

paintistanbul TURKCOAT CONGRESS

Metal Ambalaj Sektöründe UV-LED Kırleme Sistemlerinin Enerji Verimliliği ve Çevresel Avantajları

Havva Ödöl
Can Durmuş

AKZO NOBEL SERVER BOYA

Sunum Planı

- **UV K rleme Teknolojisi**
- **Endüstriyel Süreçlerde UV K rleme Teknolojisi**
- **Geleneksel UV Sistemleri ve Sınırlamaları**
- **UV-LED K rleme Sistemlerinin Teknolojik Avantajları**
- **Sürdürülebilirlik ve Ekonomik Avantajlar**
- **Karşılaştırmalı Analiz: UV-LED ve Geleneksel Sistemler**
- **UV-LED Teknolojisinin Geleceği**
- **Metal Ambalaj Sektöründe UV-LED Teknolojisi**
- **UV-LED Teknolojisinin Geleceği**
- **Sonuç**

Ultraviyole (UV) Işık Nedir?

UV ışık, **elektromanyetik spektrumun** bir parçasıdır ve **görünür ışık ile X ışınları** arasında yer almaktadır.

Dalga boyu: 100–400 nanometre (nm) aralığındadır.

İnsan gözü yalnızca **400–700 nm** arasındaki ışığı algılayabilir; bu nedenle UV ışık **gözle görülemez**.

Dalga boyu kısaldıkça enerji artar. Bu nedenle kısa dalga boylu UV ışınlar daha yüksek enerji taşır.

UVC (100–280 nm):

En kısa dalga boyuna ve **en yüksek enerjiye** sahiptir.

Yüzeyde kürlleme sağlar ancak derin nüfuz edemez.

UVB (280–315 nm):

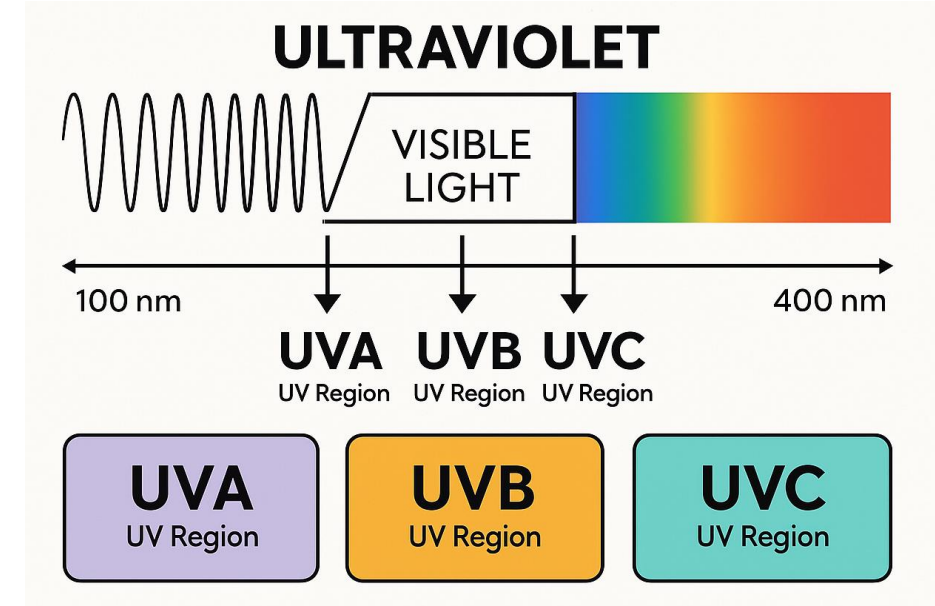
Orta seviyede dalga boyu.

Mürekkep tabakasının içine nüfuz ederek iç kısımların kürlenmesini sağlar.

UVA (315–400 nm):

En uzun dalga boyuna ve **en düşük enerjiye** sahiptir.

Derinlemesine kürlleme için idealdir; mürekkep filminin dibine kadar ulaşabilir.



UV K rleme Teknolojisine Genel Bakış

UV kürleme, ultraviyole ışınları kullanılarak gerçekleştirilen bir fotokimyasal polimerizasyon sürecidir. UV ışınları, malzemedeki fotobaşlatıcıları aktive ederek monomerleri hızlıca polimerlere dönüştürür. Bu teknoloji, endüstriyel alanlarda yüksek verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik sağlar, özellikle kaplama, baskı, yapıştırıcı ve koruyucu kaplama uygulamalarında kullanılır.

Endüstriyel Kullanım Alanları

Metal Ambalaj Kaplamaları: Dayanıklı kaplamalar sağlar

Baskı Sistemleri: Hızla kuruyan mürekkeplerle yüksek kaliteli baskılar

Yapıştırıcı Uygulamaları: Otomotiv ve elektronik endüstrilerinde hızlı kürlenme

Koruyucu Kaplamalar: Yüzeyleri koruyarak ömrü uzatır

Kozmatik Uygulamalar: UV-LED kürlenebilen tırnak cilaları



UV K rleme Nedir?

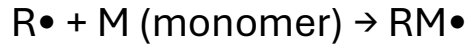
UV kürleme, UV ışığıyla aktive edilen **fotokimyasal bir polimerizasyon** sürecidir. Bu süreçte, sistemin içinde bulunan **fotobaşlatıcılar** (ışığa duyarlı moleküller), UV ışığını absorbe ederler. Sonrasında, reaktifler (radikaller veya katyonlar)  retilir. Bu reaktifler, uygun fonksiyonel gruplara sahip **monomer** ve **oligomer** zincirlerine bağlanır. Reaksiyonun sonlanması ile çapraz bağlar oluşarak **katı bir polimer ağı** meydana gelir.

