

لقطتان لممر واحد: المشتّت المصفرّ لا يظهر إلا بجانب مرجع أبيض جديد. وبداية الاصفرار تعتمد على درجة المادة والتعرّض وحرارة البصريات.

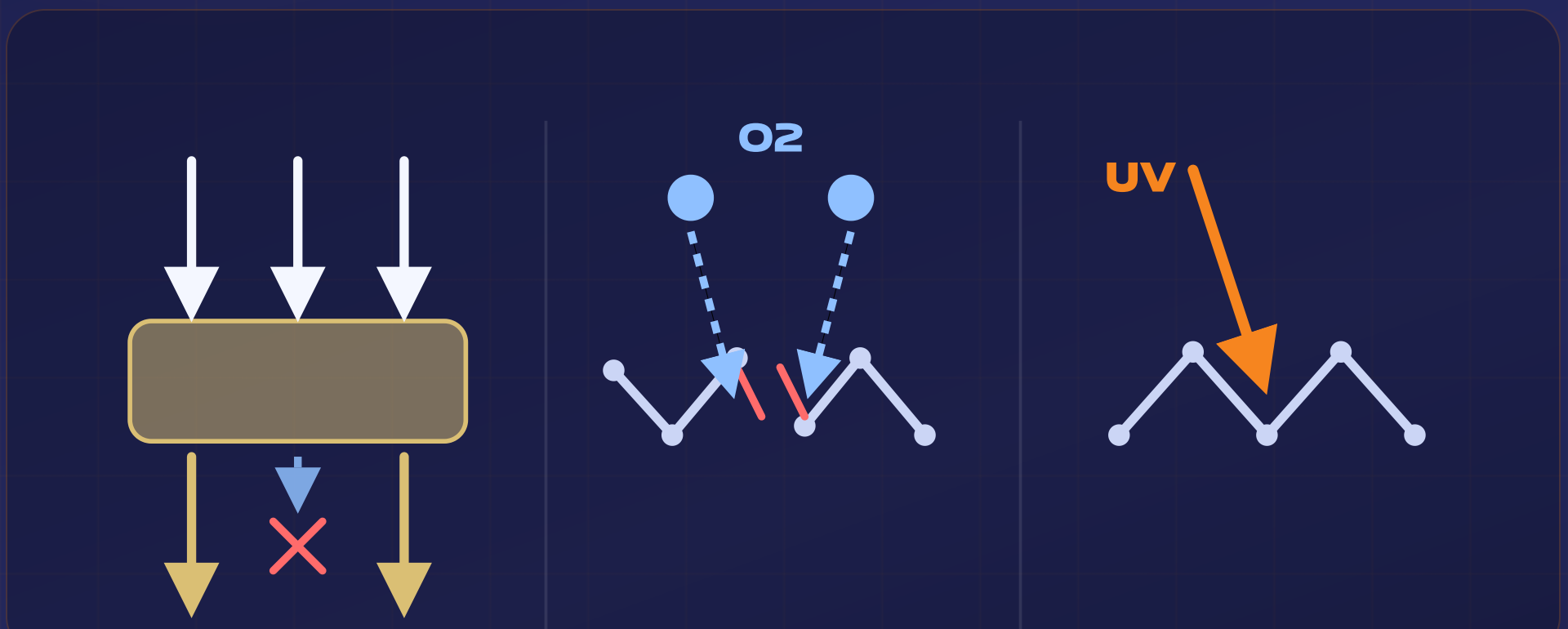
أكاديمية NLC | الحلقة 10

أبيض ناصع عند التسليم، وكهرماني قبل أوانه بسنوات.

لا يصفرّ المشتّت بين ليلة وضحاها؛ فالأشعة فوق البنفسجية وحرارة الخليج تعيدان تشكيل البوليمر ببطء، ولا يظهر الفرق إلا بجانب وحدة جديدة. في هذه الحلقة: الكيمياء وراء الاصفرار، وما يضمنه المصنّعون كتابةً، والأدلة التي تطلبها قبل التوقيع.

الكيمياء

الأشعة فوق البنفسجية + الحرارة = تقادم كيميائي ضوئي.



