

Improving The Performance of AMOLED Displays by Identifying Their Characteristics Using Deep Learning.

Dr. Issam Gazoline* 

(Received 5/ 2 / 2026. Accepted 23 / 2 / 2026)

□ ABSTRACT □

The physical structure of an AMOLED (Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode) display can be defined as an optoelectronic system equipped with a thin-film transistor array (TFT) that controls an array of organic light-emitting diode (OLED) pixels. Each pixel contains a TFT transistor acting as a switch, connected to a transparent anode, an organic emitter layer, and a common cathode, allowing for precise control of the current and light emitted by each pixel. The overall structure consists of a series of layers resting on a central substrate layer, and often includes additional optical films and a touchscreen panel.

AMOLED (Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode) is a self-emissive display technology that controls each individual pixel using a thin-film transistor array (TFT). This multi-layered physical structure enables superior contrast, vibrant colors, and flexible designs not available in backlit technologies like LCDs.


The research aims to adopt deep learning algorithms in order to achieve higher accuracy to improve response efficiency when designing an AMOLED display, based on deep learning algorithms.

Keywords: Amoled, Light Emitting, Deep Learning, Thin Film Transistors (TFT).

Copyright  :Latakia University Journal (Formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Assistant Professor computing and basic sciences Department, Faculty of Civil Engineering., Lattakia university (Formerly Tishreen) , Lattakia, Syria.
essamgazolen@latakia-univ.edu.sy,

تحسين أداء شاشات AMOLED اعتماداً على تحديد خصائصها باستخدام التعلم العميق


د. عصام غزولين* 

(تاريخ الإيداع 5 / 2 / 2026. قبل للنشر في 23 / 2 / 2026)

□ ملخص □

يمكن تعريف البنية الفيزيائية لشاشة AMOLED (Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode) على أنها عبارة عن نظام كهروضوئي مزود بمصفوفة ترانزستور غشائي رقيق (TFT-Thin film Transistor Array) تتحكم في مصفوفة من بكسلات الصمام الثنائي الباعث للضوء العضوي (OLED- Organic Light-Emitting Diode). يحتوي كل بكسل على ترانزستور TFT يعمل كمفتاح، متصل بمصعد Anode شفاف، وطبقة عضوية باعثة، ومهبط Cathode مشترك، مما يسمح له بالتحكم بدقة في التيار والضوء المنبعث من كل بكسل. يتكون الهيكل العام من مجموعة طبقات تتوضع على طبقة قاعدية مركزية، وغالباً ما يتضمن أفلاماً بصرية إضافية ولوحة شاشة تعمل باللمس. شاشة AMOLED (الصمام الثنائي العضوي الباعث للضوء ذي المصفوفة النشطة) هي تقنية عرض ذاتية الانبعاث، تتحكم في كل بكسل على حدة باستخدام مصفوفة ترانزستور رقيقة الأغشية (TFT). يتيح هذا الهيكل المادي، المكون من طبقات متعددة، تبايناً فائقاً وألواناً نابضة بالحياة وتصميمات مرنة لا تتوفر في تقنيات الإضاءة الخلفية مثل شاشات LCD (Liquid Crystal Display). يهدف البحث إلى اعتماد خوارزميات التعلم العميق من أجل تحقيق أعلى دقة بين السطوح والاستهلاك بحيث يتم تحسين فعالية الاستجابة عند تصميم شاشة من نمط AMOLED.

الكلمات المفتاحية: AMOLED، باعث ضوئي، التعلم العميق، الترانزستورات رقيقة الأغشية TFT.

حقوق النشر  : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

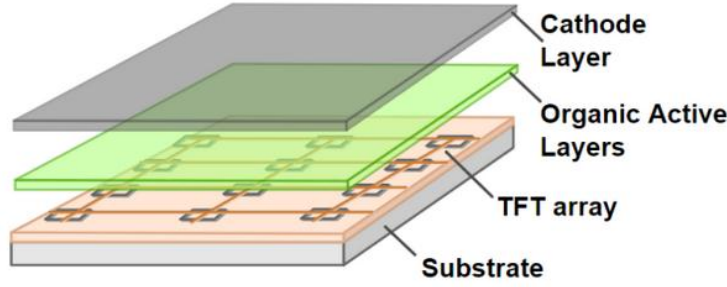
الترخيص 04 CC BY-NC-SA

* مدرس، قسم الحوسبة والعلوم الأساسية، كلية الهندسة المدنية، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، اللاذقية، سوريا.

essamgazolen@latakia-univ.edu.sy

مقدمة:

تعتبر شاشات AMOLED (الصمام الثنائي العضوي الباعث للضوء ذي المصفوفة النشطة)، تقنية عرض متطورة تستخدم شبكة من ترانزستورات الأغشية الرقيقة (TFTs) للتحكم في كل بكسل باعث للضوء بشكل فردي. يتيح هذا التحكم تبايناً فائقاً على مستوى البيكسل ، ولوناً أسود حقيقياً، وألواناً نابضة بالحياة، وأوقات استجابة سريعة مقارنةً بتقنيات العرض التقليدية[1].



الشكل (1): بنية شاشة AMOLED

تتألف هذه الشاشات من مجموعة من الأقسام والتي يمكن تمثيلها كما يلي:

- **طبقة القاعدة:**

وهي الطبقة السفلية التي تُشكل أساس جميع المكونات الأخرى. تختلف هذه القاعدة وفقاً لنوع الشاشة حيث يوجد نوعين رئيسيين هما:

- شاشة AMOLED صلبة: تستخدم مادة صلبة وشفافة، عادةً ما تكون من الزجاج، كركيزة.
- شاشة AMOLED مرنة: تستخدم ركيزة بلاستيكية مرنة، مثل البولي إيميد (PI)، للأجهزة القابلة للانحناء والثني والطي.
- اللوحة الخلفية لترانزستور الأغشية الرقيقة (TFT):

تُعد هذه الطبقة "المصفوفة النشطة" للشاشة، وتحتوي على ملايين الترانزستورات والمكثفات المجهرية التي تتحكم في كل بكسل من البيكسلات على الشاشة. يُستخدم ترانزستوران TFT على الأقل لكل بيكسل - أحدهما لتشغيل البكسل وإيقافه - والآخر لتنظيم التيار الذي يُحدد سطوعه. غالباً ما يستخدم المصنعون شاشات TFT من السيليكون متعدد البلورات منخفض الحرارة (LTPS - Low Temperature Silicon) لتحقيق أوقات استجابة سريعة ودقة عالية[1]. يحتفظ مكثف تخزين في كل بكسل بالجهد حتى دورة التحديث التالية، مما يضمن تياراً مستقرًا للحصول على سطوع ثابت.

- **Anode:**

طبقة موصلة شفافة، مصنوعة عادةً من أكسيد الإنديوم والقصدير (ITO)، تُوضع أعلى اللوحة الخلفية لشاشة TFT. غرضها هو حقن "ثقوب" (حاملات شحنة موجبة) في الطبقات العضوية.

- الطبقات العضوية: وتعتبر هذه الطبقات جوهر تقنية OLED، حيث يُولّد الضوء فعلياً من خلال التلاؤم الكهربائي. حيث تساعد طبقتا حقن الثقوب (HIL-Holes Injection Layer) ونقل الثقوب

(HTL - Holes Transmission layer) على نقل حاملات الشحنة الموجبة من المصعد إلى الطبقة الباعثة.

