Engineering Research Journal
journal homepage: https://erj.journals.ekb.eg/

تصميم الواجهات المعمارية في عصر الذكاء الاصطناعي
نحو التكامل بين الإبداع والتقنية

Architectural Facade Design in the Era of Artificial Intelligence toward Integrating Creativity and Technology

Adel Fathy Abbas[1*]

[1] Architecture Department, Cairo Higher Institute for Engineering, Computer Science and Management, Cairo, Egypt

[*]Corresponding author E-mail: a_f_abbas@hotmail.com

الملخص:

يتناول البحث دور الذكاء الاصطناعي في تصميم الواجهات المعمارية من خلال التكامل بين الإبداع البشري والقدرات التقنية المتطورة، ويهدف بشكل أساسي إلى استكشاف الإمكانات المتنوعة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في هذا المجال مع التركيز على التحديات المحتملة التي قد تواجه تلك العملية والفوائد المتعددة الناتجة من توظيف الذكاء الاصطناعي في التصميم المعماري. يستعرض البحث في الجزء النظري التطور التاريخي لطرق تصميم وإظهار الواجهات المعمارية عبر العصور المختلفة، بدءًا من الأساليب التقليدية وصولًا إلى الثورة الرقمية المعاصرة المتمثلة في برامج التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD) التي أحدثت نقلة نوعية في دقة وسرعة التصميم، وتقنية نمذجة معلومات البناء (BIM)، بالإضافة إلى تقنيات الواقع الافتراضي (VR) والواقع المعزز (AR) التي تتيح تجارب تفاعلية للمصممين والعملاء.

كما يتناول الجزء النظري المفاهيم الأساسية لتقنية الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته الواسعة خاصة في مجال الهندسة المعمارية. ويتناول الجزء التطبيقي كيفية توظيف تلك التقنية في تصميم وإظهار الواجهات بشكل خاص من خلال استكشاف التقنيات الحديثة في هذا المجال، والفوائد التي يمكن أن يقدمها الذكاء الاصطناعي للمعماريين. يخلص البحث إلى أن الذكاء الاصطناعي لا يمثل مجرد أداة مساعدة، بل هو ثورة حقيقية في مجال تصميم الواجهات المعمارية. فهو يساهم بشكل فعال في دعم وتطوير عملية التصميم والإبداع من خلال توفير أدوات تصميمية مبتكرة وغير تقليدية. كما يفتح آفاقًا جديدة وغير مسبوقة لإنشاء تصميمات أكثر تعقيدًا وجمالية وفعالية، مما ينعكس إيجابًا وبشكل مباشر على جودة البيئة المبنية وراحة ورفاهية شاغليها. وبناءً على هذه النتائج، يوصي البحث بضرورة تبني هذه التقنيات المتطورة والاستفادة القصوى من إمكاناتها اللامحدودة في المستقبل، لضمان استمرارية التطور والابتكار في مجال الهندسة المعمارية.

الكلمات المفتاحية:

الواجهات المعمارية، الذكاء الاصطناعي، الابداع والتقنية.

Abstract

This research explores the role of artificial intelligence (AI) in architectural façade design by integrating human creativity with advanced technological capabilities. It aims to investigate the diverse potential of AI applications in this field, focusing on the challenges of implementation and the benefits AI brings to

DOI: 10.21608/erj.2025.394220.1252
Received 14 June 2025; Received in revised form 13 July 2025; Accepted 19 July 2025
Available online 01 September 2025

architectural design processes. The theoretical section examines the historical evolution of façade design and visualization methods, from traditional techniques to today's digital revolution. This includes computer-aided design (CAD) systems that enhance precision and efficiency, Building Information Modeling (BIM), and immersive technologies like Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR). These tools offer interactive experiences for designers and clients alike. The research also discusses fundamental AI concepts and their growing applications in architecture. The practical section highlights how AI technologies are specifically applied in façade design and visualization, exploring current innovations and their advantages for architects. The study concludes that AI is not merely an auxiliary tool but a transformative force in façade design. It supports and enriches the creative process by enabling innovative and unconventional solutions. Additionally, it allows for the creation of more complex, aesthetically refined, and functionally efficient designs. These outcomes directly enhance the quality of the built environment and the comfort of its users. The research recommends embracing advanced technologies and leveraging their potential to foster continued innovation and progress in architecture.

Keywords: Architectural Facades, Artificial Intelligence, Creativity and Technology.

1. المقدمة

تمثل الواجهات عنصراً هاماً في عملية التصميم المعماري، فهي تجمع بين بين الأداء الوظيفي من خلال الغلاف الخارجي الفاصل بين البيئة الطبيعية والبيئة المشيدة من جهة، والقيمة الجمالية من خلال تحديد الطابع والهوية البصرية للمبنى.
وقد شهدت طرق تصميم وإظهار الواجهات تطوراً ملحوظاً على مر العصور، بدءاً من الاسكتشات اليدوية البسيطة وصولاً إلى برامج الرسم والتصميم المدعومة بالحاسوب (CAD- computer aided design)، وبرامج نمذجة معلومات البناء (BIM- building information modeling)، وفي السنوات الأخيرة ظهرت تقنية الذكاء الاصطناعي (AI- Artificial Intelligence) كأحد المراحل الهامة في مجال تكنولوجيا المعلومات والتي أسهمت في إحداث نقلة نوعية في العديد من المجالات، بما في ذلك الهندسة المعمارية. وشهدت الايام الحالية تسارعاً غير مسبوق في تقنيات الذكاء الاصطناعي، حيث تتجاوز تطبيقاته حدود المهام التقليدية لتصبح شريكاً إبداعياً ومساعداً ذكياً للمعماريين من خلال القدرة الفائقة على معالجة كميات هائلة من البيانات، والتعلم من الأنماط المعقدة، وتوليد حلول مبتكرة، تفتح آفاقاً جديدة لتصميم واجهات معمارية أكثر كفاءة واستدامة وجمالاً مما يساهم في الارتقاء بجودة المنتج المعماري النهائي. وفيما يتعلق بمرحلة تصميم وإظهار الواجهات المعمارية، يوفر الذكاء الاصطناعي أدوات قوية لإنشاء صور ورسومات واقعية عالية الجودة - لا تساعد هذه الأدوات فقط في تعزيز وتطوير الابداع التصميمي بشكل أفضل - بل تسهل أيضاً عملية التواصل مع العملاء وأصحاب المصلحة، وتمكنهم من فهم المقترحات التصميمية بشكل أعمق وتقديم ملاحظاتهم في مراحل مبكرة من المشروع مما يعزز من كفاءة عملية التصميم ويقلل من احتمالية سوء الفهم أو التعديلات المكلفة في مراحل لاحقة. إن فهم الإمكانيات الهائلة التي يوفرها الذكاء الاصطناعي، والتعامل الواعي مع تحدياته سيساهم بلا شك في تطوير العملية التصميمية وجعلها أكثر ابتكاراً وكفاءة واستدامة، مما ينعكس بصورة إيجابية على جودة البيئة المبنية وينعكس بالتبعية على جودة حياة شاغليها.

2. المشكلة البحثية

على الرغم من الإمكانيات الكبيرة التي توفرها تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة تصميم الواجهات المعمارية بجودة عالية وفى وقت سريع إلا أن استخدامها يثير مخاوف بشأن تأثيرها على الإبداع البشري للمهندس المعماري مما يطرح إشكالية حول مدى قدرة هذه التقنيات على دعم العملية الإبداعية دون أن تحل محلها.