1. يمكن للأشعة أن تكسر سلاسل البوليمر وتعيد ترتيبها: قصّ السلسلة، وفي البولي كربونات (PC) مسار photo-Fries؛ وأيُّ المسارات يغلب يعتمد على الطول الموجي والأكسجين. [1][2]

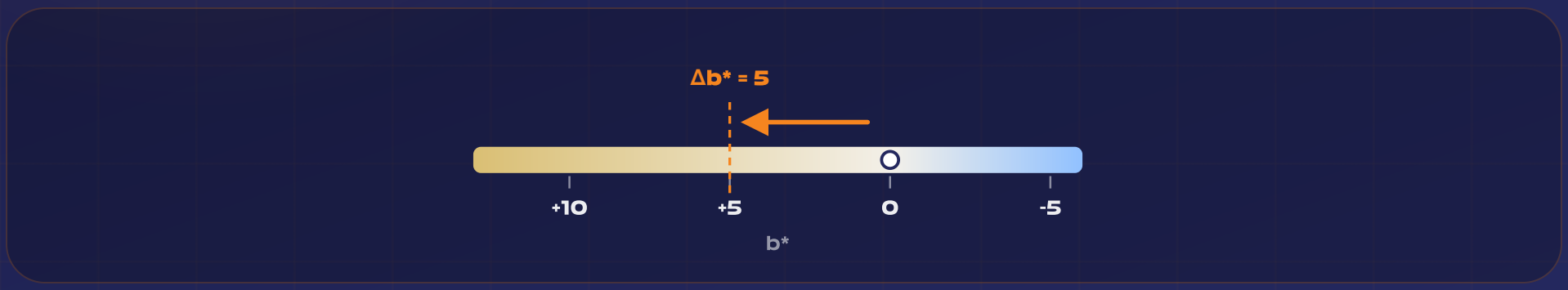
2. المواقع المكسورة والمعاد ترتيبها، وكثير منها بالتفاعل مع الأكسجين، تصير نواتج تحلل ماصّة: الكروموفورات. [3][1]

3. هذه المجموعات تمتص الطرف الأزرق من الطيف، فيعبر الباقي مائلًا إلى الكهرماني. [1]

استبعد الاتساخ أولًا. **الاصفرار الكيميائي المؤكد في كتلة البوليمر** تغيّر لا يعكسه أي تنظيف.

القياس

للاصفرار رقم يقيسه: Δb*.



1. فضاء الألوان CIELAB يقيس المدى من الأزرق إلى الأصفر على محور b*؛ والمشتّت الأبيض الجديد يقع قرب b* = 0. [4]

2. التقادم يدفع b* نحو الموجب. وتُعرض قيمة Δb* = 5 مثالًا متفقًا عليه في المشروع على تغيّر ظاهر للعين، يُتحقق منه على البصريات الفعلية؛ ولا يفرضه أي معيار. [6][5]



مثال على الأجهزة: مطياف HunterLab UltraScan PRO مُهيأ لقياس النفاذية الكلية للبلاستيكيات البصرية.



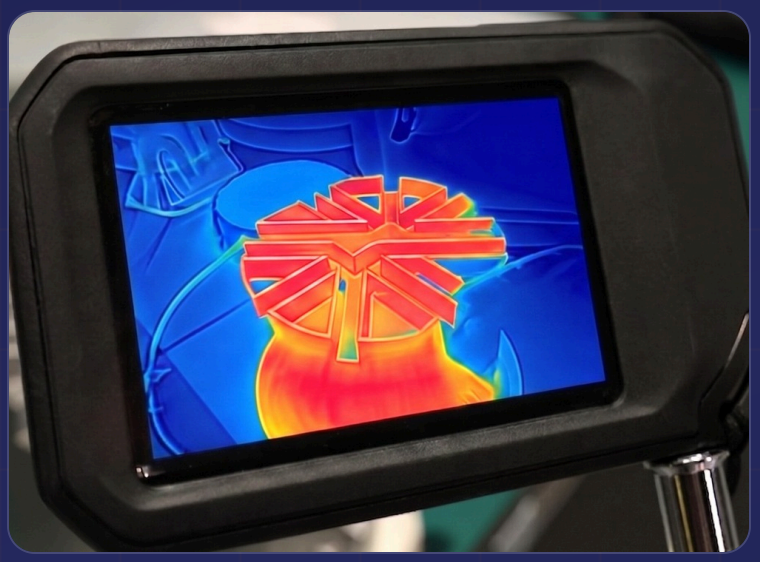
جهاز ميداني محمول: مطياف يدوي لقياسات لون سطحية واصفرار قابلة للتكرار.