تتضمن أيضاً هذه الطبقات ما يعرف بالطبقة الباعثة (EML- Emitting Layer) المصنوعة من مواد عضوية تتوهج عند تطبيق جهد كهربائي. في شاشات العرض بالألوان الكاملة، تُقسّم هذه الطبقة إلى وحدات بكسل فرعية منفصلة

باللون الأحمر والأخضر والأزرق. في بعض شاشات OLED بتقنية QD-OLED (Quantum Dot-OLEDs)، تُستخدم شاشات OLED الزرقاء مع محولات الألوان لإنتاج الضوء الأحمر والأخضر. في حين تسهل طبقة نقل الإلكترونات (ETL-Electrons Transmitting Layer) وطبقة حقن الإلكترونات (Electrons Injection Layer) -EIL نقل حاملات الشحنة السالبة (الإلكترونات) من المصعد إلى الطبقة المنبعثة. هذه المركبات العضوية حساسة للغاية للأكسجين والرطوبة، مما قد يُسبب تحللها. وهذا يتطلب طبقة تغليف متينة [2].

• Cathode:

طبقة معدنية عاكسة، مثل الألمنيوم أو سبيكة المغنيسيوم والفضة، تغطي الطبقات العضوية وتحقق فيها الإلكترونات. التغليف:

الطبقة العلوية التي توفر حاجزاً أساسياً ضد الرطوبة والأكسجين، اللذين قد يُدمران الطبقات العضوية. حيث تقوم بحماية المواد العضوية الحساسة وزيادة عمر الشاشة. غالباً ما تستخدم شاشات AMOLED الصلبة غطاءً زجاجياً، بينما تعتمد شاشات AMOLED المرنة على التغليف الرقيق (TFE-Thin Film Encapsulation)، الذي يستخدم طبقات متناوبة من المواد العضوية وغير العضوية لتحقيق عزل عالي الأداء وخفيف الوزن ومرن.

المستقطب

• طبقة خارجية نهائية تقلل انعكاسات الضوء المحيط، مما يُحسن الرؤية والتباين في البيئات الساطعة. تعمل لتحقيق مجموعة من الخصائص الأساسية وهي:

آلية عمل شاشات AMOLED:

تعطي شاشات AMOLED ظاهرة تسمى بظاهرة التألق الكهربائي، حيث أنها، وعند تطبيق جهد كهربائي عبر المصعد والمهبط، يتم حقن الإلكترونات والفجوات في الطبقات العضوية. حيث تتجذب حاملات الشحنة الموجبة والسالبة هذه نحو بعضها البعض بفعل القوى الكهروستاتيكية. وتلتقي هذه الناقلات في الطبقة المنبعثة لتشكل حالة مثارة تُسمى الإكسيتون (انبعاث الفوتون). تمثل الإكسيتون حالة غير مستقرة وعالية الطاقة. عندما يسترخي هذا الإكسيتون ويعود إلى حالته الأساسية، يُطلق طاقته الزائدة على شكل ضوء (فوتون). يعتمد لون الضوء على فرق الطاقة، أو فجوة النطاق، للمادة العضوية [3].

يلي ذلك عمليات التحكم بالبكسل حيث تعمل شاشة TFT في كل بكسل فرعي كبوابة، تتحكم بدقة في التيار المتدفق عبر شاشة OLED. من خلال ضبط التيار، يمكن تعديل سطوع كل بكسل فرعي أحمر وأخضر وأزرق، مما يسمح لشاشة AMOLED بتوليد ملايين الألوان.

للحصول على صورة سوداء، تمنع شاشة TFT ببساطة التيار من التدفق إلى البكسل. نظراً لعدم إنتاج أي ضوء، يكون البكسل مطفأً تماماً، مما يؤدي إلى نسبة تباين لا نهائية نظرياً. تستخدم شاشات AMOLED الحديثة مواد متطورة، مثل الثنائيات الباعثة للضوء العضوية الفوسفورية (PHOLEDs)، لتحويل الطاقة الكهربائية إلى ضوء بكفاءة كمومية داخلية تقترب من 100%.

تتمثل عوامل جودة شاشات AMOLED بصورة رئيسية بالتباين ومستويات السواد، والتي يتم تحقيقها بإيقاف تشغيل وحدات البكسل الفردية للحصول على تباين لا نهائي؛ وإمكانية التحكم بمجالات التيار الأمر الذي يعطي دقة الألوان وحيويتها، والتي يمكن أن تكون أكثر تشبعاً من شاشات LCD؛ بالإضافة إلى تحسين مميزات زمن الاستجابة،

مما يؤدي إلى حركة أكثر سلاسة مع ضبابية أقل؛ كما تتمتع هذه الشاشات بكفاءة الطاقة، حيث تُستخدم الطاقة فقط لوحدات البكسل المضيئة.

تشمل العوامل الأخرى السطوع، ، والقدرة على إنشاء شاشات أنحف وأكثر مرونة نظراً لعدم وجود إضاءة خلفية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة وتحليل العوامل المؤثرة على أداء شاشات AMOLED وإمكانية تحسين هذا الأداء من خلال اعتماد تقنيات التعلم العميق. الهدف الرئيسي للبحث إيجاد النقطة الفعالة والتي تحقق السطوع الأفضل واستهلاك الطاقة الأدنى مما يسمح بالحصول على تجربة عرض مثالية للمستخدم وعمر أطول للشاشات سواء من ناحية الاستخدام اليومي أو العمر التشغيلي.

تم الاعتماد في الدراسة على تقنية تعلم فائقة تتمثل بالخوارزمية الجينية والتي تقوم بالبحث ضمن مجموعة من الحلول المتاحة والمتمثلة بالتتابع الأهداف (وتتمثل هنا بمعادلات حساب الاستطاعة المستهلكة والسطوع) لتعطي الحل المثالي من ضمن مجموعة الحلول على شكل قيمة مفردة تسمى نقطة باريتو Pareto Point أو مجموعة من النقاط تسمى جبهة باريتو Pareto Front. في التحسين متعدد الأهداف (Multi-Objective Optimization) — عندما يكون لدينا أكثر من هدف (مثلاً: تقليل الكلفة وتقليل الزمن معاً) — لا نستطيع غالباً تحسين جميع الأهداف في نفس الوقت بشكل كامل. هنا تظهر فكرة نقطة باريتو وهي حل لا يمكن تحسين أحد أهدافه دون أن يسوء هدف آخر. أي أن الحل يكون "أمثل نسبياً" ضمن مجموعة حلول، ولا يوجد حل آخر يتفوق عليه في جميع الأهداف معاً. لنفترض أننا نريد تقليل استهلاك الطاقة وزيادة الأداء، إذا وجدنا حلاً يحقق الشروط طاقته منخفضة وأدائه جيد ولكن إذا حاولنا زيادة الأداء أكثر سيرتفع استهلاك الطاقة إذن هذا الحل قد يكون نقطة باريتو.

طرائق البحث ومواده:

اعتمدت الدراسة على تحليل ومحاكاة النظام باستخدام برمجية MATLAB حيث تمت عملية المحاكاة لتمثيل شاشة AMOLED بخصائص سماكة وتركيب مشابهة للظروف الطبيعية ومن ثم تحديد تأثير تغيرات التيارات على معاملات السطوع للألوان الثلاثة أزرق - أحمر - أخضر ومن ثم اعتماد الخوارزمية الجينية من أجل تحسين معاملات السطوع عند قيم جهد منخفضة مع الحفاظ على توازن اللون الأبيض.