Tepkime Mekanizması – Serbest Radikal Kürlenme:

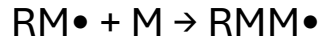
Başlama (Initiation):



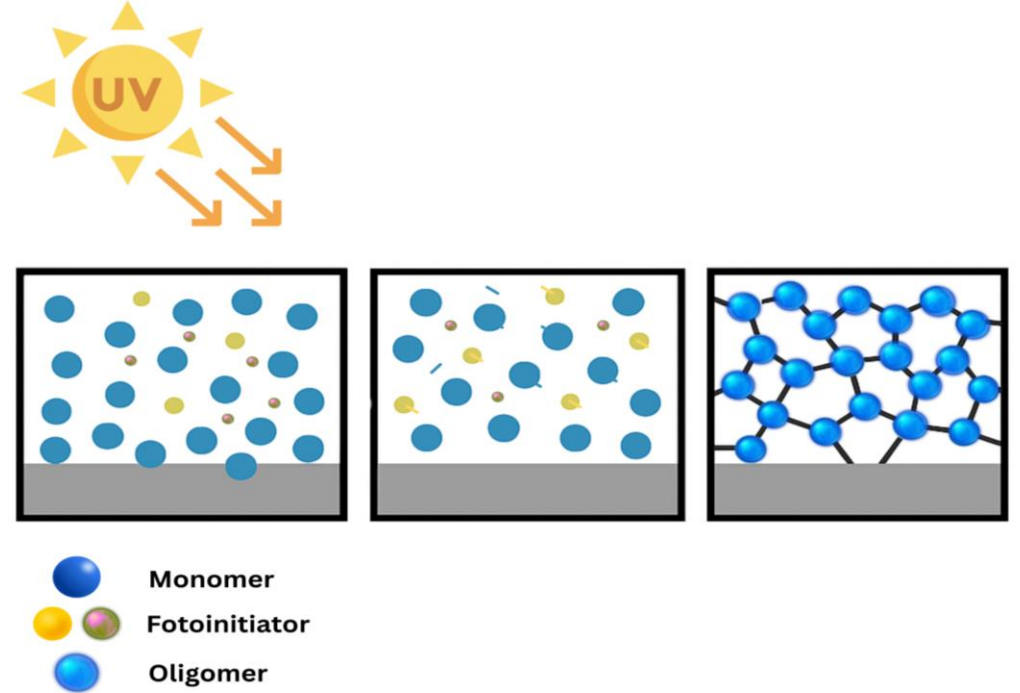
Zincir başlatma:



Zincir uzama:



Zincir sonlanma:



Geleneksel UV Uygulamalarında Karşılaşılan Temel Zorlukla

Enerji Tüketimi

Bazı UV sistemleri, uzun süreli kullanımlarda yüksek enerji tüketimine neden olabilir. Bu durum, operasyonel maliyetlerin artmasına yol açabilir.

Sınırlı Kullanım Ömrü

Geleneksel UV lambalar belirli bir kullanım ömrüne sahiptir ve periyodik değişim gerektirebilir. Bu da bakım süreçlerinde zaman ve maliyet açısından planlama gerektirir.

Isı Üretimi

UV lambalar çalışırken önemli miktarda ısı üretebilir. Bu durum, üretim ortamlarında soğutma ihtiyacını doğurabilir ve süreçlerin hassasiyetini etkileyebilir.

Çevresel Etkiler

Civa içeren bazı UV lambalar, kullanım sonrası özel atık yönetimi ve dikkatli bir imha süreci gerektirir. Bu durum hem çevre hem de insan sağlığı açısından dikkat edilmesi gereken bir faktördür.

Yüksek Enerji Tüketimi



Geleneksel UV lambalar yüksek enerji harcar

Sınırlı Ömür ve Verimsizlik



Geleneksel UV lambaların ömrü sınırlı ve verimsizdir

Yüksek Isı Üretimi



Geleneksel UV lambalar yüksek enerjiye ihtiyaç duyar

Çevresel Etkiler



Civa içeren UV lambalar çevre için tehlikelidir

UV-LED Teknolojisine Geçiş & Yasal Mevzuatlar

Avrupa Birliği'nde sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda geliştirilen düzenlemeler, geleneksel UV sistemlerde kullanılan **ağır metallerin** (özellikle **cıva**) kullanımını ciddi biçimde kısıtlamaktadır.

RoHS 2 Direktifi (Restriction of Hazardous Substances)

Bu düzenleme, elektronik ekipmanlarda kurşun, kadmiyum ve **cıva gibi toksik elementlerin** kullanımını sınırlar. Matbaa sektöründe hâlihazırda kullanılan UV lambalarının çoğu **cıva buharlı** sistemlerdir.

Sektörel Etki:

AB, baskı sektörü için kısa vadede 5 yıllık bir muafiyet süresi tanımayı değerlendirse de, bu sadece geçici bir çözümdür. Uzun vadede tüm sektörlerin cıvasız UV çözümlere (LED-UV) geçmesi beklenecektir.

Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Karbon Emisyonu Azaltma hedefleriyle birebir uyumludur.

Bu bağlamda UV-LED sistemleri, yalnızca teknik avantajlar değil; aynı zamanda mevzuata uyum ve çevresel sorumluluk açısından da stratejik bir yatırım haline gelmektedir.

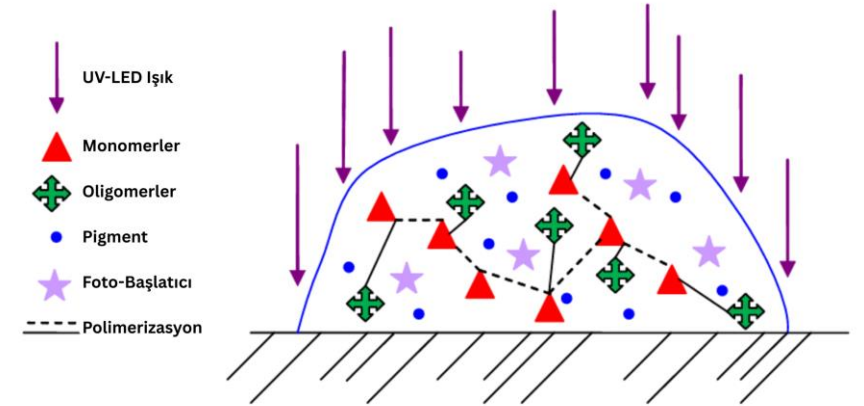
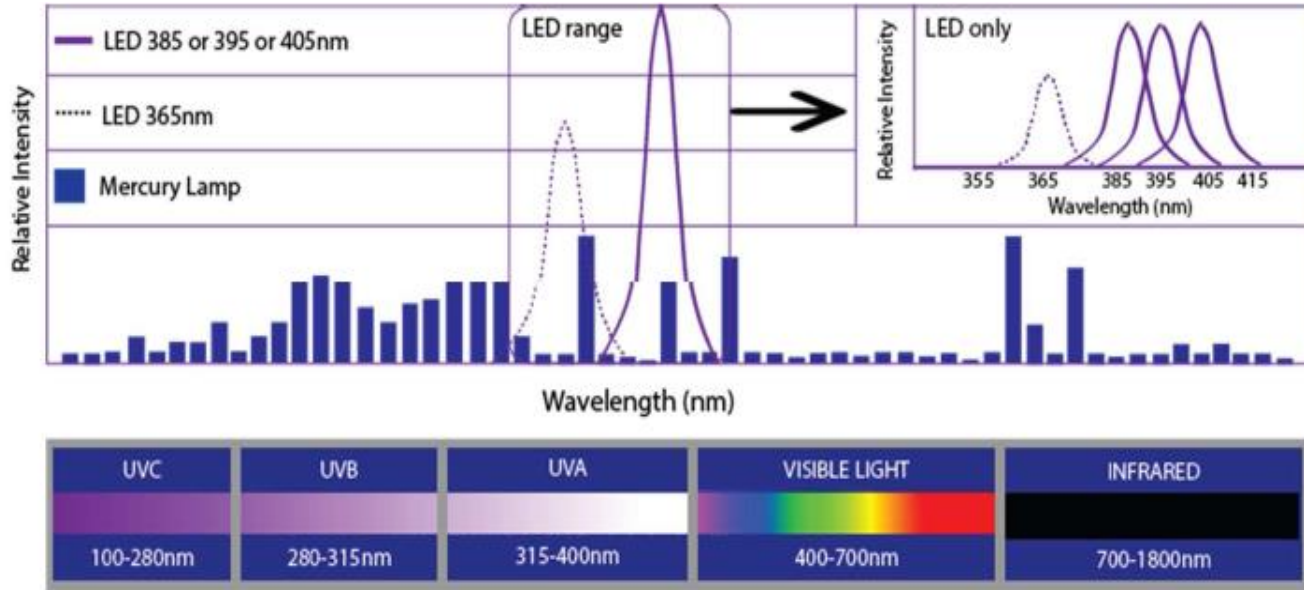


