyecek bir bozulma gözlenmemiştir.



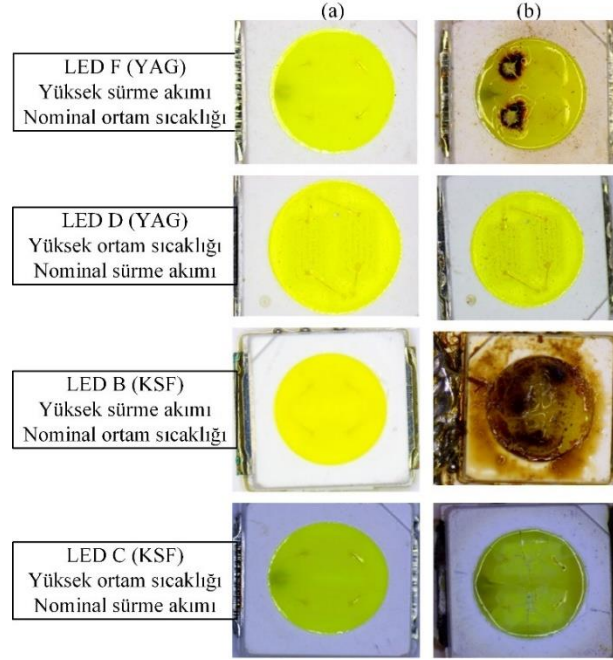
Şekil 10. a) Test öncesi ve b) test sonrası LED E ve LED B çiplerine ait mikroskop görüntüleri.

Şekil 10'da verilen sonuçlarda da görüldüğü üzere hem YAG hem de KSF fosforlu LED'lerin üreticiler tarafından paylaşılan sınır değerler aşılmadığı sürece güvenilirlik problemleri bulunmamaktadır. Bu nedenle sektörde çok sık olarak kullanılmaktadır.

Zorlanmış koşullara göre yapılan ölçümler sonucunda birçok LED'in fosfor tabakasında bozulmalar dolayısıyla renk kaymaları ve mavileşmeler gözlemlenmiştir. Ayrıca bazı LED çipleri de bu bağlamda direkt olarak bozulmuştur. Test öncesi ve sonrası farklı fosfor teknolojilerine sahip bazı LED çiplerinin mikroskop görüntüleri Şekil 11'de verilmiştir.

Şekil 11'deki mikroskop görüntülerinden de anlaşılacağı üzere KSF fosfora sahip LED'lerin fosfor tabakasında YAG fosfora göre daha fazla deforme olduğu görülmektedir. Ayrıca yüksek akımda sürülen LED örnekler yüksek ortam sıcaklığı koşuluna göre daha çok etkilenmiştir. Televizyonlarda, LED'lerin bir kısmı tamamen arızalandığında, cihaz açıldığında güç kaynakları genellikle LED sürücü devrelerinde koruma moduna geçer ve

bu durum arka aydınlatmanın tamamen kapanmasına neden olur. Bu koşulda, televizyon çalışmaya devam etse ve ses alınabilse bile, kullanıcılar ekranda hiçbir görüntü göremez. Bazı durumlarda ise, LED'lerin yalnızca fosfor tabakası zarar görmektedir. Böyle bir durumda, televizyon ekranı, hasarın boyutuna bağlı olarak mavi renk tonlarında görünmeye başlar ve renk doğruluğu zamanla tamamen kaybolur.



Şekil 11. Zorlanmış test koşullarında a) ölçüm öncesi ve b) sonrası bazı LED çiplerin mikroskop görüntüleri.

4. GÜVENİRLİK ANALİZ SONUÇLARI

Güvenilirlik analizi çalışmalarında test süresi ve teste tabii tutulan ürün adedi belirli bir limit altında tutulmak durumundadır. Bu ürünlerle yapılan ölçüm sonuçları güvenilirlik analiz programları ile incelenerek yüksek adetli üretim veya uzun süreli çalışma koşulları simüle edilmektedir. Bu kapsamda ölçüm sonuçları Reliasoft programı yardımıyla analiz edilmiştir. Analiz yapılırken Weibull dağılım yöntemi kullanılmıştır. Bu dağılım, bir ürünün veya bileşenin ömrü, başarısızlık süresi veya dayanıklılığı gibi değişkenlerin modellenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır [21].

Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik (3) ile ifade edilir:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} x \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} x e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (3)$$

Burada; $f(t)$ Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu, t değişkenin değeri, η (Eta) ölçek parametresi ve β (Beta) şekil parametresidir. β parametresi güvenilirlik analizinde arızanın karakteristiğini belirlemekte olup aşağıdaki şekilde ifade edilir:

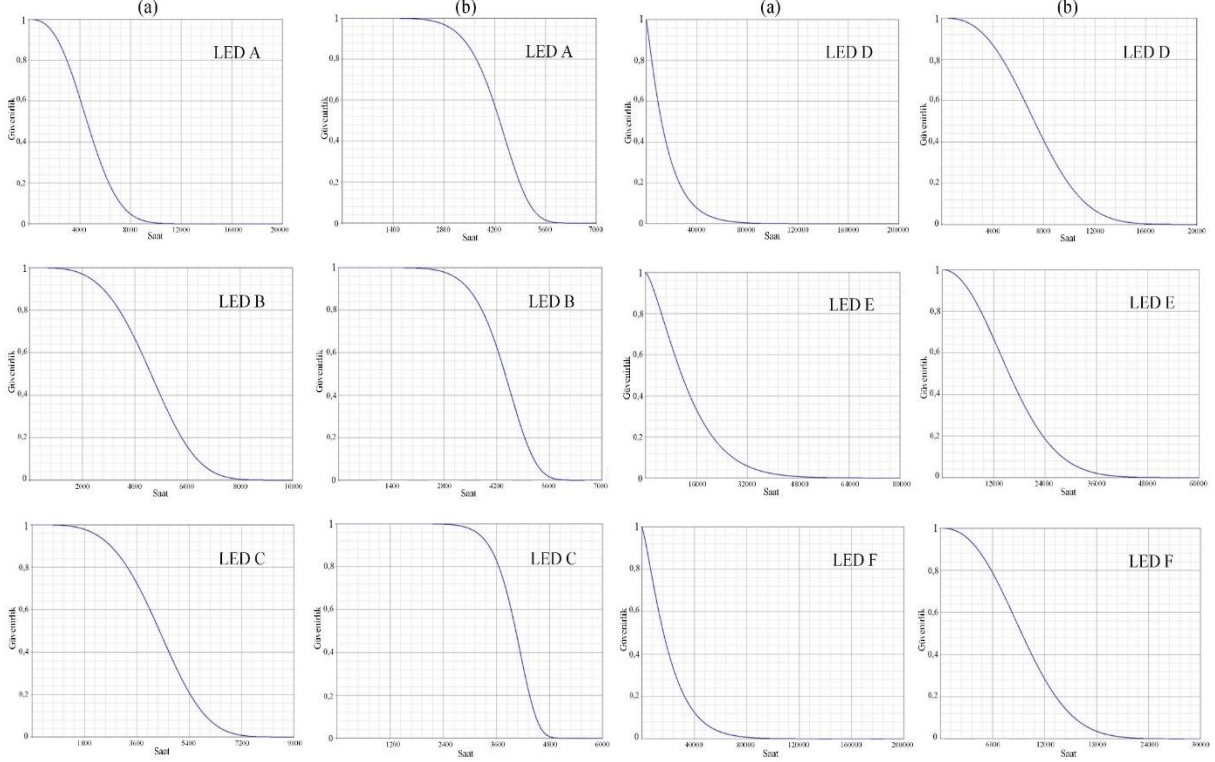
- $\beta < 1$: Giderek azalan arıza oranını, $\beta = 1$: Sabit arıza oranını, $\beta > 1$: Giderek artan arıza oranını η değeri ise ölçek parametresidir ve dağılımın genişliğini belirler. Ürünlerin %63,2'sinin bozulma zamanını tahmin etmek için kullanılır [21]. Reliasoft programında yapılan analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Reliasoft programı analizine göre LED'lerin Beta ve Eta değerleri.

	Beta	ETA (Hr)
LED A Durum 1	2,643359	5247,63712
LED A Durum 2	7,074297	4564,64788
LED B Durum 1	3,738524	5085,83592
LED B Durum 2	7,568756	4644,25441
LED C Durum 1	3,8963	4812,29521
LED C Durum 2	11,394979	4171,6719
LED D Durum 1	1,093973	16872,4692
LED D Durum 2	2,688977	8310,95138
LED E Durum 1	1,366066	14873,8447
LED E Durum 2	2,05971	18630,5376
LED F Durum 1	1,233146	22076,2401
LED F Durum 2	2,403301	10908,7743

Analiz sonucuna göre KSF ve YAG fosfora sahip LED'lerin zamana bağlı güvenilirlik davranışlarının tahmin grafikleri sırasıyla Şekil 12 ve Şekil 13'te verilmiştir.