تقنيات كشف الأعطال في الأجهزة الإلكترونية:

يوجد العديد من الخصائص التي تحدد جودة وفعالية شاشات العرض على اختلاف أنواعها والتي قد تتمثل إما بخصائص فيزيائية تتبع بنية الشاشة بحد ذاتها أو الخصائص الفيزيائية التابعة لها.

خصائص الشاشة

A. التباين ومستويات السواد:

تتميز شاشات AMOLED بقدرتها على تحقيق "اللون الأسود الحقيقي" عن طريق إيقاف تشغيل وحدات البكسل الفردية تماماً. هذا يُنتج نسبة تباين عالية جداً، تكاد تكون لا نهائية، مما يُعزز عمق الصورة ويُضفي مظهرًا جذابًا للوسائط.

توفر هذه الشاشات عمومًا نطاقًا لونيًا واسعًا، مما ينتج عنه ألوان زاهية ومشبعة. ورغم أن هذا قد يكون أكثر جاذبية من الناحية البصرية، إلا أن بعض المستخدمين قد يفضلون درجات الألوان الأكثر هدوءًا، والتي غالبًا ما تكون أكثر دقة، لشاشات IPS LCD لمهام احترافية محددة.

B. زمن الاستجابة:

تعمل وحدات بكسل AMOLED وتتطفي بشكل أسرع من شاشات LCD، مما يُنتج زمن استجابة أسرع. هذا يؤدي إلى حركة أكثر سلاسة مع تشويش انتقال أقل، وهو أمر مفيد بشكل خاص للألعاب ومشاهدة مقاطع الفيديو السريعة.

C. السطوع:

يُعد سطوع شاشات AMOLED عاملاً مؤثرًا في الرؤية الخارجية. في حين أن شاشات AMOLED القديمة قد تكون أقل سطوعًا من بعض شاشات LCD، إلا أن التقنيات الأحدث تتطور لمنافسة شاشات LCD عالية السطوع، بل ومطابقتها [5].

الخصائص الفيزيائية والكفاءة

A. كفاءة الطاقة:

نظرًا لأن كل بكسل يُصدر ضوءًا ذاتيًا، لا تُستهلك الطاقة إلا عند إضاءته. هذا يجعل شاشات AMOLED موفرة للطاقة للغاية، خاصةً عند عرض محتوى داكن أو أسود.

B. السُمك والمرونة:

بدون طبقة إضاءة خلفية منفصلة، يُمكن تصنيع شاشات AMOLED ذات سماكة أقل. هذا يسمح أيضًا بإنشاء شاشات مرنة وقابلة للطي و مقاومة للكسر مقارنةً بشاشات LCD التقليدية المصنوعة من الزجاج.

C. زاوية الرؤية:

تحافظ شاشات AMOLED بشكل عام على جودة الألوان والسطوع من زوايا رؤية واسعة، على الرغم من إمكانية حدوث بعض تغيرات اللون في الزوايا الحادة.

D. المتانة واحترق الصورة:

على الرغم من أن جودة كل بكسل على حدى قد تتدهور بمرور الوقت، إلا أن الشركات المصنعة تعمل باستمرار على تحسين متانة شاشات AMOLED للحد من مشاكل مثل احترق الصورة.

تعلم الآلة والخوارزمية الجينية (Genetic Algorithm – GA) [5]:

تعلم الآلة (Machine Learning) هو أحد فروع الذكاء الاصطناعي الذي يهدف إلى تمكين الأنظمة الحاسوبية من التعلم من البيانات دون برمجة صريحة لكل حالة. يعتمد على بناء نماذج رياضية تستطيع اكتشاف الأنماط والعلاقات داخل البيانات. كلما زادت كمية البيانات وجودتها، تحسّن أداء النموذج ودقته. ينقسم تعلم الآلة إلى ثلاثة أنواع رئيسية: التعلم المُراقب (Supervised Learning)، والتعلم غير المُراقب (Unsupervised Learning)، والتعلم المعزّز (Reinforcement Learning). في التعلم المُراقب يتم تدريب النموذج باستخدام بيانات معروفة النتائج، بينما في غير المُراقب يحاول النظام اكتشاف البنية الداخلية للبيانات. أما التعلم المعزّز فيعتمد على مبدأ المكافأة والعقوبة لاتخاذ قرارات متتالية. تُستخدم خوارزميات مثل الانحدار الخطي، وأشجار القرار، والشبكات العصبية في تطبيقات تعلم الآلة. يدخل تعلم الآلة في مجالات عديدة مثل الرؤية الحاسوبية، ومعالجة اللغة الطبيعية، والأنظمة الطبية الذكية، وإنترنت الأشياء. ويُعد اليوم من أهم التقنيات الداعمة لاتخاذ القرار الذكي وتحليل البيانات الضخمة.

تُعد الخوارزمية الجينية إحدى أهم خوارزميات التحسين التطوري (Evolutionary Optimization)، وهي مستوحاة من مبادئ الانتقاء الطبيعي والتطور البيولوجي كما وصفها داروين. تُستخدم هذه الخوارزمية لإيجاد حلول شبه مثلى أو مثلى لمسائل تحسين معقدة يصعب حلها باستخدام الطرق التقليدية، خاصة عندما تكون الدوال غير خطية أو متعددة الأهداف أو تحتوي على قيود كثيرة. تعتمد الخوارزمية الجينية على تمثيل الحلول المحتملة للمسألة على شكل أفراد (Individuals) ضمن مجتمع (Population)، حيث يُمثل كل فرد بسلسلة من القيم تُسمى الكروموسوم (Chromosome)، وتُعرف عناصره باسم الجينات (Genes). تمثل هذه الجينات المتغيرات التي نرغب في تحسينها. تعمل الخوارزمية الجينية وفقاً لمجموعة من الخطوات يمكن تمثيلها بما يأتي:

1. تهيئة المجتمع (Initialization)

في البداية يتم إنشاء مجتمع أولي يتكون من عدد محدد من الأفراد، وغالباً ما تُولد هذه الأفراد عشوائياً ضمن حدود القيم المسموح بها للمتغيرات. الهدف من هذه المرحلة هو استكشاف فضاء الحلول بشكل واسع.

2. تقييم الملاءمة (Fitness Evaluation): يتم تقييم كل فرد باستخدام دالة ملاءمة (Fitness Function)، والتي تقيس جودة الحل. كلما كانت قيمة دالة الملاءمة أعلى (أو أقل في مسائل التقليل)، كان الحل أفضل. تمثل هذه الدالة قلب الخوارزمية لأنها تعكس الهدف الفيزيائي أو الهندسي المراد تحسينه.

3. الانتقاء (Selection)

يتم اختيار الأفراد الأكثر ملاءمة ليكونوا آباء الجيل التالي. من أشهر طرق الانتقاء:

- انتقاء العجلة الدوارة (Roulette Wheel).
- انتقاء البطولة (Tournament Selection).

يهدف الانتقاء إلى إعطاء فرص أكبر للحلول الجيدة للانتقال إلى الأجيال القادمة.

4. التزاوج (Crossover)

في هذه المرحلة يتم تبادل الجينات بين زوج من الآباء لإنتاج أفراد جدد (أبناء). يساهم التزاوج في استكشاف حلول جديدة تجمع خصائص جيدة من أكثر من حل.