3. الهدف من البحث

يهدف البحث إلى تحليل دور الذكاء الاصطناعي في تصميم وإظهار الواجهات المعمارية، من خلال دراسة الإمكانات التقنية الحالية ومدى تكاملها مع الإبداع البشري في مرحلة التصميم الابتدائي. كما يسعى إلى استكشاف التحديات المرتبطة بتلك التقنيات، وطرح رؤى مستقبلية وتوصيات عملية تسهم في توظيفها بشكل فعّال يدعم جودة التصميم ويحافظ على البُعد الإنساني للعمل المعماري. وتنقسم الدراسة الى جزئين:

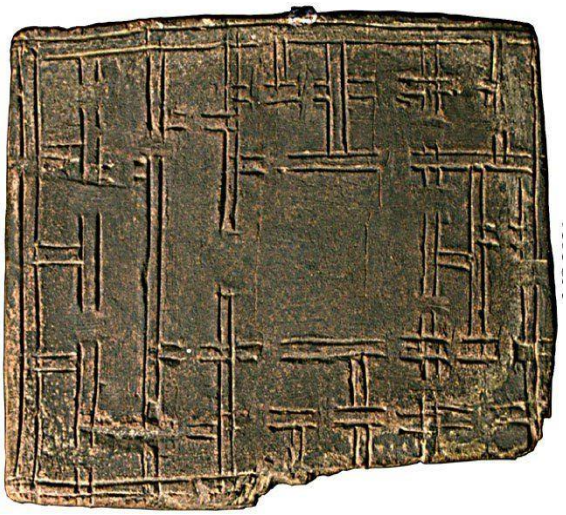
- الدراسة النظرية: من خلال المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive-Analytical Method): تستعرض الدراسة مفاهيم الذكاء الاصطناعي، وتطبيقاته في الهندسة المعمارية بشكل عام، وفي تصميم وإظهار الواجهات بشكل خاص. سيتم تحليل هذه المعلومات لتحديد الاتجاهات الحالية، التقنيات المستخدمة، الفوائد، والتحديات.
- الدراسة التطبيقية: إجراء تجربة عملية تتضمن استخدام أكثر من أداة من أدوات الذكاء الاصطناعي لتصميم وإظهار مجموعة واجهات معمارية لمباني قائمة بالفعل ومباني قيد التصميم، ومن ثم تحليل النتائج ومقارنتها بالطرق التقليدية المستخدمة في تصميم وإظهار الواجهات.

4. تطور طرق تصميم وإظهار الواجهات المعمارية عبر العصور

الواجهات المعمارية هي العنصر الأساسي في تشكيل الهوية البصرية للمباني، حيث لا تعكس فقط النواحي الجمالية، بل تجسد أيضاً القيم الثقافية والاجتماعية والتقنية للمكان والزمان الذي تُشيَّد فيه. وهي الوسيط الذي يفصل بين المبنى ومحيطه العمراني، ومن خلالها يُبنى الانطباع الأول لدى المستخدم والمشاهد. وبالإضافة إلى هذا البعد الجمالي، تؤدي الواجهات دوراً وظيفياً محورياً، حيث تسهم في ضبط العلاقة البيئية بين الداخل والخارج، من خلال التحكم في الإضاءة الطبيعية، والتهوية، وكفاءة استخدام الطاقة. وقد شهدت أساليب تصميم ورسم وإظهار الواجهات المعمارية تطورًا متسارعًا عبر الحقب التاريخية المختلفة بالتزامن مع التحولات التقنية والفكرية التي طرأت على العمارة، فبينما اعتمدت الحضارات القديمة على المهارات اليدوية والزخارف الرمزية، جاءت العصور الوسطى لتؤكد على البعد البنائي والجمالي كما تجلى في عمارة الكاتدرائيات. ومع الثورة الصناعية ظهرت المواد الحديثة كالفولاذ والزجاج ثم الخرسانة المسلحة مما أتاح للمعماريين حرية أكبر في تشكيل الواجهات. ويمكن تقسيم مراحل تطور تصميم ورسم الواجهات الى ما يلي[3]:

4.1. العصور القديمة:

في العصور القديمة، اعتمد المهندسون الاوائل على الرسومات اليدوية البسيطة لمخططات المباني دون التطرق لرسم الواجهات وذلك باستخدام أدوات بدائية للنقش على الألواح الحجرية مثل مخطط توزيع القاعات والغرف لقصر نور أداد في مدينة لا *رسا* السومرية الأثرية التي تقع جنوب العراق، أو الرسم على أوراق البردي في الحضارة المصرية القديمة. وكانت هذه الرسومات تحمل طابعاً رمزياً أكثر من كونها توثيقاً دقيقاً للأبعاد الهندسية. ومع ازدهار الحضارات خاصة في اليونان وروما تطورت أساليب تصميم ورسم الواجهات حيث بدأ استخدام وتطبيق النسب الهندسية والاسس الكلاسيكية مثل الطرازين الدوري والكورنثي.

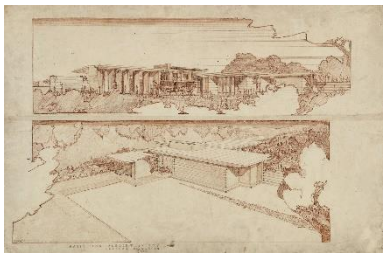


شكل رقم 1 المسقط الأفقي لقصر نور أداد بمدينة لا رسا، 1865-1850 ق.م، المصدر: https://www.arch2o.com

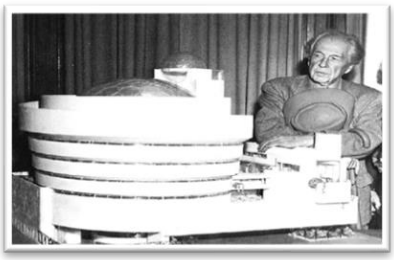
4.2. المرحلة ما قبل الرقمية:

اعتمد تصميم الواجهات في تلك المرحلة - والتي بدأت مع عصر الثورة الصناعية وازدهرت مع ظهور حركة الحداثة مع بدايات القرن العشرين - بشكل أساسي على الرسومات اليدوية الدقيقة حيث كان المعماري يعتمد على الرسم اليدوي كوسيلة أساسية لتجسيد الأفكار باستخدام أدوات متنوعة مثل أقلام الرصاص والحبر والمساطر والمثلثات لإنتاج مساقط وواجهات وقطاعات تفصيلية على الورق. وكانت عملية الرسم تتطلب مهارة عالية ووقتاً طويلاً مع عدم وجود هامش للخطأ لتعذر إمكانية تصحيحه بعد وضعه على الورق. وهذا يعني أن أي تغيير في التصميم يستلزم إعادة الرسم بأكمله. وكان الإظهار يتم من خلال تلوين الرسومات بأقلام الرصاص الملونة والألوان المائية والأحبار الملونة لإعطاء انطباع عن المواد والألوان والظلال، أو من خلال بناء نماذج مادية مصغرة (ماكيتات) من الخشب أو الكرتون أو الجبس، والتي كانت الوسيلة الرئيسية لتجسيد الفكرة ثلاثية الأبعاد وتقييمها ثم عرضها على العميل والحرفيين القائمين بعملية البناء. ولا يزال العديد من المهندسين

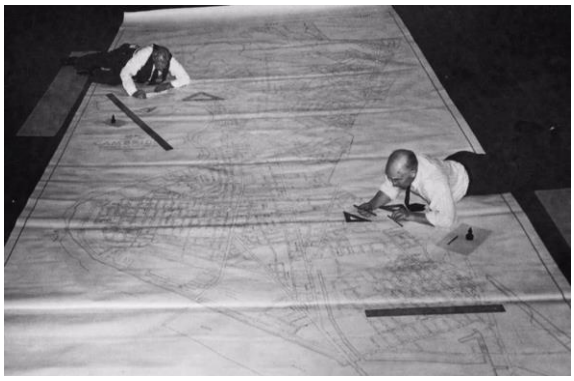
المعماريين يستخدمون الاسكتشات اليدوية في مرحلة التصميم لما توفره لهم من مرونة في العمل وإبداع في إظهار أفكارهم التصميمية.