UV-LED Krleme Sistemlerinin Teknolojisi

Düşük alıma Sıcaklıkları: Bu, hem enerji tasarrufu sağlar hem de işlenen malzemelere zarar verme riskini azaltır.

Yüksek Verimlilik: UV-LED lambaları, geleneksel UV lambalara göre daha az enerjiyle daha yüksek kürleme verimi sağlar.

365-405 nm Dalga Boyu Aralığı: UV-LED lambalarının dalga boyu, farklı endüstriyel uygulamalar için geniş bir uyumluluk sağlar. Bu aralık, çeşitli malzemeler üzerinde etkili kürleme işlemi yapmayı mümkün kılar.



UV ve UV-LED sistemlerinin kimyasal açıdan kürlenme mekanizması benzer şekilde çalışmaktadır.

UV-LED Sistemlerinde Kimyasal Yapıların Seçimi ve Etkisi

UV-LED sistemlerinin kimya açısından öne çıkan farklılıkları:

Özellik	Geleneksel UV	UV-LED
Dalga boyu aralığı	Geniş (200–450 nm), çoğunlukla 254 veya 365 nm	Dar ve spesifik (368-405 nm) genellikle 385 nm)
Işık Yoğunluğu	Dağınık, ısıya bağlı değişebilir	Sabit, daha stabil ışık yoğunluğu
Isı Üretimi	Yüksek → Soğutma gerekebilir	Düşük → Soğutma genelde gerekmez
Fotobaşlatıcı Seçimi	Fazla seçenek mevcut	Kısıtlı alternatif

UV-LED'in Kimyasal Avantajları

1.Spesifik dalga boyunda çalıştığı için daha kararlı ve kontrollü kürleme sağlar. Bu durum, reaksiyon kinetiğini optimize etmeye ve istenmeyen yan ürün oluşumunu azaltmaya yardımcı olur.

Örnek: Belli bir dalga boyunda maksimum absorpsiyon yapan spesifik fotobaşlatıcılar ile yüksek verim elde edilir.

2.Düşük ısı üretimi, özellikle ısıya duyarlı katkı maddelerinin (örneğin pigment, dolgu, biyobazlı içerik) bozulmadan sistemde kalmasını sağlar.

Bu, biyobazlı kaplamalarda veya sürdürülebilir içerikli reçinelerde büyük avantajdır.

3.Oksijen inhibisyonu daha az problem yaratır, çünkü LED sistemleri yüzeye daha yakın yerleştirilebilir ve inert gaz gereksinimi azaltılabilir.

UV-LED sistemlerinde, fotobaşlatıcı absorpsiyon eğrisinin UV emisyon spektrumu ile eşleşmesi; polimerizasyon verimini doğrudan etkiler. Bu nedenle UV-LED, ışık-kimyasal etkileşiminde daha seçici ve verimli çözümler sunar. Fouassier et al., Photopolymerization Fundamentals, 2015)

UV-LED Sistemlerinde Kimyasal Optimizasyon

1. Formülasyon Tasarımında Kimyasal Parametreler

Parametre	Etkilediği Özellik	Açıklama
Monomer / Oligomer Oranı	Akışkanlık (viskozite), reaktivite	Monomerler düşük viskoziteli, oligomerler daha yüksek viskoziteli ama mekanik dayanımı artırır.
Fonksiyonel Grup Sayısı (Difonksiyonel / Trifonksiyonel Akrilatlar)	Çapraz bağ yoğunluğu, sertlik	Daha fazla fonksiyonel grup → daha sert ve dayanıklı yapı, ancak kırılabilirlik artabilir.
Çapraz Bağlayıcı Seçimi	Termal ve kimyasal dayanım	Urethan-akrilat gibi yapıların kullanımı esneklik ve kimyasal direnç sağlar.
Fotobaşlatıcı Konsantrasyonu	Kürleme hızı, sararma	Genellikle % 3-5.5 arası kullanılır. Fazlası → sararma, Azı → yetersiz kürlenme.

2. Formülasyonun Fiziksel ve Kimyasal Özelliklere Etkisi

Ofset baskı sonrası elde edilen başlıca performans özellikler:

- Sertlik & Çizilme Direnci** → Çapraz bağ yoğunluğu ve oligomer tipi ile kontrol edilir.
- Elastikiyet** → Urethan-akrilat oranı artırıldığında esneklik yükselir.
- Kimyasal Dayanım** → Aromatik yapılar ve yüksek fonksiyonlu akrilatlar dayanımı artırır.
- Adhezyon (Yapışma)** → Düşük moleküler ağırlıklı reaktif seyrelticiler aderansı güçlendirir.