5. الطفرة (Mutation)

تُجرى الطفرة بتغيير عشوائي صغير في بعض الجينات، وباحتمال منخفض. تهدف الطفرة إلى:

- منع الوقوع في الحلول المحلية.
- الحفاظ على التنوع الجيني داخل المجتمع.

6. تكوين الجيل الجديد (Replacement)

يتم استبدال الجيل القديم بالجيل الجديد الناتج، مع إمكانية الاحتفاظ بأفضل الأفراد (Elitism) لضمان عدم فقدان أفضل الحلول التي تم التوصل إليها.

معايير الإيقاف (Stopping Criteria)

تتكرر مراحل الخوارزمية الجينية عبر عدة أجيال إلى أن يتحقق أحد الشروط التالية:

- الوصول إلى عدد معين من الأجيال.
- عدم تحسن دالة الملاءمة بعد عدد من التكرارات.
- الوصول إلى قيمة ملاءمة مرضية.

يوجد العديد من المزايا التي تزيد من فعالية الخوارزمية الجينية، حيث لا تتطلب مشتقات رياضية كما أنها مناسبة للمسائل غير الخطية والمعقدة وقادرة على التعامل مع مسائل متعددة الأهداف بالإضافة إلى كونها مرنة وقابلة للتطبيق على نطاق واسع من التطبيقات.

إلا أنها قد تعاني من الحاجة إلى زمن حسابي كبير بالإضافة إلى أنها قد لا تتضمن دائماً الحل الأمثل المطلق كما أنها تعتمد جودة النتائج على اختيار معاملات الخوارزمية.

الدراسات المرجعية:

يوجد العديد من الدراسات التي اقترحت العديد من التحسينات على شاشات الإظهار باستخدام تقنيات مختلفة. اقترح البحث [6] بنية Multi-VAI (Voltage Anode Initialization) لتحسين جودة الصورة في شاشات AMOLED ذات السطوع المنخفض، حيث يسمح بتعديل جهد التشغيل لكل لون بشكل مستقل. أظهرت النتائج انخفاضاً في تباين السطوع بنسبة 12% وانحراف اللون بنسبة 41% مقارنةً بالهياكل التقليدية، ما يعزز الاستقرار البصري عند مستويات سطوع منخفضة مع تعزيز التعويض عن التغيرات الحرارية وحركات التيار. التطبيق العملي على لوحة 13-إنش يؤكد جدوى التصميم في الاستخدام الفعلي للأجهزة المحمولة.

قدمت الدراسة [7] مخطط Variable Reset Voltage (VRV) لتقليل ظاهرة الوميض في شاشات AMOLED عند الترددات المنخفضة، والتي تنتج عن تأثيرات ترانزستورات TFT. من خلال تعديل توقيت الإشارات وقيم VRV داخل الإطارات غير المحدثة، انخفضت سعة وميض السطوع إلى أقل من النصف، مما يحسن تجربة مشاهدة المحتوى الحركي والمحتوى الثابت على حد سواء.

حلل الدراسة [8] استهلاك الطاقة بشاشات AMOLED مقارنة بتقنيات أخرى مثل TFT LCD في الأجهزة المحمولة، حيث كشفت عن توفير كبير في الطاقة يصل إلى أكثر من 70% في شاشات AMOLED في بعض الظروف. تشير النتائج أيضاً إلى أهمية استراتيجيات تحسين كفاءة الطاقة وتقليل الفاقد الحراري في تصميم AMOLED بهدف زيادة عمر البطارية وتحسين الأداء العام.

قارنت الدراسة [9] بين تقنيات AMOLED, LCD، حيث أبرزت أن AMOLED تقدم كفاءة طاقة أعلى واستجابة أسرع مقارنة بشاشات LCD التقليدية، خاصة عند عرض محتوى معتم اللون. أكدت الدراسة أيضاً دور التحكم في البكسل والتصميم البنوي في تحسين الأداء الطاقوي مع الحفاظ على جودة الصورة العالية.

قدم العرض في [10] مراجعة شاملة لتطور تكنولوجيا AMOLED وتحديد أهم التحديات والاتجاهات المستقبلية، مثل اعتماد الطبقات العضوية، التحكم الدقيق في البكسلات عبر TFT، والاستفادة من قوس التشغيل النشط لتحقيق زمن استجابة أسرع وتباين أعلى. كما ناقش التقنيات المستقبلية المرتبطة بالمواد والبنى النانوية لتحسين الجودة والكفاءة.

ركز العمل المقدم في [11] على تحسين جودة الصورة عند مستويات سطوع منخفضة جداً لشاشات AMOLED، خاصة في ظل التيارات الصغيرة وسرعة الشحن للثنائيات العضوية. يُظهر أن تحسين الفولتية اللازمة لشحن OLED يقلل من التشوهات الكهربائية المرتبطة بالتشبع، مما يؤدي إلى صورة أكثر اتساقاً حتى عند السطوع الضعيف.

أظهرت الدراسة [12] فعالية استخدام تصميمات نانوية محسنة لتحسين استخراج الضوء من بنية OLED، مما يعزز كفاءة الإضاءة اللونية وفقاً لطول الموجة باستخدام مصفوفات نانوية مُحسنة عبر خوارزمية PSO علاوة على ذلك، أظهرت هذه التقنية تحسناً كبيراً في كفاءة استخراج الضوء للون الأحمر والأخضر والأزرق، ما يرفع الكفاءة الطاقوية الكلية للعرض.

عاجت الدراسة [13] مشكلة تدهور جودة اللون والسطوع عند تغيير معدل التحديث في شاشات AMOLED باستخدام تقنية (Variable Initial Voltage) V_INI عند تبديل المعدلات بين 60 و 120 هرتز، انخفض الفرق الملحوظ في السطوع واللون بشكل كبير، مما يحافظ على ثبات التجربة البصرية بدون خطوات تعويض إضافية أو تغييرات في الهيكل البنيوي للبيكسل. يُعد هذا مهماً للأجهزة التي تدعم معدلات تحديث ديناميكية.

قدم البحث [14] استعراضاً لأطر تحسين جودة الصورة في OLED/AMOLED عند السطوع المنخفض، مشيراً إلى أن تصميم الدوائر والقيادة الكهربائية وتوصيل الجهد والكودات الزمنية تلعب دوراً رئيسياً في تحقيق تباين مرتفع مع استهلاك منخفض للطاقة، إضافةً إلى مناقشة أثر الـ PWM (Pulse Width Modulation) والـ DC dimming ضمن سياق الأداء.

عززت الدراسة [15] التباين اعتماداً على نموذج مدعوم بالذكاء الاصطناعي مع تحكم في الطاقة لشاشات OLED، هدفت الدراسة إلى تقليل استهلاك الطاقة بينما تُحافظ على جودة الصورة. تم استخدام الشبكات العصبية التلافيفية (CNN-Conventional Neural Network) للتعلم غير المراقب والتعديل الديناميكي للتباين دون مرجع صورة خارجي، محققاً أداءً أفضل في مؤشرات جودة الصورة مقارنة بالطرق التقليدية مع الحفاظ على قيود الطاقة.

النتائج والمناقشة:

تأثير الانعكاسية الضوئية مع طول الموجة لعدد من المواد:

يهدف البحث إلى استخدام تقنيات التعلم العميق لتحسين أداء شاشات AMOLED من خلال مجموعة من المحددات. تم تحليل إجراء عملية التحسين من خلال الاعتماد على نموذج متعدد الأهداف يربط بين معدل استهلاك الطاقة ومقدار التدهور/الشيخوخة في شاشة الإظهار. بالإضافة إلى ذلك، تم إضافة عدد من القيود الحدية أثناء عملية التحسين والتي تضمنت القيود الحرارية لعمل الشاشة بالإضافة إلى تغير التيار بين الإطارات والذي يعتبر قيداً ديناميكياً.