منزل جاكوب ، ويسكنسن. 1936

فيلا المياه الساقطة، بنسلفانيا، 1937


ماكيت متحف جوجنهايم، 1943

شكل رقم 2 ماكيت واسكتشات بالحبر والألوان المائية، فرانك لويد رايت، المصدر: https://architizer.com



شكل رقم 3 الرسم والتصميم المعماري في المرحلة قبل الرقمية، المصدر:
https://parametric-architecture.com

4.3. المرحلة الرقمية:

- **برامج التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD)**

ظهرت تلك البرامج في ثمانينيات القرن الماضي - ومن أشهرها برنامج الاوتوكاد - وتواكب مع ظهورها تحولات جذرية بفعل التقدم التكنولوجي غير المسبوق في أساليب اعداد التصميمات والرسومات المعمارية وخاصة الواجهات. وكانت البداية في الرسم ثنائي الأبعاد، مما أتاح دقة وسرعة أكبر في إنتاج اللوحات الهندسية، وسهولة في التعديل والتكرار. ثم تطورت هذه البرامج لتدعم النمذجة ثلاثية الأبعاد(3D Modeling) ، مما أتاح للمعماريين إنشاء نماذج رقمية مجسمة للمبنى يمكن رؤيتها من زوايا متعددة وذلك بالتزامن مع تطوير برامج الإظهار (Rendering) ومن أشهرها برنامج (3D Max) حيث تحولت النماذج ثلاثية الأبعاد إلى صور أقرب ما تكون الى الواقع من حيث الإضاءة وخامات التشطيب مما أحدث ثورة في كيفية تقديم وتخيل المشاريع قبل تنفيذها. وتطور الامر من الصور الثابتة الى الفيديوهات التي يتم فيها الحركة خارج وداخل المبنى من جميع الاتجاهات والتي أصبحت عنصراً هاماً لا غنى عنه في عملية تسويق المشروعات.

شكل رقم 4 البدايات المبكرة للرسم بالحاسوب، المصدر: https://parametric-architecture.com

▪ **تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM)**

قدمت تلك التقنية أدوات أكثر شـــمولاً عن طريق الربط بين الرســـومات والبيانات، حيث لم تعد الواجهة مجرد خطوط وأشكال هندسية فقط، بل أصبحت كيانًا ذكيًا يحمل معلومات تفصيلية عن جميع عناصر المبنى والخامات المستخدمة كما أتاحت تنسيقًا أفضل بين مختلف التخصصات، وتحليلاً مبكرًا للأداء، وتقليل الأخطاء.

▪ **تقنيات الواقع الافتراضي (VR - Virtual Reality) والواقع المعزز (AR - Augmented Reality)**

تتيح تقنية الواقع الافتراضـــي للمســـتخدم الدخول إلى عالم رقمي ثلاثي الأبعاد بالكامل، بحيث ينعزل تماماً عن الواقع الحقيقي ويتم ذلك باستخدام نظارات خاصة حيث يرى المستخدم محيطًا افتراضيًا يمكنه التفاعل معه كأنه واقع حقيقي مما يوفر تجربة تفاعلية لمستخدمي المبنى قبل تنفيذه من خلال الدخول اليه والتجول فيه افتراضيا.

أما تقنية الواقع المعزز فتعتمد على إضـافة عناصـر رقمية (صـور، مجسـمات، معلومات) إلى العالم الحقيقي من خلال شاشات الهواتف أو نظارات خاصة بحيث لا ينفصل المستخدم عن الواقع، بل يتم تعزيز الواقع بمعلومات إضافية حيث يمكن على ســـبيل المثال توجيه الهاتف إلى موقع البناء ورؤية الواجهة المســـتقبلية تظهر فوق الهيكل القائم، أو عرض تفاصيل إنشائية على الجدران أثناء التنفيذ.

▪ **برامج التصميم البارامتري**

هي تقنيات رقمية تتيح للمصـممين المعماريين إنشـاء نماذج وتصـاميم تعتمد على معادلات وقواعد هندسـية مرنة، بحيث يمكن تعديل التصميم بسهولة عبر تغيير القيم والمعطيات بدلاً من إعادة الرسم بالكامل. وتُستخدم هذه البرامج لتوليد أشكال معقدة وتحقيق كفاءة أكبر في العمليات التصـميمية. من أشـهر هـذه البـرامـج: Grasshopper (المـرتبـط ببـرنـامـج Rhinoceros)، ومؤخرًا، بـدأ الربط بين هـذه البرامج وتقنيات الذكاء الاصـطناعي، حيث يتم استخدام خوارزميات التعلم الآلي والتوليدي لتحســين الأداء التصــميمي، واقتراح حلول مبتكرة بنـاءً على تحليل البيانـات والمعـايير المحـددة مســـبقًا. وتعد أعمال المعمارية زها حديد، مثل مركز حيدر عليف في أذربيجـان ودار الأوبرا في قوانغتشـــو رموزًا عالمية للتصـــميم البارامتري بفضـــل أشـــكالها الانســـيابية والمعقدة.

شكل رقم 5 مركز حيدر عليف، المصدر: https://parametric-architecture.com

5. تقنية الذكاء الاصطناعي

الذكاء الصـناعي هو أحد أهم إنجازات العلم الحديث، وهو فرع من علوم الحاسـوب يُعنى بابتكار أنظمة تسـتطيع محاكاة القدرات الذهنية البشرية مثل التفكير والفهم والتعلم واتخاذ القرار. يهدف الذكاء الصـناعي إلى تمكين الآلات من أداء مهام معقدة كانت تتطلب في الماضي تدخل الإنسان مثل تشخيص الأمراض والقيادة الذاتية للمركبات وتحليل البيانات الضخمة. وتعود فكرة الذكاء الصناعي إلى الفلسفة وعلم المنطق، حيث تساءل الفلاسفة منذ القدم عن إمكانية محاكاة التفكير البشري بوسائل صناعية ومع تطور علوم الرياضيات والمنطق في القرن العشرين بدأ الباحثون في تصور إمكانيات تحويل التفكير البشري إلى خوارزميات. شـهد عام 1956 الانطلاقة الحقيقية لمجال الذكاء الصـناعي خلال مؤتمر عُقد في كلية دارتموث بالولايات المتحدة حيث اجتمع عدد من العلماء الرواد مثل جون مكارثي ومارفن مينســـكي وأعلنوا أن بناء آلة "تفكر" لم يعد مجرد تفكير خيالي، بل أصـــبح هدف علمي قابل للتحقيق. ومنذ ذلك الحين وُضـــع مصـــطلح "الذكاء الاصـــطناعي " (Artificial Intelligence- AI) توصيفاً لهذا التخصص الوليد.