تتبّع الاصفرار بتغيّر b* في فضاء CIELAB [4]. ومؤشر الاصفرار (YI) مقياس منفصل وفق ASTM E313-20(2025)، صالح للمقارنة بين المادة نفسها فقط [5]؛ وفرق اللون الكلي (ΔE00) وفق ASTM D2244-25 [6].

المسرّعات

مسرّعان: جرعة UV والحرارة.





كاميرا حرارية على خط الإنتاج: زعانف ساخنة (أحمر) مقابل محيط أبرد (أزرق). ألوان اصطلاحية بلا مقياس: دفء نسبي فقط.

- أشعة شمسية قوية مع حرارة تشغيل مرتفعة للبصريات [9]: متوسط UVA في سماء صافية بالرياض نحو 21.6 W/m² بذروات لحظية تقارب 29.5 W/m². [10]
- كلما سخنت البصريات تسارع تقادمها: دراسة تقادم بالأشعة لبلاستيكيات هندسية عطرية وجدت زيادة 20 إلى 30٪ لكل 10 °C (نطاق صلاحية 35-70 °C). [7]

المحور الرأسي: معدل التقادم النسبي، منحنى توضيحي مرسوم داخل نطاق صلاحية الدراسة فقط، ولا مسار مرسومًا بعده. يعتمد التسارع على المادة والتثبيت والطيف والإجهاد؛ ونظام مصابيح LED زرقاء عند 90-120 °C قاس معاملًا أشد بكثير. [7][8]

العلاج مزدوج: **بصريات مقاومة للأشعة ووحدة تعمل بحرارة أدنى**، تبديد حراري أفضل وتيار تشغيل أقل.

النمط

عشر سنوات ومصيران مختلفان تمامًا.



1. البولي كربونات (PC) غير المثبّت يفقد جودته البصرية تحت الأشعة: تنخفض النفاذية ويرتفع الضباب وينحرف اللون نحو الكهرماني. [25]
2. البصريات المحمية جيدًا قد تحافظ على لونها سنوات طويلة: PMMA المؤهل يحمل ضمانات 30 سنة بلا اصفرار مرئي، والبولي كربونات المؤهل المبثوق بالبثق المشترك ضمانات تقادم 10 سنوات على أساس النفاذية. [19][20]

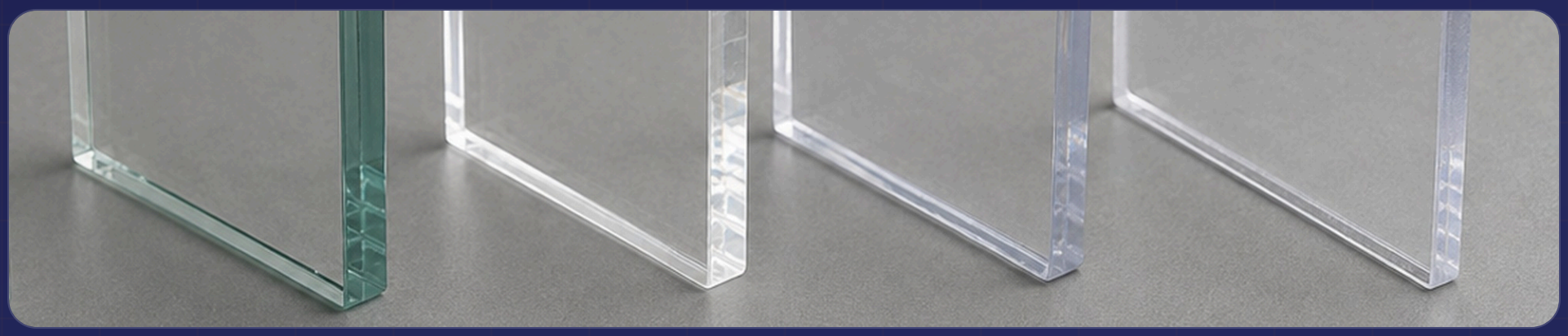


شكلا المنحنيين توضيحيان؛ فلا درجة ولا سماكة ولا دورة تعرّض ولا بيانات عينات خلفهما. والصورة مشهد استوديو توضيحي، لا عيّنة مختبرية.

الفجوة بين المنحنيين **حُسمت يوم اختيار المادة.**

المفاضلة

بوليسترين أم بولي كربونات أم PMMA أم زجاج: اختر مفاضلتك.



من اليمين: **PS** · **PC** · **PMMA** · **زجاج مقسّى**. عيّنات ألواح؛ ولون الحواف وسماكتها يختلفان بحسب العيّنة والدرجة.