Şekil 12 ve Şekil 13 her bir LED bar modülünün Durum 1 ve Durum 2 koşullarına göre güvenilirlik analizi sonuçlarını göstermektedir. Analiz sonucuna göre ekstrem testlerin toplamında YAG fosforlu LED'lerin Eta değeri ortalama olarak 15278,802 iken, KSF fosforlu LED'lerin ETA değeri ortalama olarak 4754,390 hesaplanmıştır.



Şekil 12. KSF fosfora sahip LED'lerin a) Durum 1 ve b) Durum 2 sonuçlarına göre güvenilirlik-zaman grafikleri.

Şekil 13. YAG fosfora sahip LED'lerin a) Durum 1 ve b) Durum 2 sonuçlarına göre güvenilirlik-zaman grafikleri.

Bu da YAG fosfora sahip ürünlerin %63,2'sinin bozulma süresinin, KSF'li LED'lerin bozulma süresinden yaklaşık olarak %31 daha uzun olduğunu göstermektedir. YAG fosforlu LED'lerin ekstrem koşullardaki dayanımının KSF'li LED'lerin dayanımından daha yüksek olduğu görülmektedir. YAG ve KSF fosforlu LED'lerin arıza profillerinin karşılaştırılmasını gösteren Beta değerinin karşılaştırılmasına göre KSF fosforlu LED'lerin ortalama Beta değeri 6,0527 iken YAG fosforlu LED'lerin ortalama Beta değeri 1,8069 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre her iki fosfor türüne sahip LED'ler giderek artan arıza grafiğine sahiptir. Yani her iki fosfor teknolojisine sahip LED'lerde yaşlanmaya bağlı arızalar oluşmaktadır. Analiz sonucuna göre KSF fosfora sahip LED'lerin YAG fosfora sahip LED'lere kıyasla %30 daha hızlı bozulma eğrisine sahip olduğu görülmüştür.

Ekstrem koşullardaki Durum 1 ve Durum 2'de yüksek sürme akımına sahip LED'lerin nominal ortam sıcaklığında tutulduğu durumda yapılan analizlere göre ortalama Eta değeri 11494 iken, yüksek ortam sıcaklığına maruz bırakılan LED'lerin ortalama Eta değeri 8538 olarak hesaplanmıştır. Bu da çalışmada belirlenen ortam sıcaklığı farkının akım farklarına oranla ömür üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde iki farklı ekstrem koşulun Beta değerleri analiz edildiğinde yüksek ortam sıcaklığında yapılan testteki Beta değeri 2,3285 iken, yüksek akım ile sürülen LED'lerin Beta değerinin 5,5310 olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı markalara ait YAG ve KSF fosfor tabakasına sahip LED'lerin güvenilirlik analizleri yapılmıştır. İlk olarak televizyonun normal çalışma koşulları ortaya konularak tüm LED'ler nominal koşullar altında test edilmiştir. Bu değerler üretici firmaların paylaştığı limit değerlerin de altında kalmaktadır. Bu koşulda hem KSF hem de YAG fosfora sahip LED'lerde TV çalışmasını etkileyecek boyutta bozulma, renk kayması gibi faktörler gözlemlenmemiştir. İkinci koşulda ise LED'ler zorlu koşullara tabii tutulmuştur. Bu koşullardan birincisi yüksek ortam sıcaklığı altında nominal akım ile LED'lerin sürülmesi, ikinci koşul ise nominal ortam sıcaklığında yüksek akım ile LED'lerin sürülmesidir.