مرّ الذكاء الصناعي بمراحل متباينة، حيث شهد في الستينيات والسبعينيات موجات من التفاؤل تلاها فترات من الركود تُعرف بـ "شتاء الذكاء الاصطناعي" بسبب التحديات التقنية وضعف قدرات أجهزة الحاسوب آنذاك. إلا أن التطور المتسارع في قدرات الاجهزة وظهور الإنترنت وتوفر كميات هائلة من البيانات أعادت إحياء الأبحاث في هذا المجال منذ بداية الألفية الثالثة. واليوم أصبح الذكاء الصناعي جزءًا لا يتجزأ من حياتنا اليومية، حيث نراه في المساعدات الرقمية مثل "سيري" و"أليكسا"، وفي السيارات ذاتية القيادة وفي أنظمة التشخيص الطبي المبكر ومحركات البحث ،وتوليد الصور والنصوص. وقد أدى التطور الكبير في تقنيات "التعلم العميق (Deep Learning) " إلى تحقيق قفزات نوعية في قدرة الآلات على التعامل مع الصور والنصوص والصوت والبيانات المعقدة. ولم يعد الذكاء الصناعي مجرد حلم أو مشروع بحثي، بل تحول إلى قوة محركة للابتكار في مختلف القطاعات من الصناعة إلى التعليم والطب والفنون ومع ذلك يرافق هذا التقدم مخاطر وتحديات في نواحي مختلفة مثل الخصوصية والاعتماد المفرط على الآلات وتأثيره على سوق العمل. ويبقى التحدي الأكبر هو كيفية توجيه هذه التقنية المتقدمة لخدمة الإنسان وتعزيز رفاهيته دون الاخلال من قدراته الإبداعية. [4]

6. تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في التصميم المعماري

مع التطور المتسارع في تطبيقات الذكاء الاصطناعي بات لزاماً على المهندسين المعماريين فهم وتوظيف تلك التقنية التي ستحدث تحولًا جوهريًا في مجالات التصميم المعماري من خلال ما يلي:

- **تصميم الواجهات**

تساعد تلك التقنية في تعزيز قدرات المصممين على ابتكار تصميمات معاصرة لواجهات المباني والحصول على عدة بدائل في وقت وجيز لا يتجاوز دقائق معدودة. وتحقيق تكامل أفضل بين النواحي الابداعية والتقنية.

- **تطوير تقنيات الإظهار المعماري للواجهات**

يمكن للمصمم تطوير الاستكشات اليدوية وتحويلها الى صور واقعية ومن ثم إيصال رؤيته بوضوح إلى العملاء ومستخدمي المباني في أسرع وقت.

- **تصميم المساقط الأفقية**

توجد تحديات عديدة تواجه استخدام تلك التقنية في تصميم المساقط الأفقية للمباني بكافة انواعها منها صعوبة تحويل المتطلبات الوظيفية والمعايير التصميمة المعقدة إلى بيانات رقمية قابلة للمعالجة بواسطة الخوارزميات، كما أن قدرة الذكاء الاصطناعي على فهم العلاقات الفراغية المتنوعة مثل الخصوصية وتوجيه الفراغات المختلفة ومساحتها وحركة الاشخاص داخل المبنى ما زالت محدودة مقارنة بالخبرة البشرية. يضاف إلى ذلك الحاجة إلى قواعد بيانات تصميمية ضخمة ومتنوعة، تُمكن الأنظمة الذكية من توليد حلول تتناسب مع أنماط المباني المختلفة. كما يواجه المصممون تحديات تتعلق بمدى تقبلهم لتلك الأدوات الجديدة ودمجها ضمن ممارسات التصميم التقليدية القائمة.

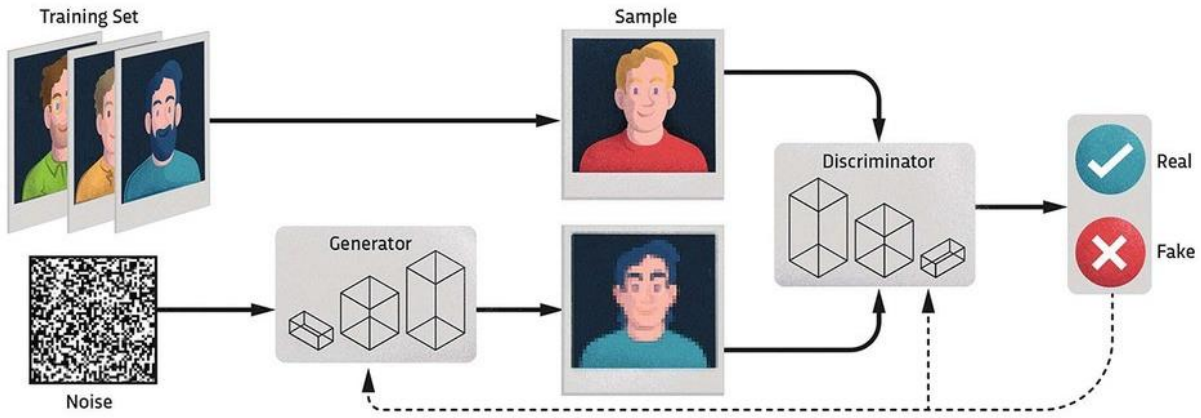
6.1. استخدام الذكاء الاصطناعي التوليدي في تصميم الواجهات (Generative Algorithms)

أصبح الذكاء الاصطناعي في الآونة الأخيرة أداة قوية لتوليد الصور بشكل واقعي، مما دفع البعض إلى تخطى الزمان والمكان واستخدام هذه التكنولوجيا لإنشاء صور شخصية واقعية مع شخصيات شهيرة في أماكن لم يسبق لهم زيارتها. ولم تكن واجهات المباني بعيدة عن ذلك، حيث بات بإمكان المصممين - بل وغير المتخصصين - الاستفادة من نماذج الذكاء الاصطناعي التوليدي التي تعمل من خلال تقنية برمجية تسمى التعلم العميق [7]، ويعد نموذج (Dall·E) من أشهر تلك النماذج والذي طوّرته شركة OpenAI المنتجة لتطبيق الذكاء الاصطناعي الاشهر Chat-Gpt ويتميز بقدرته على تحويل الأوامر النصية إلى صور مرئية عالية الجودة، مما يفتح آفاقًا جديدة لإنتاج مقترحات واقعية متنوعة للواجهات و يعزز القدرة على توليد تصميمات مبتكرة ودقيقة استنادًا على معالجة أوامر نصية تفصيلية يطلق عليها "هندسة الأوامر" (Prompt) يقوم بكتابتها مستخدم التطبيق وتحمل وصف شامل للواجهات المطلوب تصميمها من حيث نوع المبنى و الطابع والتشكيل والألوان والخامات، ومن خلال توليد لقطات متعددة، يتم تقييم البدائل قبل البدء في مراحل التصميم التفصيلية مما يساعد المصمم على إيصال الأفكار التصميمية بشكل أكثر وضوحًا وجاذبية.