PS
الخيار الذي يُتجنّب
البوليسترين: يصفرّ ويتقصّف أسرع الأربعة؛ أبقه خارج المواصفات المعرّضة للأشعة. [27]

PC
متين وسريع الاصفرار
يحتاج حزمة UV حقيقية خارج المباني [25][2]؛ وأفضل الأربعة أمام الصدم. [26]

PMMA
أبقى بياضًا لمدة أطول
ثبات لوني أفضل من PC غير مثبّت [25][20]؛ وأضعف أمام الصدم [26]؛ وبحسب الدرجة.

زجاج
بلا اصفرار بوليمري
لا بوليمر يصفرّ؛ وقد تغيّر المراكز اللونية والاتساخ المظهر [24]. ثقيل وقد يتشظّى.

PC يمتص الصدمة بالانبعاج؛ بينما يقاوم PMMA والزجاج بالصلادة (الحلقة 07).

طابق المادة مع خطر الموقع الحقيقي أولًا، **ثم اشترِ الثبات اللوني على مستوى الدرجة**، بالأدلة.

المكتوب لا المرويّ

دع التقديرات: ما يضمنه المصنّعون كتابةً.

بصريات بوليسترين (PS)
لا ضمان تقادم خارجي يوازي الصفوف أدناه؛ والبوليسترين يصفرّ ويتقصّف أسرع الأربعة. [27]

لا يوجد

لوح بولي كربونات (PC) بطبقة حماية من الأشعة فوق البنفسجية مشوقة بالبثق المشترك
التقادم الجوي والكسر: فقد نفاذية لا يتجاوز 6٪ خلال 10 سنوات (DIN 5036). نطاق أوروبي؛ ويستثني الألواح المهيكلة والمشكّلة حراريًا؛ وتسوية تناسبية بعد السنة الخامسة. [19]

ضمان 10 سنوات

لوح PMMA شفاف من PLEXIGLAS
لا اصفرار مرئيًا مع نفاذية محفوظة على مدى 30 سنة؛ بسماحات لكل نطاق مناخي؛ ويستثني الأسطح المطلية الصلبة. [20]

ضمان 30 سنة

بصريات زجاجية
لا اصفرار بوليمري يحتاج ضمانًا؛ وتبقى المراكز اللونية والاتساخ فحوصًا تطبيقية. [24]