من أجل تخفيض معدلات احتراق الصورة تم إدخال خوارزمية تحكمية قائمة على استراتيجية Pixel Shift Averaging. كما تم إعداد نموذج تسريع حراري مبسط. تمت التجربة من خلال محاكاة شاشة AMOLED مؤلفة من مجموعة من البيكسلات حيث يستهلك كل بيكسل تيار محدد I . يسبب كل تيار سطوع ضوئي يعطى بالعلاقة:

$$L = K \times I^m \quad (1)$$

حيث k, m معاملات السطوع الخاصة بكل بيكسل.

في حين تعطى الاستطاعة المستهلكة بالعلاقة:

$$P_{total} = \sum(Vled * I) \quad (2)$$

حيث $Vled$ الجهد المطبق على البيكسلات.

تتعرض عندها الشاشة لتأثير حراري يعطى بالعلاقة:

$$Tss = Tamb + P_{total}(h_{conv} + 0.1) \quad (3)$$

حيث h_{conv} معامل التسريب الحراري. وبالتالي يكون التدهور (أو الشيخوخة) بسبب تأثير كل من الحرارة والتيار:

$$aging = 1 - \exp(-\gamma * (I^p) * \exp(\beta_T * (Tss - Tamb))) \quad (4)$$

يوضح الشكل (2) النتائج التي تم الوصول إليها عند القيام بالمحاكاة، عند حساب قيم القدرة والشيخوخة قبل التحسين (المخطط الأحمر)، اعتبر هذا النموذج أن الشاشة تعمل بتيارات عشوائية أو افتراضية. يمثل هذا النموذج محاكاة أداء

الشاشات القديمة، الاعتيادية والتقليدية. نلاحظ ضمن هذا النموذج استهلاك طاقة أعلى، بالإضافة إلى ارتفاع حراري يؤديان بالضرورة إلى تدهور أسرع (معدل شيخوخة أعلى). عند اعتماد الخوارزمية الجينية من أجل تحسين أداء الشاشة. قامت الخوارزمية بالبحث عن مجموعة التيارات المثالية والتي تقلل الطاقة وتساهم في إبطاء الشيخوخة مع الحفاظ على السطوع المطلوب. يتم إعداد جيل جديد من التحسين مع كل خطوة زمنية.

في المخطط الأعلى والذي يمثل القدرة المستهلكة مع الزمن، نلاحظ أنه قبل التحسين (المنحنى الأحمر) كانت قيمة الاستطاعة المستهلكة أعلى دائماً من المنحني الأزرق (بعد التحسين) وهذا يعني أن الخوارزمية وجدت قيم تيار تحقق نفس السطوع تقريباً ولكن بكفاءة أعلى. يعني هذا فيزيائياً أنه كلما زاد التيار في البكسلات، زاد تسخين المادة العضوية داخل شاشة OLED، مما يزيد استهلاك الطاقة. حيث قللت الخوارزمية من التيار قليلاً دون التأثير الكبير على السطوع، فنتجت كفاءة أعلى. بالنسبة للشكل الاسفل والمعبر عن معدل الشيخوخة مع الزمن حيث يتم تمثيل مقدار التدهور في كفاءة البيكسل نتيجة الحرارة والتيار. نلاحظ من النتائج أن المنحنى الأحمر يرتفع بسرعة أكبر، أي أن البكسلات تتدهور بسرعة أكبر. في حين يكون هذا الارتفاع أقل في المنحنى الأزرق، أي أن الشاشة بعد التحسين تعيش أطول وتحافظ بجودتها. يعني هذا فيزيائياً أن حرارة التشغيل العالية والتيارات الكبيرة تسبب تفاعلات كيميائية داخل المواد العضوية تؤدي إلى تدهور سطوع البكسلات بمرور الوقت. خفض الحرارة والقدرة الكهربائية عبر التحسين يقلل هذا التأثير.

تحسين الخصائص اللونية لشاشات AMOLED باستخدام الخوارزمية الجينية:

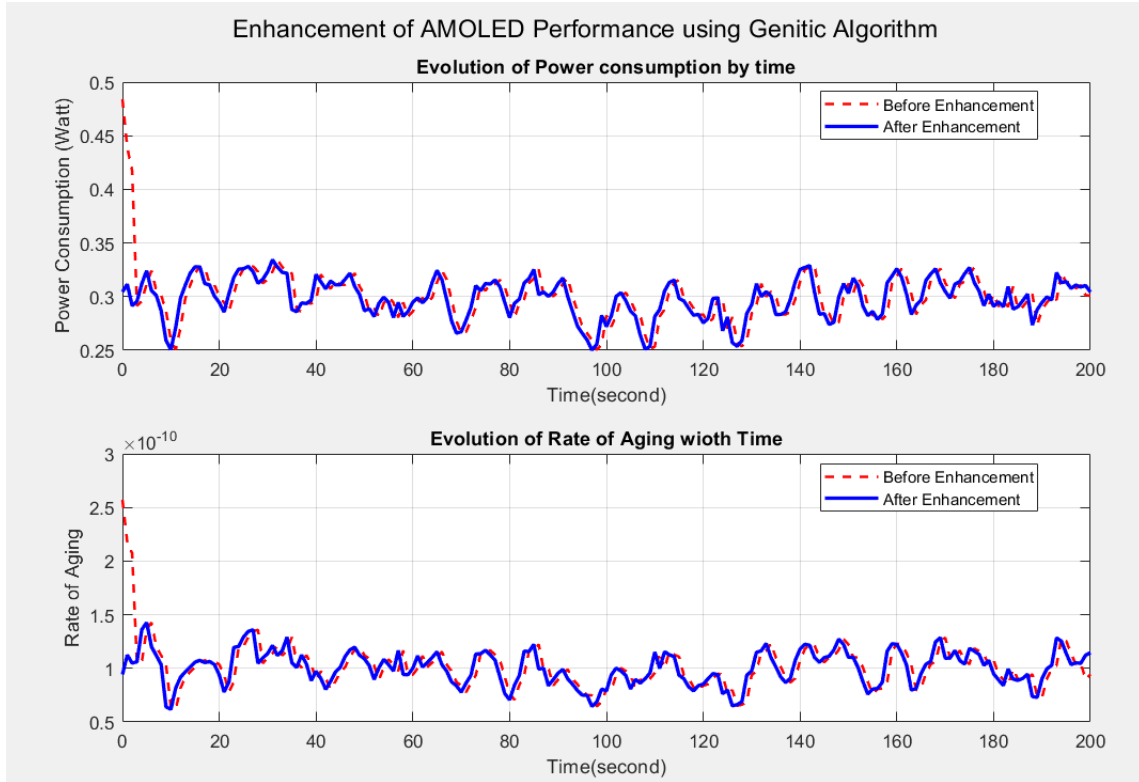
يتكون كل بيكسل في شاشات AMOLED من ثلاثة بيكسلات جزئية تمثل الألوان الثلاثة أحمر - أخضر - أزرق حيث يعتمد السطوع اللوني بصورة رئيسية على تيار القيادة والجهد المطبق وكفاءة الانبعاث، بالإضافة إلى عرض النبضة المطبقة. تهدف هذه المرحلة إلى تعظيم قيم السطوع اللوني المتوازن مع الحفاظ على توازن اللون الأبيض وتقليل قيم الاستهلاك.