شكل رقم 6 نماذج لتصميمات واجهات باستخدام الذكاء الصناعي التوليدي، المصدر: [13]

6.2. استخدام الذكاء الاصطناعي في اظهار الواجهات (Machine Learning- ML)

تقوم تطبيقات الذكاء الاصطناعي بتحويل الرسومات التخطيطية (sketches) سواء كانت يدوية أو رقمية إلى صور أقرب ما تكون الى الواقعية (Render) وذلك من خلال تقنيات متقدمة في التعلم العميق أبرزها الشبكات التوليدية التنافسية (Generative Adversarial Networks - GANs) ونماذج الانتشار (Diffusion Models) – شكل رقم 7. وتعتمد هذه النماذج على التدريب المسبق باستخدام مجموعات ضخمة من البيانات التي تتضمن ثنائيات من الرسومات التخطيطية وصورها الواقعية، مما يُمكنها من فهم العلاقة بين الخطوط الأساسية والتفاصيل المعمارية النهائية. وبمجرد إدخال الرسم التخطيطي يقوم النموذج بتحليل خطوطه وتفسير عناصره المعمارية الأساسية، واستخلاص أنماط وعلاقات وتحويلها الى لقطات واقعية للغاية تماثل وقد تتفوق على تلك المنتجة بواسطة برنامج (3D Max) دون الحاجة لرسم نموذج رقمي ثلاثي الابعاد مما يعنى وفراً كبيراً جداً في الوقت ويظهر تفاصيل أكثر وضوحاً لعناصر المبنى مقارنة بالموجود بالاسكتش ومن ثم توليد لقطات عالية الدقة من حيث الإضاءة الواقعية، الخامات، الظلال، والعناصر البيئية المحيطة. [9]



شكل رقم 8 الشبكات التوليدية التنافسية (Generative Adversarial Networks - GANs) ، المصدر:
https:// www.geeksforgeeks.org

شكل رقم 7 نماذج لإظهار اسكتشات واجهات باستخدام الذكاء الصناعي، المصدر:
https://www.archsynth.com

ويمكن تعزيز دقة النتائج من خلال استخدام تعليمات نصية (prompts) تصف الطراز المعماري والمواد والتفاصيل المرغوبة، الأمر الذي يُمكِّن المصمم من وضع بدائل تصميمية متنوّعة وبالتالي تسريع عملية التصميم وتعزيز التواصل مع العملاء. ويُتيح الذكاء الاصطناعي للمعماري مساحة أوسع للتجريب والتعبير تعتمد على مهاراته الإبداعية وتوجيهاته التصميمية، لا على المخرجات التلقائية التي ينتجها النموذج التوليدي اعتمادا على نص مكتوب فقط. بالإضافة الى التعرف على الكتل والفتحات وطراز المبنى ومن ثم تفسير محتوى الاسكتش سواء كان واجهة أو منظور وضبط نقاط الهروب ويقوم النموذج بتوزيع الإضاءة والظلال وفهم نوعية الخامات والألوان ، على سبيل المثال واجهات زجاجية أو خرسانية أو معدنية استنادًا إلى أنماط بصرية متعددة تم تدريب النموذج عليها سابقاً. وتُعد التعليمات النصية (Prompt)عنصرًا مساعداً بالغ الأهمية في هذه العملية[10]، إذ تُستخدم لتوجيه النموذج نحو نتائج محددة بعينها من خلال تحديد الطراز المعماري بصورة دقيقة ونوعية المواد وأجواء الإضاءة والبيئة المحيطة. وللحصول على نتيجة واقعية ومساعدة النموذج على فهم وتفسير الاسكتش يجب وضوح الخطوط ورسم المنظور بدقة من خلال الالتزام بخط الأفق ونقاط الهروب إضافة إلى وجود تفاصيل معمارية كافية مثل النوافذ، الأبواب، والكتل البارزة.

من خلال الدراسة النظرية يتضح ان الذكاء الاصطناعي أداة فعالة يمكن دمجها في تصميم وإظهار الواجهات المعمارية، من خلال توليد بدائل مبتكرة وتحويل الاسكتشات إلى صور واقعية بدقة عالية. كما يعزز من كفاءة التواصل مع العملاء وفهم التصور التصميمي. ورغم ذلك، يظل تطبيقه في تصميم المساقط الأفقية محدودًا بسبب تعقيد العلاقات الوظيفية والفراغية. ويوضح شكل رقم 9 تقنيات الذكاء الصناعي المستخدمة في تصميم وإظهار الوجهات المعمارية.

استخدام الذكاء الاصطناعي التوليدي في تصميم الواجهات (Text To Image)

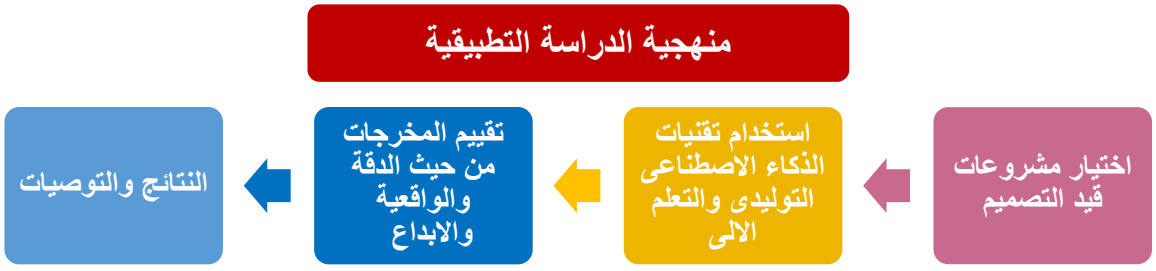
استخدام خوارزميات التعلم الآلي في إظهار الاسكتشات (Sketch To Image)

استخدام خوارزميات التعلم الآلي في وصف الواجهة كتابياً (Image To Text)

شكل رقم 9 تقنيات الذكاء الصناعي المستخدمة في تصميم وإظهار الوجهات المعمارية.، المصدر: الباحث

7. الدراسة التطبيقية

في هذا الجزء التطبيقي سيتم بصورة عملية استكشاف امكانات تقنيات الذكاء الاصطناعي في دعم عمليات التصميم المعماري، وذلك من خلال مبنى أيكونى قائم (متحف جوجنهايم) ومشروعات حديثة متنوعة شارك الباحث فعلياً في تصميمها واستخدم تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تصميم وإظهار واجهاتها وذلك خلال الفترة من 2023 حتى 2025. تشمل التجربة استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي التوليدي لإنتاج صور وتصميمات واقعية اعتمادًا على أوامر نصية دقيقة، بالإضافة إلى تلوين وإظهار اسكتشات تصميمية يدوية. تهدف هذه التجربة إلى تقييم مدى كفاءة وواقعية المخرجات التي توفرها هذه التقنيات ومقارنتها بالأساليب التقليدية من حيث الابداع والجودة والسرعة وقابلية الاستخدام ضمن سياقات التصميم المعاصر.