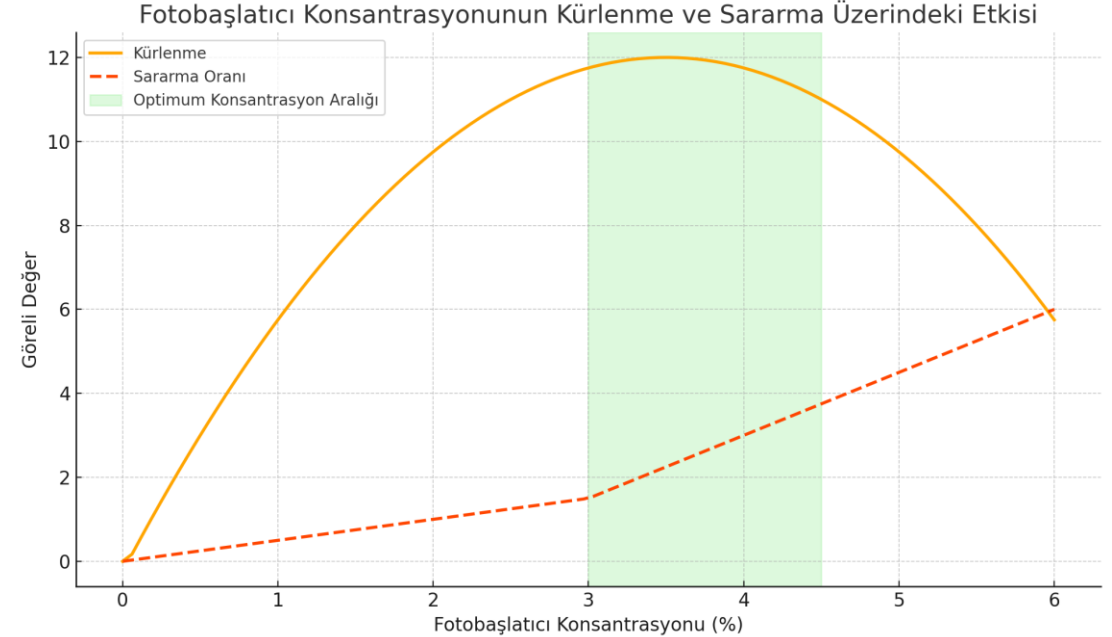
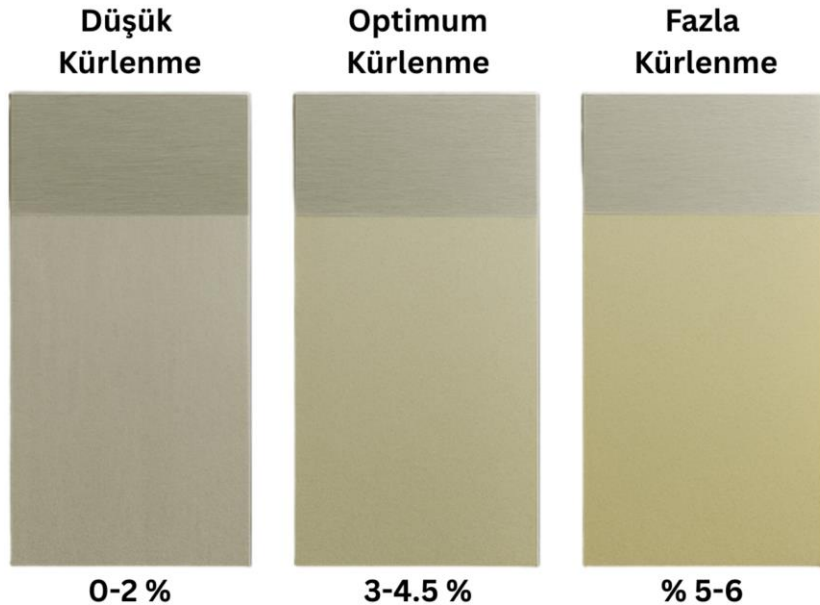
💡 Bir sistemde sadece sertlik değil, uygulama yüzeyi ve müşteri kullanım koşulları da dikkate alınarak dengeli bir formülasyon tercih edilmelidir.

UV-LED Sistemlerinde Oksijen İnhibisyonu ve Önlemler

Oksijen, radikal polimerizasyonu baskılayarak yüzeyde kürlenme eksikliğine neden olur.

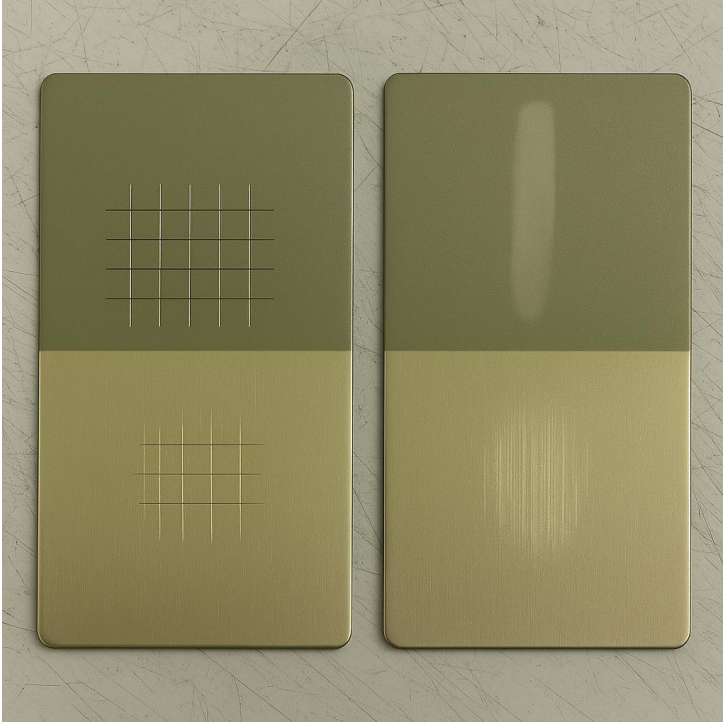
⚠ UV-LED sistemlerde oksijen inhibisyonuna karşı:

- Yüzey katkı maddeleri (örn. parafinik waxlar, silikonlar)
- Yüksek yoğunlukta ışık kaynakları (LED array gibi)
- Yüzey reaktivliği artırılmış monomerler