المعايير الأساسية القابلة للتحكم في هذه المرحلة هي تيارات الألوان I_R, I_G, I_B وزمن النبضة Duty Cycle لكل منها يعطى النموذج المبسط للسطوع اللوني بالعلاقة:

$$L_i = D_i I_i \eta_i \quad i \in \{R, G, B\} \quad (5)$$

حيث η_i كفاءة السطوع اللوني و L قيمة السطوع المحدد. وبما أن الهدف النهائي هو رفع قيم السطوع مع الحفاظ على اللون الأبيض عندها ستعطى الدالة الهدف المقترحة بالعلاقة:

$$J = -(L_R + L_G + L_B) + w[(L_R - L_B)^2 + (L_B - L_G)^2 + (L_G - L_R)^2] \quad (6)$$



الشكل (2) تأثير تحسين الخوارزمية الجينية على استهلاك الاستطاعة ومعدل الشيخوخة ضمن النموذج المقترح عند إجراء التحليل اقترحت الخوارزمية قيم تيار و فترات تشغيل لتعطي السطوع المثالي كما هو موضح في الجدول (2).

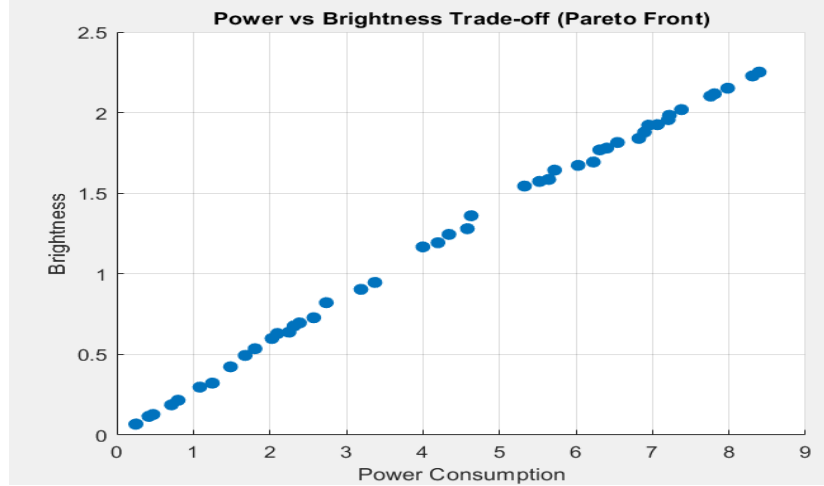
الجدول (2) معدلات السطوع الناتجة مع قيم التيار و Duty Cycle

	Ir	Ig	Ib
Optimal Current	0.989 Amp	0.995 Amp	0.999 Amp
	Dr	Dg	Db
Duty Cycle	0.830 second	0.701 second	1.000 second
	LR	LG	LB
Resulted Luminance	0.697 lumen	0.697 lumen	0.650 lumen

من أجل تحسين السطوع مع تخفيض الطاقة المستهلكة تم في هذه المرحلة تعديل الخوارزمية بحيث يتم زيادة معدلات السطوع وتخفيض استهلاك التيار الكهربائي. تم الاعتماد على توابع الأهداف التالية:

$$L_i = D_i I_i \eta_i \quad (7)$$

$$P_i = D_i I_i V_i \quad (8)$$



الشكل (3) جبهة باريتو الناتجة عن الخوارزمية الجينية لمجموعة الحلول المثالية المقترحة

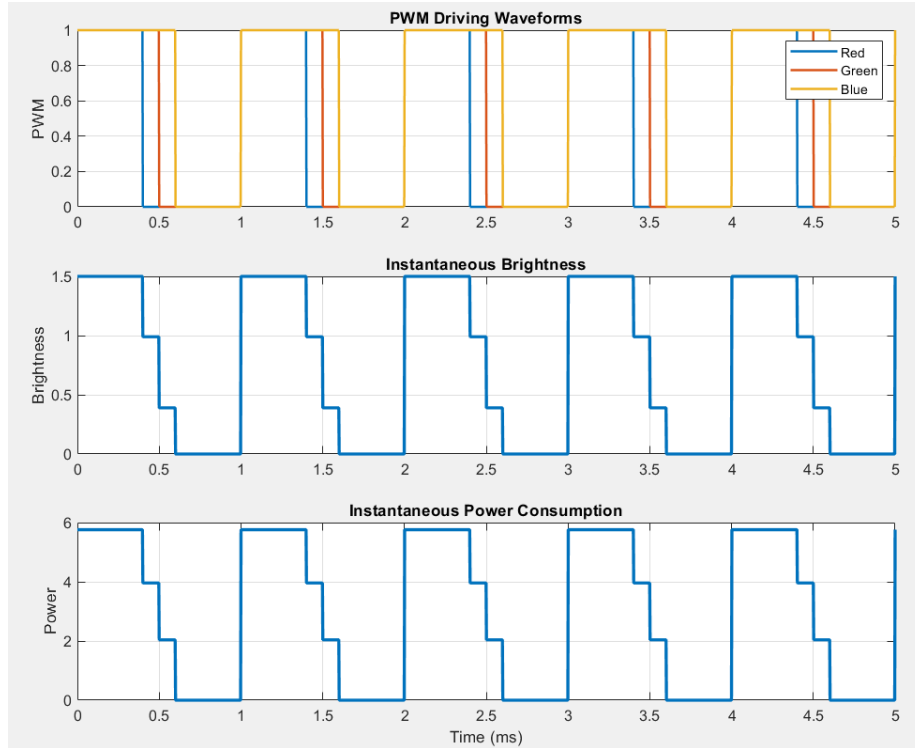
يوضح الشكل (3) النتائج المثالية المقترحة من قبل الخوارزمية الجينية مع تعدد الأهداف. تمثل كل نقطة من هذه النقاط حلاً أمثل Pareto-optimal solution. يتبين من الشكل السابق أنه لا توجد نقطة واحدة يمكنها تحقيق أعلى سطوع وأقل استهلاك للطاقة في نفس الوقت ولذلك كان الخرج (المعروف باسم جبهة باريتو Pareto Front) والذي يحقق أفضل نسبة بين السطوع والطاقة عبارة عن مجموعة من النقاط.

تمثل النقاط في أسفل ويمين المخطط قيم سطوع مرتفعة مع استهلاك عالي وهي تناسب حالات العرض الخارجي في ظروف الإضاءة الطبيعية المحيطة. أما النقاط في أعلى يسار المخطط، فهي تمثل الاستهلاك والسطوع المنخفضين والتي تمثل حالات الأجهزة المحمولة في وضع الطاقة المنخفضة. في حين تمثل المنطقة الوسطى نقطة التشغيل المتوازنة والحل الأمثل تجارياً.

يوضح منحنى باريتو المفاضلة الأكثر توازناً بين السطوع واستهلاك الطاقة في شاشات AMOLED. تتطلب مستويات الإضاءة الأعلى طاقة كهربائية أكبر، بينما يحد التشغيل الموفر للطاقة من السطوع الذي يمكن تحقيقه.