شكل رقم 10 منهجية الدراسة التحليلية، المصدر: الباحث

7.1. تحويل النص الكتابي الى صورة واقعية Text To Image

• مشروع مدينة سكنية بمدينة جدة - (2023)

تم تصميم مخطط المشروع واظهاره بالطرق التقليدية وتم الاستعانة ببرنامج Midjourney لتوليد لقطات متنوعة لمباني المشروع وفقاً للمحددات التصميمية والطابع المقترح والتي تنوعت ما بين أبراج مرتفعة وأبراج متدرجة الارتفاعات، الملاحظة الرئيسية تمثلت في اختلاف عناصر الواجهات في النتائج من لقطة لأخرى بالرغم من عدم تغيير النص الكتابي.

I. النص الكتابي Prompt لواجهات الابراج السكنية المرتفعة

برج فندقي ضخم بطراز إسلامي معاصر، مزخرف بتفاصيل هندسية دقيقة وحوائط ستائرية، يقع في منطقة حضرية مفتوحة بمدينة جدة بالمملكة العربية السعودية، تحيط به أبراج مماثلة بتناسق بصري واضح، الإضاءة نهارية ناعمة، اللقطة من مستوى منخفض، يوجد قطار معلق يمر في المقدمة، الألوان ترابية والزجاج أزرق داكن، يجب ان تكون اللقطات طبيعية وواقعية.

شكل رقم 11 الصور التوليدية الناتجة للأبراج المرتفعة -مشروع سكنى بمدينة جدة، المصدر: الباحث

II. النص الكتابي Prompt لواجهات الابراج السكنية متدرجة الارتفاع

برج سكني بتصميم معماري إسلامي معاصر متدرج الارتفاع، مضاء ليلاً بأضواء زرقاء وبيضاء، محاط بمساحات خضراء ونافورة مياه في ساحة أمامية، مع قطار مترو معلق يمر بجانبه، وأجواء مدينة عصرية هادئة في المساء.

شكل رقم 12 الصور التوليدية الناتجة للأبراج متدرجة الارتفاع -مشروع سكنى بمدينة جدة، المصدر: الباحث

III. النص الكتابي Prompt لواجهات المبنى التجاري الخدمي

مبنى متعدد الاستخدامات تجارى خدمي يتكون من طوابق متعددة، يتميز بواجهة معمارية ذات طابع إسلامي معاصر. يبرز في تصميمه استخدام الأقواس المدببة الكبيرة التي تعلو الفتحات الرأسية، إلى جانب أسطح مكسوة بزخارف حجرية دقيقة تغطي الجوانب الجانبية للمبنى. التصميم متناسق بصريًا، ويعكس إحساسًا بالفخامة والهيبة. الواجهة الأمامية تنقسم إلى ثلاث كتل رئيسية، تتوسطها فتحة كبيرة تتخذ هيئة عقد مدبب ممتد رأسيًا، فيما تحيط بها كتل جانبية مزينة بأقواس مكررة تخلق إيقاعًا إيقونيًا. تحيط بالمبنى مساحة خضراء مفتوحة وممشى حضري، مما يعزز العلاقة البصرية والوظيفية بين الكتلة المعمارية والمحيط العمراني.

شكل رقم 13 صورة توليدية لمبنى متعدد الاستخدامات -مشروع سكنى بمدينة جدة، المصدر: الباحث

7.2. تحويل الصور الواقعية الى نص كتابي Image to Text

من خلال خوارزميات تعلم الالة تم توليد وصف نصي تفصيلي لصورة واقعية لمتحف جوجنهايم - الذي صممه فرانك لويد رايت منتصف القرن الماضي – ثم أعادة توليد صور للمتحف وفقاً لهذا النص من خلال الخطوات التالية:

i. توليد نص كتابي للصورة Prompt

تم رفع صورة للمتحف في برنامج ChatGPT ثم طلب كتابة الوصف التفصيلي لها وكانت النتيجة كالتالي:

"مبنى أبيض أسطواني الشكل بتصميم حلزوني فريد من نوعه، يتميّز المبنى بخطوط أفقية ناعمة وتدرجات دائرية تنساب حوله بشكل عضوي وحديث. يقع المبنى عند تقاطع شوارع مزدحم، تحيط به ناطحات سحاب مستطيلة تقليدية. تظهر في المشهد سيارات الأجرة الصفراء، والمشاة يعبرون الشارع، وحركة مرور كثيفة تعكس أجواء المدينة الحيوية. السماء ملبدة بالغيوم جزئياً، والضوء الطبيعي ينعكس على واجهة المبنى البيضاء. الأسلوب المعماري حداثي، والمشهد ملتقط بأسلوب التصوير المعماري الواقعي عالي الجودة".

ii. توليد الصورة وفقاً للنص الكتابي Prompt

تم وضع الوصف السابق في برنامج Promeai.pro والذي يعد واحداً من أشهر تطبيقات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في توليد الصور وعمل اظهار للاسكتشات المعمارية، وقام التطبيق بتوليد عدة بدائل وفقاً للنص المكتوب. ويتضح من الصور في شكل رقم 14 الاختلاف الواضح بين صورة المتحف الحقيقية والصور المولدة بالذكاء الاصطناعي بناء على الوصف التفصيلي، حيث حدث تغيير واضح في نسب وتفاصيل المبنى وزاوية الصورة بسبب اعتماد خوارزميات الذكاء الاصطناعي التوليدي على تحليل الوصف النصي وتحويله إلى عناصر مرئية دون الرجوع إلى صورة واقعية، مما يؤدي إلى تغيير في النسب والأبعاد (الوصف مستخرج بالكامل من تطبيق ChatGPT).

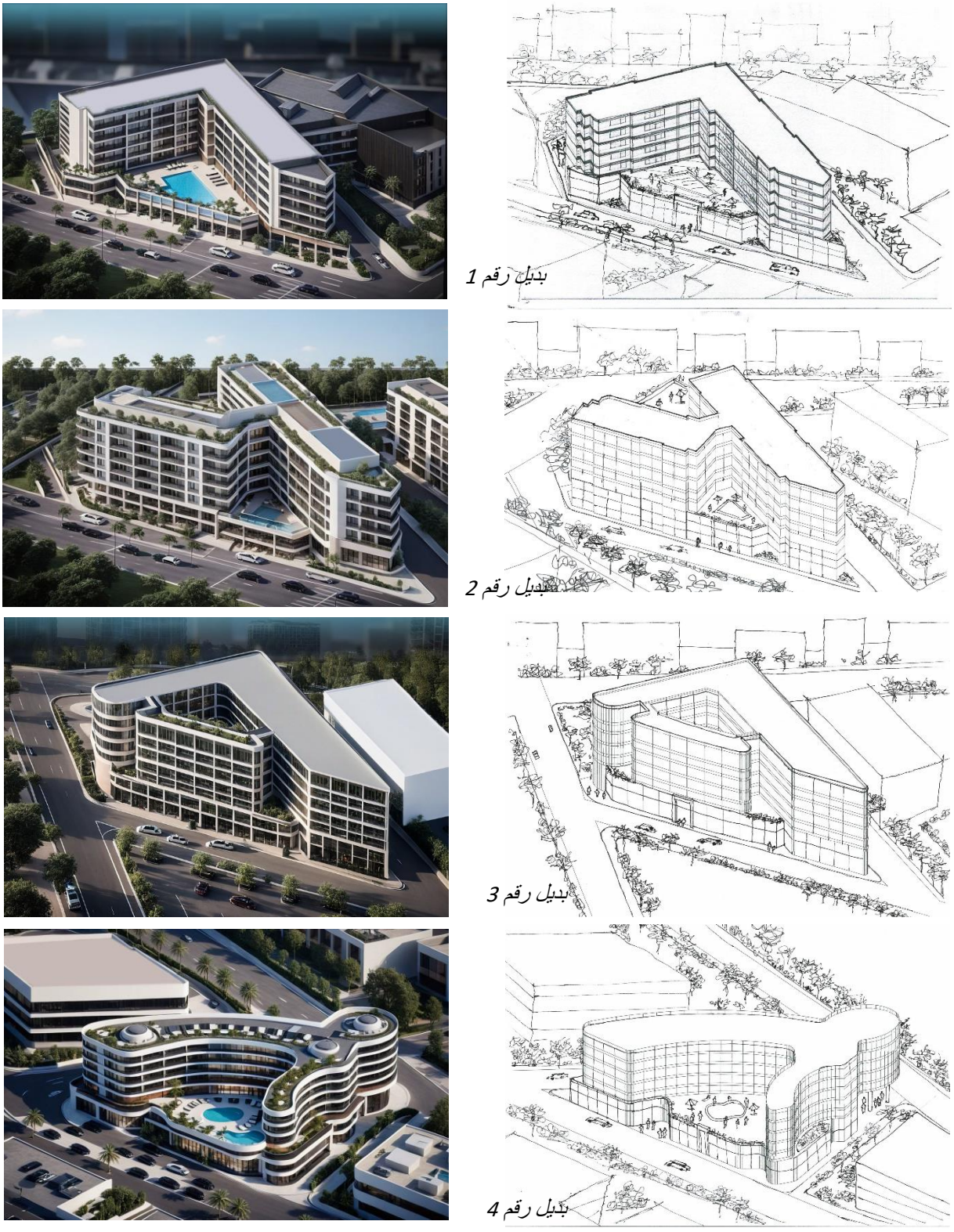
الصورة الاصلية *الصور المولدة ببرنامج* promeai.pro