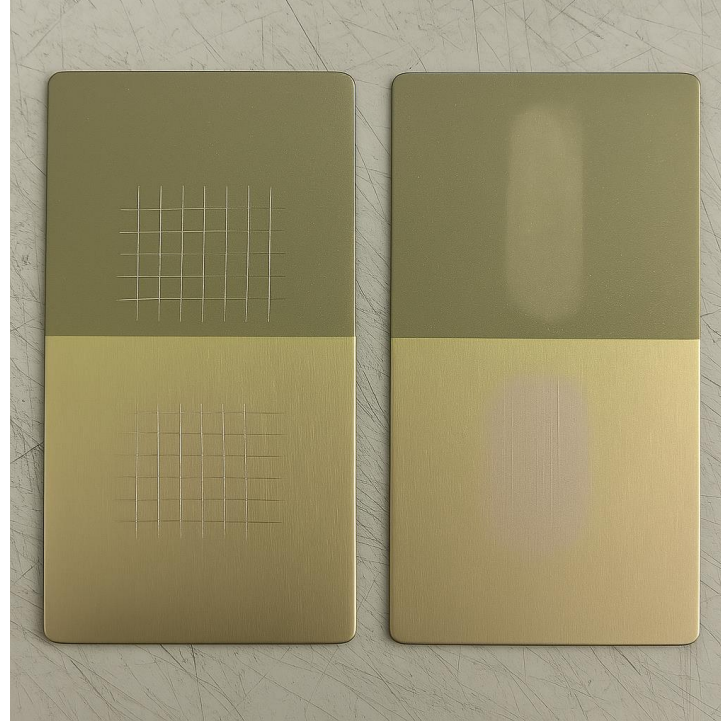


- %3–4.5 arası konsantrasyon, **optimum kürleme** sağlar.
- %0–2 arası düşük fotobaşlatıcı → düşük kürlenme (yetersiz polimerizasyon).
- %5 ve üzeri konsantrasyonlarda **sararma oranı hızla artar**, özellikle renk hassasiyeti olan kaplamalarda bu istenmeyen bir durumdur.

UV-LED ile K rleme



Geleneksel UV ile K rleme



UV-LED ile K rleme

Geleneksel UV ile
K rleme

UV-LED K rl me Sistemlerinin Avantajları



Enerji Verimliliği

UV-LED lambalar, geleneksel cıva buharlı UV lambalarına göre %65'e kadar daha az enerji t k tir. Bu, işletmelerin uzun vadede ciddi maliyet avantajı sağlar



Ömür

UV-LED lambaları 20.000+ saatlik bir ömre sahiptir, bu da geleneksel lambaların 3-4 katı kadar uzun bir süre demektir. Bu, daha az sıklıkla değiştirilme gereksinimi anlamına gelir.



Çevresel Etkiler

UV-LED lambalar cıva içermez, bu nedenle çevreye zarar vermez ve sağlık açısından daha güvenlidir. Cıva buharlı lambalar ise cıva içermeleri nedeniyle çevreye zarar verebilir.



Işık Performansı

UV-LED lambalar daha hızlı ba lar ve daha yüksek verimlilikle çalışır. Bu da endüstriyel süreçlerde daha verimli sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Çevresel Etki: Karbon Ayak İzinin Azaltılması

UV-LED lambalar, düşük uçucu organik bileşen (VOC) emisyonları ile çalışır, bu da hava kalitesinin korunmasına yardımcı olur. Cıva buharlı UV lambaları, cıva ve diğer kimyasal maddeleri içerdiği için hava kirliliğine neden olabilir.

VOC Emisyonları:

Geleneksel UV lambalar, yüksek sıcaklıklar ve kimyasal reaksiyonlar sırasında VOC emisyonları salabilir. Bu maddeler, atmosferdeki ozon katmanını incitebilir ve insanların solunum sistemini olumsuz etkileyebilir. UV-LED lambalar ise, daha düşük çalışma sıcaklıkları ve daha temiz teknolojilerle daha az VOC üretir. Bu, endüstriyel ve yerleşik kullanımda hava kalitesinin korunmasına yardımcı olur.

Araştırma Verisi:

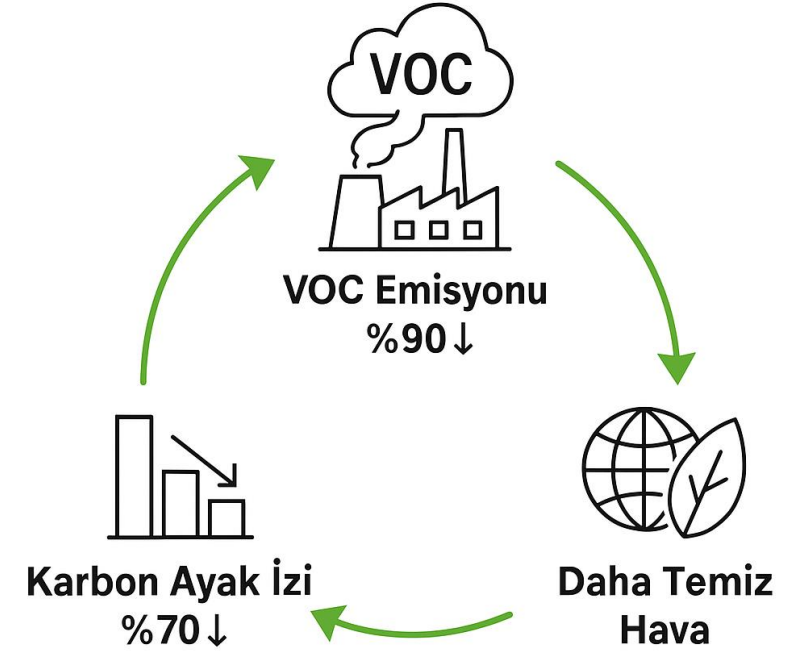
Yapılan çalışmalarda, UV-LED lambalarının VOC emisyonlarının geleneksel UV lambalarına göre %90 daha düşük olduğunu göstermektedir (Park et al., 2017).

Karbon Ayak İzi:

Bir UV-LED lambasının kullanım ömrü boyunca karbon salınımı, cıva buharlı lambalara göre çok daha düşüktür. LED teknolojisinin düşük enerji tüketimi, endüstriyel süreçlerde karbon ayak izini %70'e kadar azaltabilir (Choi et al., 2019).

Sera Gazı Emisyonları:

Düşük enerji tüketimi, sera gazı emisyonlarını azaltır. Bir UV-LED lambasının ömrü boyunca, geleneksel cıva buharlı UV lambasına göre 1.5 ton daha az karbondioksit (CO₂) salınımı yapılabilir.