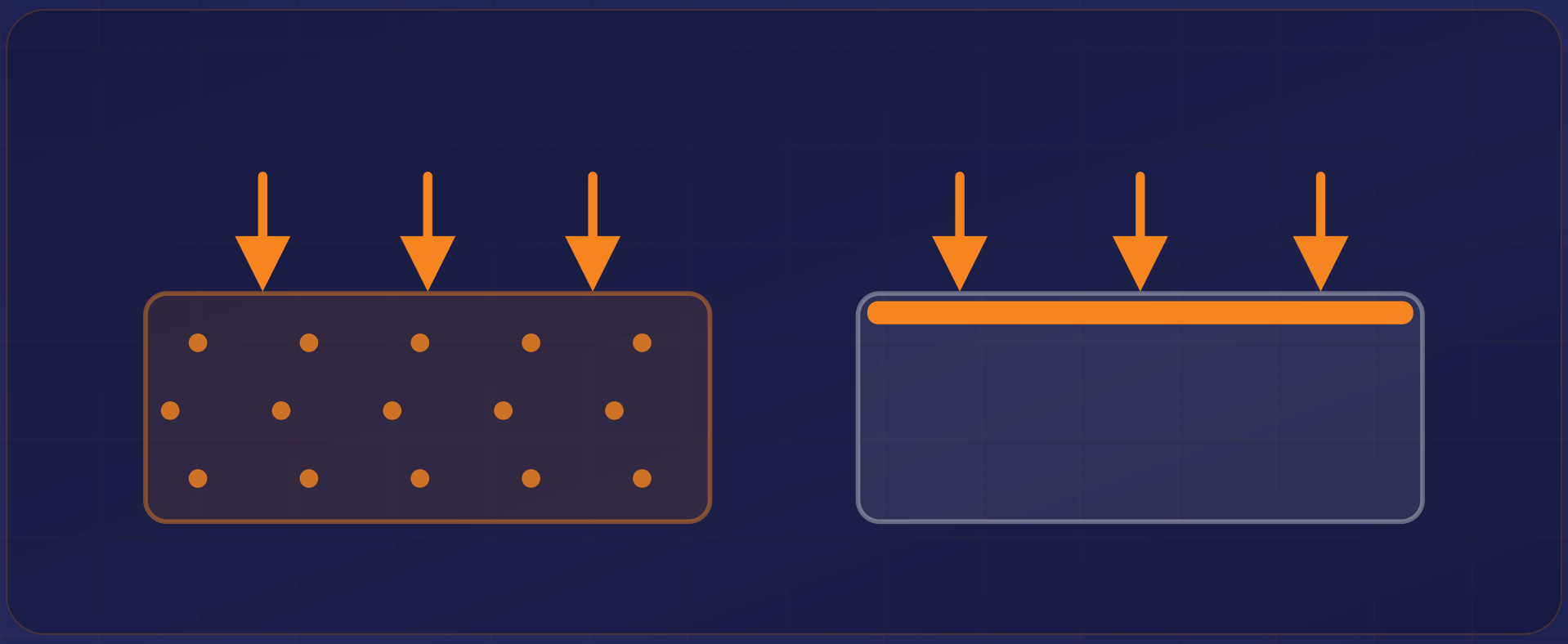
لا ينطبق بوليمريًا

أمثلة ضمانات لمنتجات محددة وفق شروطها المنشورة، لا أعمار مواد شاملة. تحقق من النطاق والاستثناءات وسريانها في الخليج مع المصنّع.

اسأل كل مورّد السؤال نفسه: **أي تغيّر لوني تضمنه، ولكم سنة، ومقاسًا بأي طريقة؟**

الحماية

طبقات سطحية أم تثبيت في الكتلة: كلاهما يحتاج إثباتًا.



1. طبقات حماية مبثوقة بالبثق المشترك والطلاءات الصلبة تركّز الممتصات عند السطح؛ والأنظمة المؤهلة المبثوقة بالبثق المشترك تحمل ضمانات خارجية 10 سنوات. ويعتمد الأداء على سماكة الطبقة وحزمة الممتصات وسلامة السطح، فيدخل الاحتكاك بالرمال في التأهيل. [19]

2. المادة المثبّتة في الكتلة تنشر حزمة UV في كامل السماكة؛ وهي أيضًا مرهونة بالدرجة وتحتاج تحققًا للتعرّض الفعلي، لا افتراضًا.

حدّد وفق **أدلة التحقق ونطاق الضمان وأداء مقاومة الاحتكاك**، لا وفق فئة الحماية.

ورقة البيانات

تقارير LM-80 تجيب عن شريحة LED، لا عن البصريات.

LM-80 / TM-21

يقيس LM-80-21 ثبات التدفق واللون لمصادر إنارة الحالة الصلبة (رقائق LED ومصفوفاتها ووحداتها)، ويستقرئ TM-21-21 مسار التدفق فقط من تلك البيانات؛ ولا يرصد أي منهما تقادم المشتّت أمامها. [16][15]

أدلة على البصريات نفسها

درجة المادة الدقيقة في ورقة بيانات المادة، وتقرير تقادم كامل بشروطه ونتائجه اللونية المقاسة (ISO 4892-2 بقوس زينون أو ASTM G154 بمصابيح UV)، وبيانات على مستوى وحدة الإنارة (LM-84 / TM-28) تُظهر فقد النظام دون عزل البصريات. [18][17][12][11]

ورقة بيانات المادة: الدرجة

ISO 4892-2 / ASTM G154

LM-84 / TM-28

إذا أجاب الكتيّب بتقرير LM-80 حين سألت عن الاصفرار، **فسؤالك لم يُجَب بعد.**

أدوات التصميم

أداتا تصميم: التصميم الحراري وقابلية الصيانة.



التصميم الحراري

التحلل يتسارع مع الحرارة: مبدّد حراري أفضل وتيار تشغيل أقل يبطئان التقادم مباشرة، أيًّا كانت المادة التي اخترتها. [7]

بصريات قابلة للاستبدال

في النقل والملاعب والمنشآت الحرجة حدّد مشتّتًا يُستبدل ميدانيًا: استبدال البصريات بدل الوحدة قد يخفض كلفة دورة الحياة والهدر. احسبها بفاصل الاستبدال والسعر والعمالة والوصول وزمن التوقف وقطع الغيار. [22]

على الطاولة: المشتّت يُرفع كقطعة مستقلة، والوحدة تبقى كما هي.

حدّد المادة لمواجهة الأشعة، **وصمّم التبريد لمواجهة الحرارة**، وأبقِ البصريات قابلة للصيانة.