Yüksek akım ile sürülen LED'lerin daha yüksek Eta değerine sahip olmasına rağmen Beta değerinin düşük çıkması, erken evrede bozulmaların olabileceği ancak bu akım değerine dayanabilen çiplerin daha uzun süre dayanıklılığını korumaya devam edebileceğini göstermektedir. Yüksek ortam sıcaklığı ise LED'lerin belli bir süre bu sıcaklığa maruz kalmasıyla birlikte daha hızlı bozulabileceğini göstermektedir. Yani yüksek akımda LED

çiplerin üretim prosesi kaynaklı daha zayıf LED'lerin hızlıca bozulduğu, yüksek ortam sıcaklığına maruz kalan LED'lerin ise yaşlanmaya bağlı olarak giderek artan bir arıza hızına sahip olarak bozulduğu gözlemlenmiştir.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Teşekkür

Yazarlar, Arçelik A.Ş. ve Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (YTUBAPK-FYL-2023-5681) bu çalışma süresince sağladıkları destek için teşekkür eder.

KAYNAKÇA

- [1] K. Kakinuma, T. Matsumoto, S. Haga, T. Arai, T. Shirakuma, and H. Shibata, "The first LED backlight for LCD TVs to increase color reproduction range", *Nikkei Electronics* pp. 123–130, 2004.
- [2] K. Kakinuma, "Technology of wide color gamut backlight with light-emitting diode for liquid crystal display television," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 45, no. 5B, pp. 4330–4334, 2006.
- [3] J.W. Stinson, "4,992,704," U.S. Patent 1991.
- [4] S. Tabuchi, "S50-79379," Japanese Utility Model Patent Application Publication, 1973.
- [5] Y. Shimizu, "H07-176794," Japanese Publication of Unexamined Patent Application, 1995.
- [6] Y. Shimizu, "H08-7614," Japanese Patent Application Publication, 1996.
- [7] Y. Shimizu, K. Sakano, Y. Noguchi, and T. Moriguchi, "5,998,925," Japanese priority patent applications to U.S. Patent, 1996..
- [8] Y. Shimizu, K. Sakano, Y. Noguchi, and T. Moriguchi, "5,998,925," U.S. Patent, 1999.
- [9] G. Blasse and A. Bril, "Appl. Phys. Lett.," vol. 11, pp. 53–55, 1967.
- [10] S. Adachi and T. Takahashi, "Direct synthesis and properties of K₂SiF₆+ phosphor by wet chemical etching of Si wafer," *J. Appl. Phys.*, vol. 104, no. 2, 2008.
- [11] H.F. Sijbom, R. Verstraete, J.J. Joos, D. Poelman, and P. F. Smet, "K₂SiF₆:Mn⁴⁺ as a red phosphor for displays and warm-white LEDs: A review of properties and perspectives," pp. 3332–3365, 2017.
- [12] A.L. Efros, "Interband absorption of light in a semiconductor sphere," *Soviet Physics Semiconductors*, vol. 16, no. 7, pp. 772–775, 1982.
- [13] AV Technology, "Sony's Breakthrough with Quantum Dots at CES 2013" Retrieved from <https://av.technology>. [Access Date: 20/09/2024]
- [14] Y. H. Ko and J. G. Park, "Novel quantum dot enhancement film with a super-wide color gamut for LCD displays," *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 72, pp. 45–51, 2018.
- [15] J. E. Murphy, F. Garcia-Santamaria, A. A. Setlur, and S. Sista, "62.4: PFS K₂SiF₆:Mn⁴⁺: the Red-line Emitting LED Phosphor behind GE's TriGain Technology™ Platform", in *Book 2: Session 62: Advanced Light Sources, Components, and Systems II*, 2015.
- [16] Rtings "TV Picture quality tests:Color Gamut" url: <https://www.rtings.com/tv/tests/picture-quality/wide-color-gamut-rec-709-dci-p3-rec-2020>. [Access Date: 01/02/2024].
- [17] BENQ "What is color gamut" <https://www.benq.com/en-us/knowledge-center/knowledge/color-gamut-monitor.html>. [Access Date: 01/02/2024]
- [18] CIE, "Commission internationale de l'Eclairage proceedings", Cambridge: Cambridge University Press, 1931.
- [19] National Television System Committee Report and Reports of Panel No. 11, 11-A, 12–19, "with Some supplementary references cited in the Reports, and the Petition for adoption of transmission standards for color television before the Federal Communications Commission", LC Control No.:54021386 Library of Congress Online Catalog, 1951–1953.
- [20] IEC TS 60079-43, "Technical Specification Explosive atmospheres – Part 43: Equipment in adverse service conditions", 2017.
- [21] Reliasoft Weibull ++7, "Reliasoft Publishing", Tucson, Arizona USA.