Metal Ambalaj Sektöründe UV-LED Kürleme

UV-LED Teknolojisinin Uygulamaları:

Metal ambalajda, UV-LED teknolojisi kaplama, baskı ve yapıştırıcı uygulamalarında etkin şekilde kullanılır. Bu teknoloji, yüksek hızda, düşük enerji tüketimiyle kürleme sağlamak için ideal bir çözümdür.

Enerji Tasarrufu ve Üretim Verimliliği:

UV-LED teknolojisi, geleneksel UV lambalarına göre %65'e kadar daha az enerji tüketir. Ayrıca, daha düşük çalışma sıcaklıkları ve daha hızlı kürleme süreleri ile üretim hızını artırır.

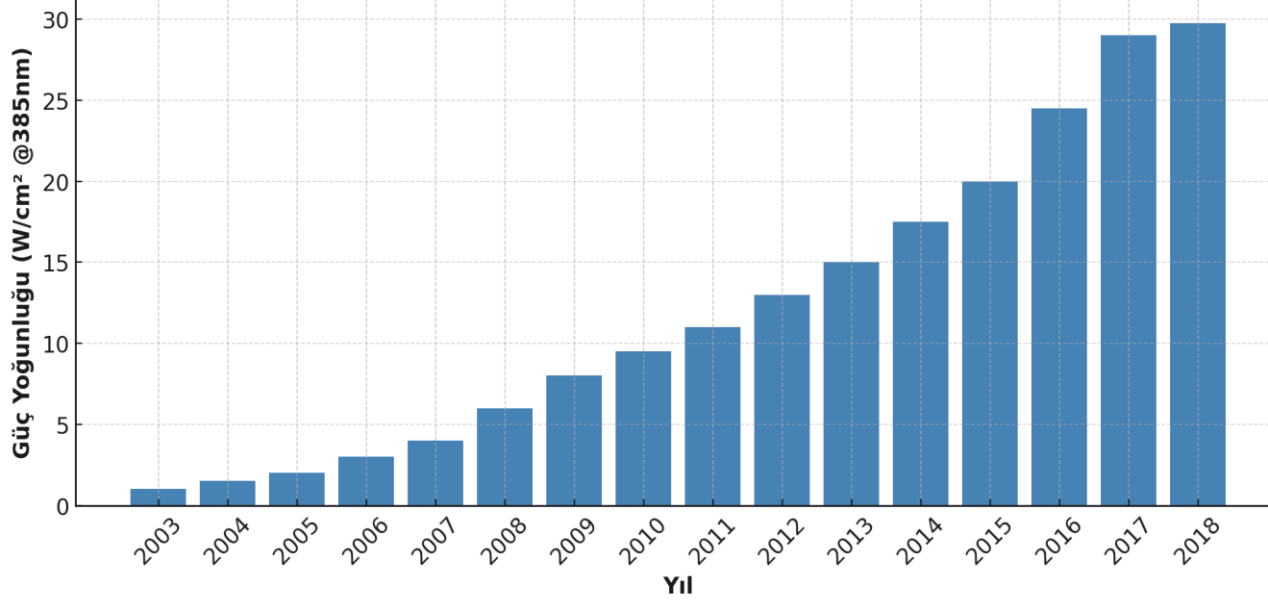
Avantajlar: Daha az VOC emisyonu, düşük karbon ayak izi ve azalan enerji maliyetleri gibi çevresel ve ekonomik faydalar sağlar.

Metal ambalaj sektöründe UV-LED teknolojisini kullanan firmalar, daha temiz üretim süreçleri ve daha az atıkla sürdürülebilir sonuçlar elde etmektedir.



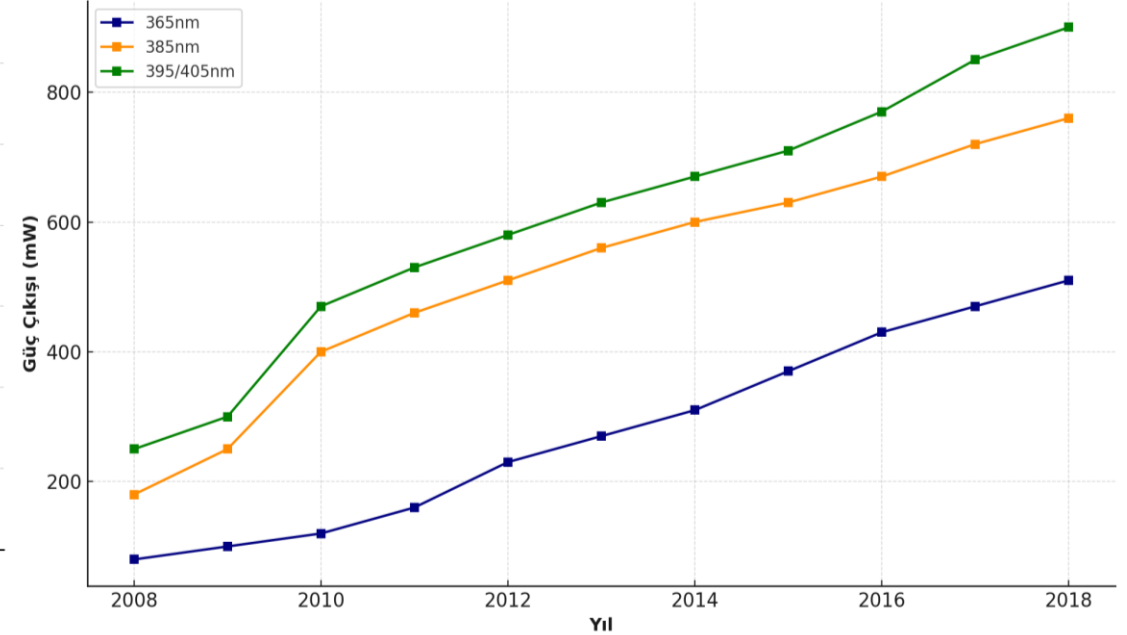
Metal Ambalaj Sektöründe UV-LED Kürleme

Güç Yoğunluğunun Yıllara Göre Gelişimi (2003-2018)