من تشكيلة NLC

أربع مواد في أربع صفحات كتالوج.

TRIO

إنارة خطية ثلاثية الحماية



22-40 W · IP65 · PC · UV

الغلاف: بولي كربونات مبثوق بحماية UV كما نُشر؛ ولا تذكر الصفحة بصريات منفصلة.

STONY

إنارة هاي بي



100-240 W · IP65 · PC · UV

البصريات: بولي كربونات مقاوم للأشعة. وحرارة التعليق العالى تُجهد حزمة UV أكثر.

VEIL

إنارة بولارد أسطوانية



6-7 W · IP65 · PMMA

البصريات: PMMA. بصريات البولارد بمستوى النظر، فيظهر أي اصفرار مبكرًا.

VALLEY

كشاف وتد LED



9-72 W · IP65 · Glass

نافذة الإنارة: زجاج مقسّى فائق البياض؛ بلا اصفرار بوليمري.

صفوف المواد منقولة من صفحة كل منتج، تحقق بتاريخ 2026-08-24؛ وملاحظات التطبيق من عندنا. ولا تسمّي أي صفحة مصنّع المادة أو درجتها. [23]

قبل التوقيع

خمسة أسطر تبقي البصريات بيضاء.

- سمِّ **درجة المادة الدقيقة وحزمة UV فيها** من ورقة بيانات المادة؛ فاسم العلامة وحده لا يقول شيئًا عن الأداء الخارجي. [21]
- اسأل **كيف تُحمى البصريات**: تثبيت في الكتلة أم طبقة مبثوقة بالبثق المشترك أم طلاء صلب، واطلب أدلة التأهيل ونطاق الضمان. [20][19]
- اكتب **مواصفة لونية مقاسة**: المقياس وهندسة الجهاز وحالة SCI/SCE والمُنير والراصد وسماكة العينة وخلفيتها والقيمة المرجعية وإجراء التنظيف ونقاط القياس وعدد العينات والتغيّر المسموح وفترة الضمان. [5][6]
- اطلب **تقرير تقادم كاملًا** بشروطه ونتائجه المقاسة؛ فذكر ISO 4892-2 أو ASTM G154 أو G155 وحده لا يثبت شيئًا. [11][12][13][14]
- في المنشآت الحرجة حدّد **بصريات قابلة للاستبدال ميدانيًا** وتأكد من توفر قطعة الغيار. [22]

المصادر

كل معلومة في هذه الشرائح لها مصدر.

[1] Rivaton 1995, PDS 49:163 · [2] Diepens, Gijsman 2007, PDS 92:397
[3] Factor, Chu 1980, PDS 2:203 · [4] ISO/CIE 11664-4:2019, CIELAB
[5] ASTM E313-20(2025), yellowness · [6] ASTM D2244-25, colour diff.
[7] Pickett et al. 2019, PDS 166:135 · [8] Gandhi et al. 2019, PDS 164:69
[9] Al-Dhafiri 2000, JAWMA 50:1045 · [10] Maghrabi 2021, TAC 146:631
[11] ISO 4892-2:2013/Amd 1:2021 · [12] ASTM G154-23 · [13] ASTM G155-25
[14] ASTM G151-26 · [15] ANSI/IES LM-80-21 · [16] ANSI/IES TM-21-21
[17] ANSI/IES LM-84-20 · [18] ANSI/IES TM-28-20
[19] Exolon UV 10-yr warranty MF0016 · [20] PLEXIGLAS 30-yr guarantee
[21] Covestro Makrolon portfolio · [22] IEA 2026, LED lighting
[23] NLC catalogue, 4 product pages · [24] SCHOTT TIE-35, glass
[25] Tjandraatmadja 1999, DBMC 8:884 · [26] Plaskolite TUFFAK GP PDS
[27] Yousif, Haddad 2013, SpringerPlus 2:398 (PS photodegradation)

صيغ مختصرة (PDS = Polym Degrad Stab؛ والبقية اختصارات الدوريات المذكورة). الاقتباسات الكاملة مع المعرّفات وتواريخ الوصول (2026-08-24) في وثيقة مصادر الحلقة؛ والمعايير بمراجعاتها السارية.

معرفة عملية في هندسة الإنارة

احفظها. وأرسلها إلى زميل.

اقرأ المقال الكامل للحلقة

https://nlc.com.sa/ar/academy/yellowing.html

الحلقة القادمة

انحراف الأخضر، الأرجواني