شكل رقم 14 صورة واقعية وصور توليدية لمتحف جوجنهايم، المصدر: الباحث

7.3. تحويل الاسكتش اليدوي الى صورة واقعية Sketch To Image

• مشروع فندق بمنطقة المنصورية – الهرم - (2024)

تم تصميم مجموعة بدائل للمشروع بطابع معاصر يتميز بالبساطة وعمل اسكتش يدوي لمنظور عين طائر لكتلة كل بديل ثم الاستعانة ببرنامج Promeai.pro لإظهار تلك الاسكتشات وفقاً للمحددات التصميمية والطابع المقترح. ويوضح شكل رقم 15 تلك البدائل والاسكتشات قبل وبعد اظهارها بالاستعانة بالذكاء الاصطناعي.



شكل رقم 15 تطوّير بدائل تصميم فندق من اسكتش يدوي إلى صورة واقعية، المصدر: الباحث

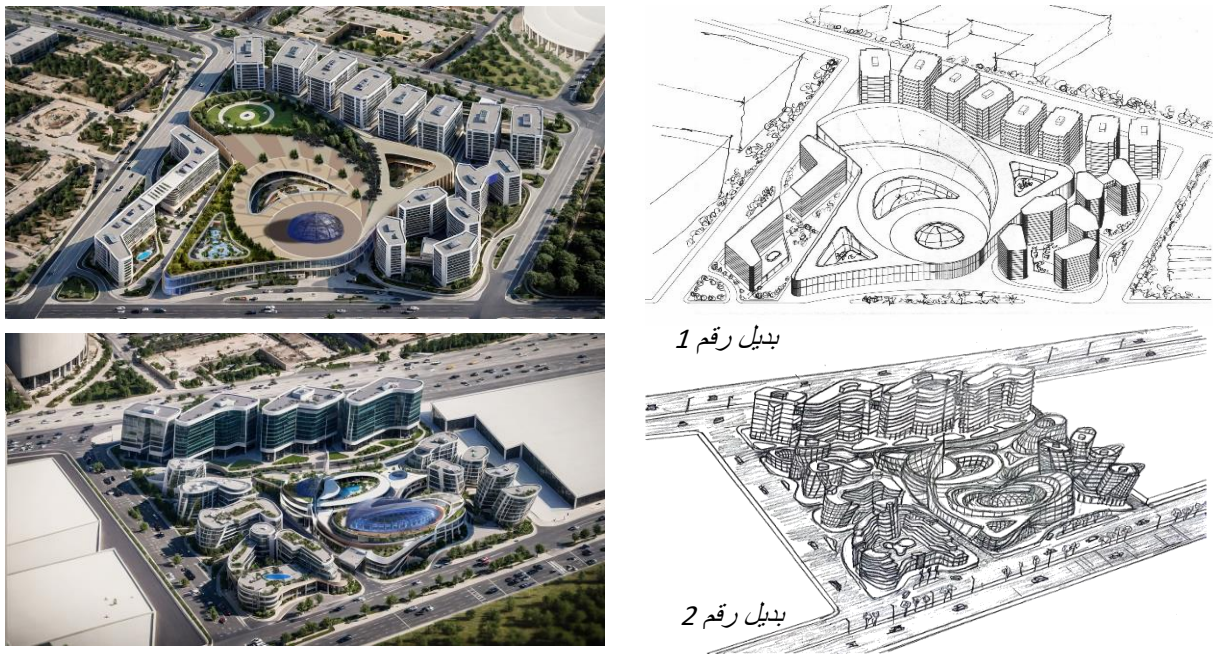
- **عمارة سكنية – المعادي - (2025)**

قام المصمم بإعداد اسكتش يدوي لمنظور عين انسان للمبنى بطابعه الكلاسيكي الحديث، ثم استخدم الباحث برنامج Promeai.pro لتحويل الاسكتش إلى صورة واقعية وفقًا للمحددات التصميمية. وقد استلزم الأمر عدة محاولات، تخللتها معالجة النتائج باستخدام برنامج Photoshop Adobe، وذلك لإظهار تفاصيل العناصر الكلاسيكية التي لم يتمكن الذكاء الاصطناعي من التعرف عليها بدقة، حيث ظهرت هذه العناصر بشكل مشوش في معظم المحاولات. ويوضح شكل رقم 16 الاسكتش قبل وبعد اظهاره بالاستعانة بالذكاء الاصطناعي.

شكل رقم 16 تطوّير منظور عمارة سكنية من اسكتش يدوي إلى صورة واقعية، المصدر: الباحث

- **مشروع مجمع سكنى تجارى – النزهة الجديدة - (2025)**

تم تصميم بديلين للمشروع بطابع معاصر يتميز بانسيابية الخطوط وعمل اسكتش يدوي لمنظور عين طائر لكتلة كل بديل ثم الاستعانة ببرنامج Promeai.pro لإظهار تلك الاسكتشات وفقاً للمحددات التصميمية والطابع المقترح. ويوضح شكل رقم 17 تلك البدائل والاسكتشات قبل وبعد اظهارها بالاستعانة بالذكاء الاصطناعي.



شكل رقم 17 تطوّير بدائل تصميم مجمع سكنى من اسكتش يدوي إلى صورة واقعية، المصدر: الباحث

- **مشروع مجمع سكنى تجارى – القاهرة الجديدة - (2025)**

تم تصميم الموقع العام للمشروع وتلوينه ببرنامج Adobe Photoshop ومن خلال نفس البرنامج تم تحويل الموقع العام الى لقطة منظورية ورفع ارتفاعات الكتل، ثم الاستعانة ببرنامج Promeai.pro لإظهار تلك اللقطة وفقاً للمحددات التصميمية والطابع المقترح. ويوضح شكل رقم 18 الموقع العام واللقطات التي تم إظهارها بالاستعانة بالذكاء الاصطناعي.