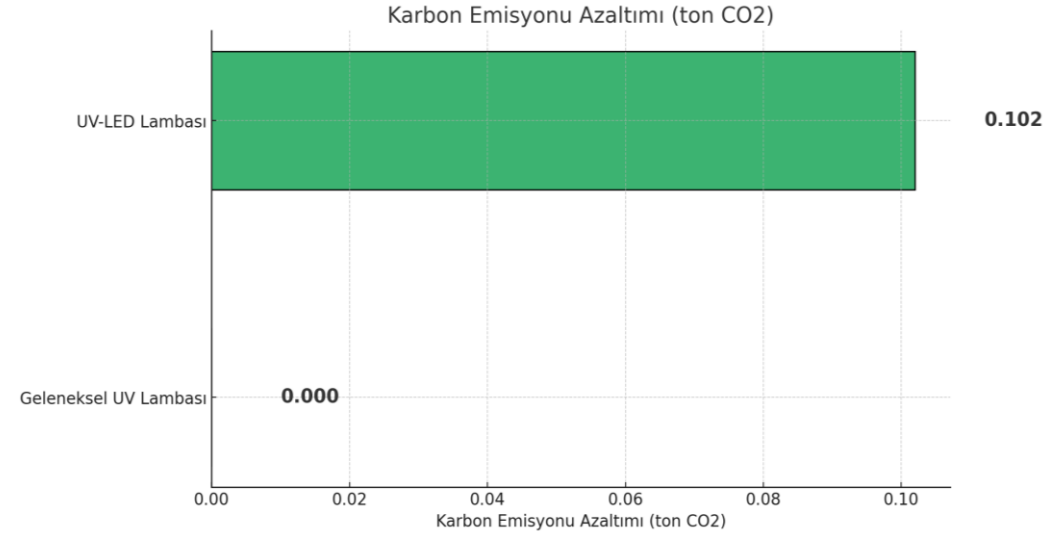
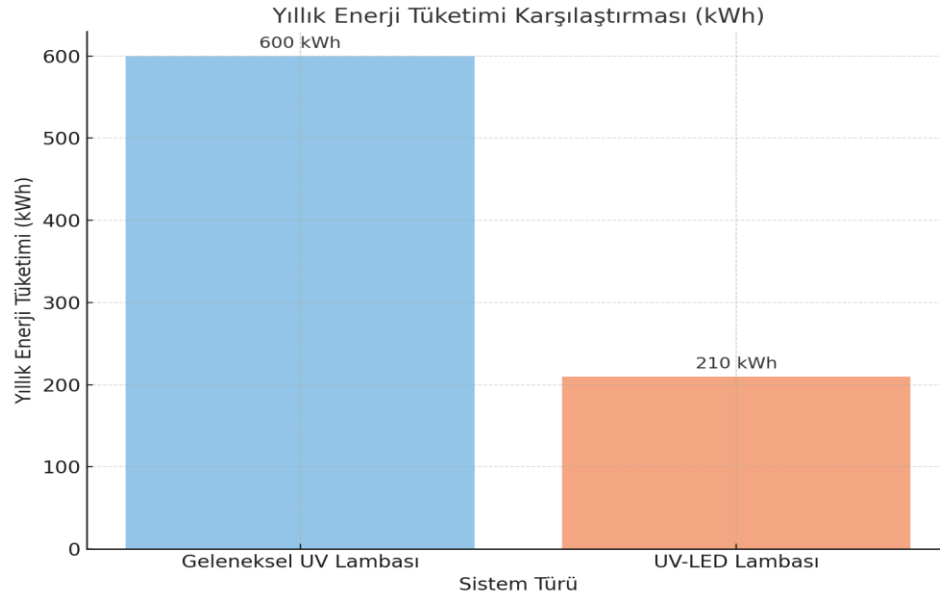


Yeni nesil teknolojiler, özellikle metal ambalajlarda 30 W/cm²'nin üzerinde güç yoğunluğu sağlayarak, daha hızlı işlem ve yüksek kürleme verimliliği sunmaktadır. Bu da üretim sürecinde hız ve kalite artışı sağlamaktadır.

GEW. (2020). UV curing sources. GEW. Retrieved April 15, 2025, from https://www.gewuv.com/uv-curing-sources/?utm_source



UV LED teknolojisi, son yıllarda özellikle metal ambalaj sektöründe yaygın kullanıma uygun hale gelmiştir. 2008'den bu yana Lambalarda güç çıkışı 4 kat artarken, maliyetler %90'a varan oranda azalmıştır. Bu gelişmeler sayesinde UV LED'ler, daha geniş sanayi uygulamalarında enerji verimli, kompakt ve etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.



Sistem Türü	Yıllık Çalışma Süresi (saat)	Enerji Tüketimi (kWh)
Geleneksel UV Lamba	6.000	600
UV-LED Lamba	6.000	210

Sistem Türü	Yıllık Karbon Emisyonu Azaltımı (ton CO ₂)
Geleneksel UV Lamba	0
UV-LED Lamba	0.102

- **Toplam Tasarruf:** 600 - 210 = 390 kWh/yıl
- **Oransal Tasarruf:** (%65)
- Bu, yaklaşık olarak **1.5 hane halkının aylık enerji tüketimine** eşdeğerdir.

UV-LED ve Geleneksel UV Sistem Karşılaştırması

Kriter	Geleneksel UV Lamba	UV-LED Lamba
Spektrum	UVA+ UVB+ UVC	365:385:395:405 nm
Kimyası	Bir çok yaygın hammadde mevcut	Gelişim sürecinde, kısıtla hammadde
Enerji Tüketimi	100 kWh/saat	35 kWh/saat (~%65 azalma)
Lamba Ömrü	~5.000 saat	~20.000+ saat
VOC Emisyonu	Yüksek	Çok Düşük
Çalışma Sıcaklığı	Yüksek (soğutma ihtiyacı fazla)	Düşük (ek soğutma gerekmez)
Bakım & Atık	Yüksek (civa içeriği, sık değişim)	Düşük (uzun ömürlü, çevreci)
Kullanıma Hazır Olma Süresi	~1 dk	Anlık
Yatırım	Hat uzunluğuna bağlı	Görece daha yüksek
Ürün Maliyeti	Düşük	Yüksek
UVC Dalga Boyundaki Ultraviyole Işını mW/cm²	Çok yüksek	Orta
Fotobaşlatıcı Uyumluluğu	Çok çeşitli fotobaşlatıcılar mevcut	Belirli tiplerle uyumlu



UV-LED Teknolojisinin Geleceği ve Yaygınlaşması

UV-LED teknolojisi, yalnızca metal ambalaj sektöründe değil; **otomotiv, elektronik, tekstil, medikal ve gıda ambalajı gibi birçok sektörde** de çevre dostu çözümler sunma potansiyeline sahiptir.