ربط التحسين مع PWM Driving Waveforms وتحليل تأثير الموجة:

تم الاعتماد على ناتج حل المرحلة السابقة ودراسة تحليل شكل موجة PWM التي يمكن اعتمادها وتأثيرها على السطوع اللحظي والاستهلاك. تمثل كل موجة في الشكل (4) عملية قيادة نبضية لبكسل فرعي حيث يختلف Duty Cycle لكل منها. يحتاج الأحمر إلى قيم تشغيل أقل فيما تكون هذه القيم متوسطة للأخضر وعالية للأزرق. هذا الاختلاف يسمح بالتحكم بالتوازن اللوني والسطوع.



الشكل (4) قيم نبضات القيادة المقترحة من الخوارزمية الجينية للتحكم بعرض الألوان الثلاثة R,G,B نلاحظ في القسم الأوسط للمخطط الناتج حساب السطوع اللحظي خلال الزمن والذي يعطى بالعلاقة:

$$L(t) = \sum_{i=R,G,B} I_i \eta_i PWM_i(t) \quad (9)$$

بينت النتائج أنه لا يمكن ضبط قيم السطوع لحظياً حيث أنه متذبذب مع قيم PWM ولكن بما أن العين البشرية تقوم بعملية التكامل الزمني فإنها لا تكون حساسة للتذبذب اللحظي وإنما فقط للقيم المتوسطة. كما نلاحظ من المخططين الثاني والثالث فإنه عند زيادة Duty Cycle يزداد السطوع والاستهلاك حيث يسمح استخدام تقنية PWM بالقيام بعمليات التحكم دون تغيير الجهد وكفاءة عالية.

يُمكن نظام تشغيل PWM من التحكم الفعال في كل من السطوع واستهلاك الطاقة. وبينما يُظهر السطوع والطاقة اللحظيان تقلبات دورية، فإن متوسط قيمهما يُحدد السطوع المُدرَك وكفاءة الطاقة.

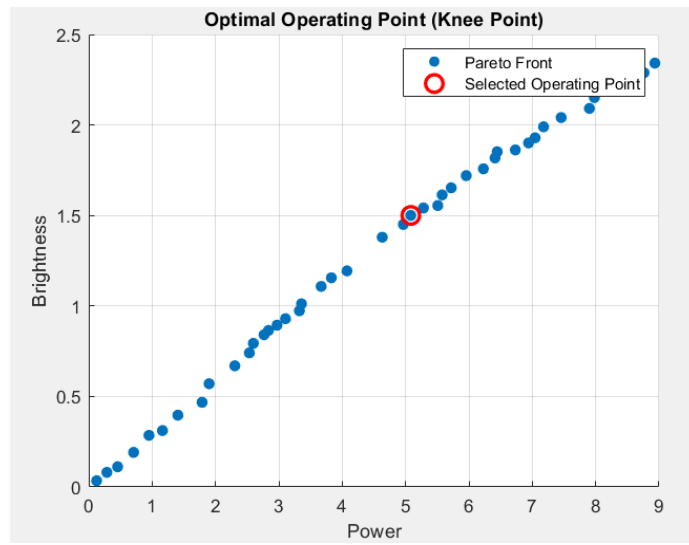
من أجل اختيار نقطة التشغيل المثالية وعند تحليل جبهة باريتو لاحظنا أن كل نقطة من النقاط تمثل حلاً مثالياً بخصائص معينة، أي أنه لا يمكن تحسين السطوع دون زيادة الاستهلاك. إلا أن النتيجة المستهدفة يجب أن تتضمن نقطة واحدة تحقق السطوع العالي والاستهلاك المقبول مع الأخذ بعين الاعتبار عدم الوصول لمنطقة قد نتعرض فيها لهدر الطاقة. الطريقة الأكثر فعالية لاختيار هذه النقطة تعتمد على خوارزمية Knee Point (Elbow Point) وهي خوارزمية تحدد منطقة انحدار يربط بين السطوع والاستهلاك هلى شكل منحنى أسّي، حيث يتم اختيار النقطة التي تحقق الشرط الآتي "أي زيادة صغيرة في السطوع يقابلها زيادة كبيرة جداً في الاستهلاك". وفقاً لمخطط Pareto Front الناتج، تعتبر البداية ذات كلفة مقبولة حيث يمكن الحصول على سطوع مقبول مع استهلاك منخفض. بعد نقطة معينة تصبح الزيادة مكلفة نوعاً ما.

تم اختيار النقطة المثالية اعتماداً على العلاقات الآتية للاستطاعة والسطوع.

$$P_{norm} = \frac{(Power - \min(Power))}{(\max(Power) - \min(Power))}; \quad (11)$$

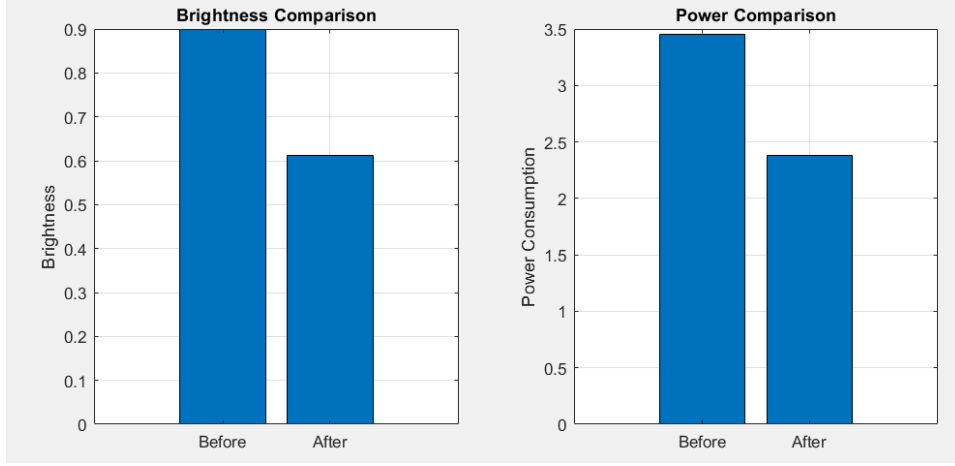
$$B_{norm} = \frac{(Brightness - \min(Brightness))}{(\max(Brightness) - \min(Brightness))}; \quad (12)$$

ومن ثم حساب المسافة عن الخط الواصل بين أول وآخر نقطة. تم اختيار نقطة التشغيل المثلى كنقطة انعطاف جبهة باريتو، والتي تمثل أفضل حل وسط بين تحسين الإضاءة واستهلاك الطاقة. بعد هذه النقطة، يتطلب تحسين السطوع بشكل إضافي طاقة أعلى بكثير. يوضح الشكل (5) النقطة المثالية من ناحية القدرة الأدنى والتي تعطي السطوع الأفضل.



الشكل (5) اختيار النقطة المثالية والتي تحقق السطوع الأفضل مع الاستهلاك الأدنى

بعد اختيار هذه النقطة يتم اعتماد قيم تيارات وزمن النبضة لكل من ألوان البيكسلات الثلاث عند هذه النقطة. عند تصميم شاشات AMOLED يتم اختيار تيارات RGB و Duty Cycles إما بصورة افتراضية (بناء على التجارب) أو بناء على تصميم تقليدي. وبالتالي تعاني النماذج المصنعة بهذه الطريقة من عدم وجود تحسين منهجي أو القيام بأي عملية مفاضلة بين السطوع واستهلاك القدرة. وهو ما يسبب استهلاك طاقة أعلى من اللازم أو سطوع غير مستغل بالشكل الأمثل. عند استخدام التقنيات الفائقة (كالخوارزمية الجينية متعددة الأهداف) يتم اختيار النقطة المثالية التي تحقق إما زيادة السطوع عند نفس مستويات الطاقة أو تقليل الطاقة مع الحفاظ على نفس السطوع. بينت الدراسة أن التحسين لا يزيد من قيمة السطوع فحسب، وإنما يؤدي أيضاً إلى توزيع الموارد الكهربائية بكفاءة وذلك من خلال التحكم بقيمة PWM.