Teknolojik Gelişmeler

Yeni nesil UV-LED sistemleri, daha geniş dalga boyu aralıkları, geliştirilen uyumlu fotobaşlatıcılar ve kimyasalar ile **uygulama alanlarını sürekli genişletmektedir.**



Artan Sürdürülebilirlik Talebi

Firmaların küresel karbon ayak izinin azaltılması ve enerji verimliliği hedefleri doğrultusunda, **UV-LED sistemlerine olan ilgi hızla artmaktadır.**



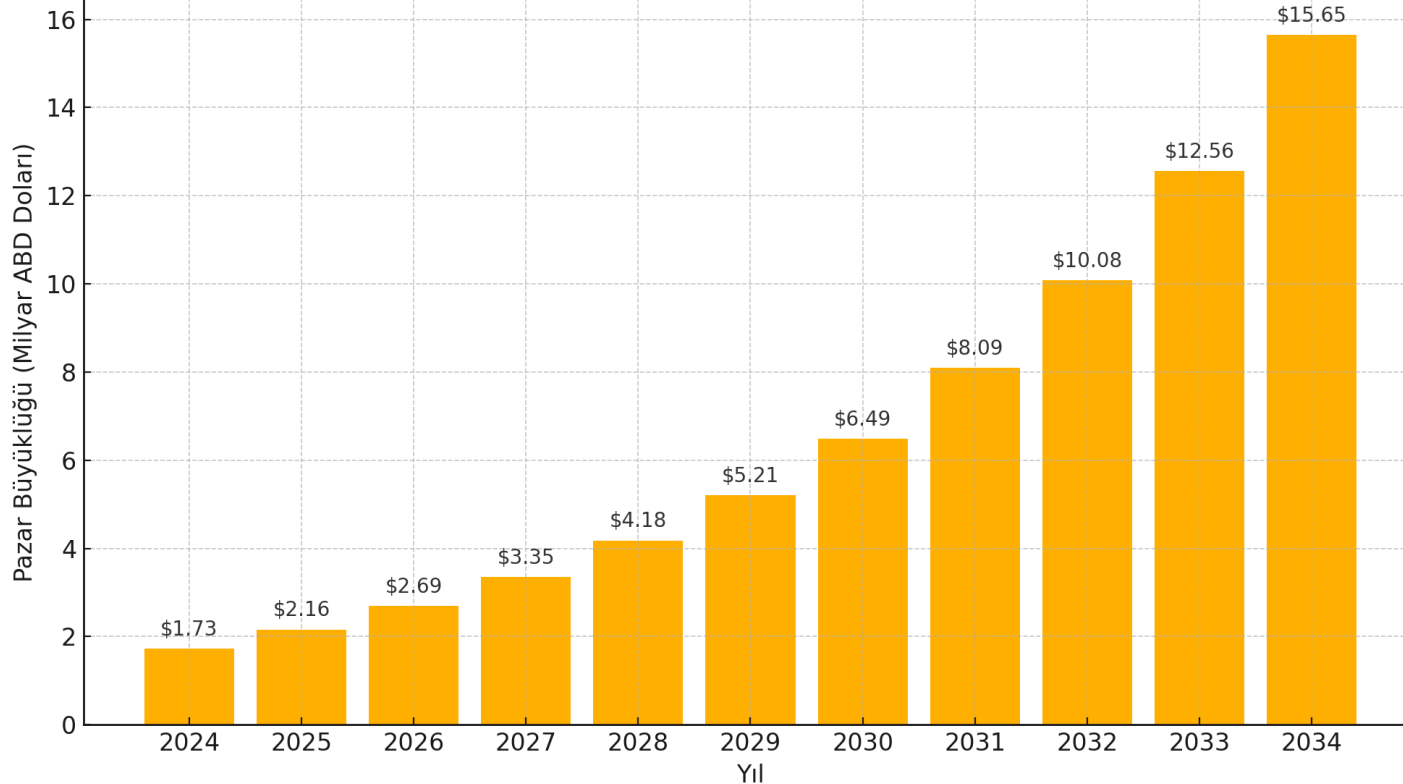
Gelecekteki Rolü

İleri üretim hatlarında, dijitalleşmiş kurlama sistemleri ile entegre çalışarak **akıllı üretim süreçlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmesi** beklenmektedir. **Özellikle yeşil üretim sertifikasyonlarına sahip olmak isteyen firmalar için stratejik bir yatırım alanıdır.**



UV LED Pazar Büyüklüğü Tahmini

UV LED Pazar Büyüklüğü (2024 - 2034)



Precedence Research. (n.d.). UV LED market size 2024 to 2034 (USD billion). Precedence Research. Retrieved April 15, 2025, from <https://www.precedenceresearch.com/uv-led-market>

2024 yılında küresel UV LED pazar büyüklüğü **1,73 milyar ABD dolarını** aşarken, 2034 yılına kadar **15,65 milyar ABD dolarına** ulaşması beklenmektedir. Bu büyüme, **2025-2034 yılları arasında yıllık bileşik büyüme oranı (CAGR) %24,62** olarak öngörülmektedir.

Pazarın bu denli hızlı büyümesinin arkasında, **sağlık ve otomotiv sektörlerinde UV LED teknolojisinin artan kullanımı** ile birlikte, **LED teknolojilerindeki sürekli yenilikler** yer almaktadır. UV LED'ler; sterilizasyon, hava ve su arıtma, yüzey dezenfeksiyonu gibi alanlarda enerji verimliliği ve çevre dostu çözümler sunarak sürdürülebilir teknolojilere olan ilgiyi artırmaktadır.

Özetle

Metal ambalaj sektörü, **yüksek hızda üretim, dayanıklılık ve çevre dostu çözümler** talep etmektedir. Bu noktada, **UV-LED teknolojisi**, sektörde kritik bir rol oynamaktadır. **Düşük karbon salınımı, enerji verimliliği ve atık azaltma** gibi sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir araçtır. UV-LED, geleneksel UV lambalarına göre daha az enerji harcayarak, daha hızlı kürleme süreçleri sunar ve **üretim hızını artırır**. Ayrıca, daha uzun ömürlü ve **geri dönüştürülebilir yapıları** sayesinde çevresel etkiler azaltılmaktadır. Metal ambalaj üreticileri için UV-LED teknolojisi, **maliyetleri düşürüp rekabetçi avantaj sağlar**.



Teşekkürler