الشكل (6) معايير الكفاءة والسطوع قبل التحسين وبعد التحسين

يوضح الشكل (6) أننا قمنا بالتضحية بجزء من السطوع من أجل توفير جزء مناسب من الطاقة. على الرغم من أن نقطة التشغيل المُحسنة لا تؤدي بالضرورة إلى سطوع مطلق أعلى مقارنةً بالوضع الأساسي، إلا أنها تُحقق توازناً أفضل بكثير بين استهلاك الطاقة والسطوع. ويُعوض انخفاض استهلاك الطاقة الانخفاض الطفيف في الإضاءة، مما يؤدي إلى تحسين كفاءة الطاقة. وهو ما يسمح بزيادة عمر الأجهزة المختلفة.

من أجل توضيح جودة التحسين يمكن لنا تحليل الكفاءة الضوئية والتي يمكن حسابها بالعلاقة:

$$\eta_{eff} = \frac{Brihjtness}{Power} \quad (13)$$

$$Brightness Improvement = -31.94 \%$$

$$Power Reduction = 31.19 \%$$

$$Efficiency Improvement = -1.09 \%$$

تشير النتائج إلى أن نقطة التشغيل الأساسية كانت قريبة بالفعل من أقصى كفاءة إضاءة. يقلل التحسين المقترح بشكل أساسي من استهلاك الطاقة المطلق مع الحفاظ على كفاءة مماثلة، مما يؤكد فعالية التصميم القائم على المفاضلة. تشير الإشارة السالبة إلى انخفاض في قيمة السطوع مع زيادة مقابلة من توفير الطاقة وهو مجال مفاضلة مقبول لزيادة عمر الشاشة وتخفيض استهلاك البطاريات ضمن الأجهزة.

الاستنتاجات والتوصيات:

أظهرت هذه الدراسة أن تحسين أداء شاشات AMOLED يتطلب معالجة متكاملة لكل من الجوانب الكهربائية والبصرية والحرارية معاً. بينت نتائج النمذجة والمحاكاة أن استراتيجيات القيادة الذكية، مثل التحكم في الجهد وتقنيات PWM و DC dimming، قادرة على تحقيق توازن فعال بين السطوع واستهلاك الطاقة. كما أثبتت خوارزميات التحسين، ولا سيما الخوارزمية الجينية، فعاليتها في تحسين السطوع اللوني وتقليل الاستهلاك الطاقوي مع المحافظة على جودة الصورة. أظهرت النتائج كذلك أن اختيار نقطة التشغيل المثلى يلعب دوراً حاسماً في تحسين الكفاءة الكلية للنظام، حتى وإن كان التحسن الطاقوي أكبر من التحسن البصري في بعض الحالات. بناءً على ذلك، توصي الدراسة بالاعتماد على أساليب تحسين متعددة الأهداف تأخذ في الحسبان السطوع، الكفاءة، وزمن الاستجابة البصرية في آن واحد. كما يُنصح بدمج النماذج الفيزيائية مع تقنيات التحسين الذكي لتحقيق نتائج أكثر واقعية وقابلية للتطبيق الصناعي. وتشير النتائج إلى أن التطوير المستقبلي لشاشات AMOLED يجب أن يركز على تحسين مواد البكسل وتقنيات القيادة المتكيفة مع المحتوى لتحقيق أداء بصري أفضل وعمر أطول للأجهزة.

References:

- [1] D. J.Kim, I. S.Lee, H. K.Lee, J. S. Yun, Y. W. Kim, Y. J. Park, & H. S. Kim, “Advanced power structure for enhanced optical performance of AMOLED displays at low luminance levels”. Scientific Reports, 15, Article 32319. doi:10.1038/s41598-025-17973-4, 2025.
- [2] S. Ke, Q. Kuang, Y. Lin, L. Ye, K. Yang, Z. Chen, M. Yao, Y. Chai, Z. Guo, “A four-primary-color healthy display system designed with multi-objective genetic algorithms based on user age and application scenarios”. Optics & Laser Technology, 184, 112514. Retrieved from ScienceDirect, 2025.
- [3] L. Chen, S. Wang, X. Guo, X. Tan, M. Ge, Y. Shen, X. Zhu, “Power-Saving Solution for AMOLED Displays Based on Cathode Segmentation”. Proceedings of Technical Conference (Power optimization model reducing consumption), 2024.
- [4] Q. Yang, H. Wang, H. Jiang, “A Mura Optimization Scheme Based on AMOLED DC Dimming”. Proceedings of Technical Conference, 2024.
- [5] H.-Y.Kim, T.-U. Kim & H.-Y. Choi, “A two-channel high-performance DC-DC converter for mobile AMOLED display based on the PWM–SPWM dual-mode switching method”. Electronics, 10(17), 2059. doi:10.3390/electronics10172059, 2024.
- [6] D.J.Kim, I.S.Lee, H.K. Lee, “Advanced power structure for enhanced optical performance of AMOLED displays at low luminance levels”. Sci Rep 15, 32319 ,2025.
- [7] D.S.Sim, S.Jung, B.C. Kim, “Improvement of flicker phenomenon at low frequencies in AMOLED displays by applying compensation scheme of variable reset voltage”. Sci Rep 15,2025.
- [8] O. Janisley, R. M Ribeiro, B. De, "Power Consumption Analysis in LCD and AMOLED Display Technologies for Mobile Devices", Conference Paper, ResearchGate publications, 2025.
- [9] O. Janisley Oliveira de Sousa, R. M Ribeiro, B. De, J. Abularach, "Power Consumption Analysis in LCD and AMOLED Display Technologies for Mobile Devices", Conference: 42nd IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2025), 2025.
- [10] AMOLED Technological Advances Overview, AMOLED Technological Advances Summary,2024, dmbtechnics.com, [available, visited 12/12/2025].
- [11]L.J. Kim, S. Jung, Y. S. Hwang, H. J. Kim, " Image quality enhancement in variable refresh rate LTPO-based AMOLED displays using a gate in panel voltage compensation scheme", Journal of Information Display 26(2):1-10, ResearchGate publications, 2024.
- [12] K. Zahin, A.K.M. H. Hoque, Md. J. Karim, Y. Y. Tsui, Md . Islam, "Inverse Design Optimization of MIS Nanorod Array to Enhance Wavelength-Selective Light Extraction of OLED through Guided SPCE", arXiv:2509.06171v1, Cornell University, 2024.
- [13] L. J. Kim, S. Jung, H. J. Kim, "Image quality enhancement in variable-refresh-rate AMOLED displays using a variable initial voltage compensation scheme", ResearchGate scientific reports, 2022.
- [14] S.H. Na, W. K. Min, D.H. Kim, H. W. Hwang, Y. M. Ha, "Enhancement of picture quality on ultra-low brightness by optimizing the electrical potential required for OLED charging in the AMOLED displays", Journal of Information Display Volume 22, <https://doi.org/10.1080/15980316.2021.1923581>, 2021