شكل رقم 18 تطوّير تصميم مجمع سكنى من موقع عام ملون إلى منظور واقعي، المصدر: الباحث

8. تقييم نتائج الدراسة التطبيقية

يوضح جدول رقم 1 تقييماً للنتائج التي تم الحصول عليها باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي

جدول رقم1 تقييم نتائج الدراسة التطبيقية

النوع	النتيجة	الايجابيات	السلبيات
تحويل النص الكتابي الى صورة واقعية Text To Image		لقطة واقعية تم توليدها فى اقل من دقيقتين بناء على وصف نصي مكتوب prompt وفقاً للمحددات التصميمية والطابع التصميمي المقترح.	اختلاف شكل وعناصر الواجهات في النتائج من لقطة لأخرى بالرغم من عدم تغيير النص الكتابي
توليد نص كتابي من صورة وتحويلة مرة أخرى الى صورة		لقطة واقعية لمتحف جوجنهايم تم توليدها فى اقل من دقيقتين بناء على وصف نصي مكتوب prompt تم توليده من صورة واقعية للمتحف.	حدث تغيير واضح في نسب وتفاصيل المبنى وزاوية الصورة وفقاً لتفسير تطبيق الذكاء الاصطناعي المستخدم لمحتويات النص المكتوب
تحويل الاسكتش اليدوي الى صورة واقعية Sketch To Image		لقطة واقعية لعمارة سكنية طراز نيو كلاسيك تم توليدها فى اقل من دقيقتين بناء على اسكتش يدوي تصميمي.	استلزم الأمر عدة محاولات، ومعالجات باستخدام برنامج Adobe Photoshop، لإظهار تفاصيل العناصر الكلاسيكية التي لم يتمكن الذكاء الاصطناعي من التعرف عليها بدقة

9. الفرص والتحديات المتعلقة باستخدام تطبيقات الذكاء الصناعي في تصميم وإظهار الواجهات

تشكل تقنيات الذكاء الاصطناعي نقلة نوعية تسهم في تسريع عمليات التصميم وتوليد حلول مبتكرة تعكس تنوع الأساليب والطرازات بدقة وكفاءة. كما يعزز من جودة التواصل بين المعماري والعميل عبر تحويل الرسومات المبدئية إلى صور واقعية عالية الوضوح. ومع ذلك، تواجه هذه التقنيات تحديات تتعلق بصعوبة ترجمة الأفكار المعمارية المعقدة إلى مدخلات رقمية، والحاجة إلى بيانات ضخمة لتدريب النماذج. كما تُثار مخاوف بشأن حقوق الملكية الفكرية، وتأثير الأتمتة على فرص العمل، إلى جانب اتساع الفجوة الرقمية بين المكاتب المتقدمة والممارسين الأفراد محدودي الموارد. ويوضح الشكل رقم 19 تحليل swot analysis لاستخدام الذكاء الصناعي في التصميم المعماري.

نقاط القوة
- تسريع عملية التصميم وتوليد بدائل متعددة بسرعة.
- دعم اتخاذ القرار في المراحل المبكرة من التصميم.
- تحسين كفاءة الإظهار وانتاج لقطات واقعية سريعة.
- تعزيز التواصل مع العملاء من خلال جودة عرض الافكار

نقاط الضعف
- محدودية فهم الطرز والسياقات المعمارية المختلفة.
- إنتاج تصميمات نمطية خالية من اللمسة الإنسانية.
- الحاجة إلى تعديلات يدوية لضبط التفاصيل الدقيقة.
- ضعف الدقة فى توثيق المبانى التاريخية أو الرمزية.

الفرص
- توسيع نطاق الإبداع والتجريب التصميمي.
- توليد حلول تصميمة مبتكرة بكفاءة عالية.
- دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي مع الابداع البشرى.
- تحسين الاستدامة وجودة البيئة المبنية.

التهديدات
- تراجع الجانب الإبداعي مقابل تقنيات الآلة وفقدان البعد الإنساني في التصميم.
- قضايا قانونية تتعلق بالملكية الفكرية للتصميمات الناتجة.

شكل رقم 19 swot analysis عن استخدام الذكاء الاصطناعى فى التصميم المعمارى ، المصدر: الباحث

10. النتائج

- كشفت الدراسة التطبيقية عن إمكانات كبيرة لتقنيات الذكاء الاصطناعي كأداة مساعدة يمكن أن تتكامل مع الخبرة والمهارة البشرية لضمان جودة وواقعية النتائج وبصفة خاصة فى تصميم وإظهار الواجهات المعمارية.
- أظهرت تطبيقات مثل Midjourney وPromeAI.pro كفاءة عالية في توليد تصاميم متنوعة ومبتكرة بسرعة كبيرة بناءً على نصوص مكتوبة تصف بدقة الاتجاه التصميمي الذي يحدده المصمم المعماري مما يساعد في الوصول الى مجموعه من البدائل في مرحلة التصميم الابتدائي بصورة لم تكن ممكنة بنفس السرعة والدقة من قبل.
- ساهمت خوارزميات التعلم الآلي في تحويل الاسكتشات اليدوية إلى صور واقعية بجودة عالية في وقت قياسي مما يعزز من التواصل بين المصمم والعملاء من خلال وضوح الافكار التصميمية.

وعلى الرغم من تلك المميزات توجد بعض التحديات الفنية والأخلاقية منها على سبيل المثال:

- عدم دقة النتائج في حالة توليد الصور لمبنى قائم بالفعل بناء على وصف كتابي دقيق كما في حالة متحف جوجنهايم حيث اختلفت النسب والتفاصيل عن الصورة الحقيقية.
- تطلبت بعض النماذج الدراسية تعديلات ببرنامج Adobe Photoshop لتحقيق الواقعية المطلوبة وخلق تطابق بين المخرجات والمدخلات (الاسكتشات) خاصة عند التعامل مع أنماط معمارية معقدة مثل المفردات والعناصر الكلاسيكية.
- تعتمد تطبيقات الذكاء الاصطناعي على قواعد بيانات ضخمة تم جمعها من مصادر متنوعة مما يثير تساؤلات حول حقوق الملكية الفكرية للتصميمات المولدة وهل هي للمصمم المعماري أم لمطوري التقنيات المستخدمة أم ملكاً مشاعاً للجميع حيث إن التصميمات المولدة تعتبر سابقة خبرة للتطبيق وتضاف الى قاعدة بياناته.
- تتيح تطبيقات الذكاء الاصطناعي لغير المتخصصين الحصول على بدائل تصميمية للواجهات دون مراعاة الأسس البيئية والفنية والتشكيلية مما قد يؤدي إلى حالة من التشوه البصري نتيجة لتهميش دور المصمم المحترف وتحويل العملية الإبداعية إلى ممارسة آلية تفتقر للفكر التصميمي وتهدد القيم الإنسانية التي تشكل جوهر الممارسة المعمارية.
- يمكن للبيانات المستخدمة في تدريب النماذج أن تعكس توجهات ثقافية أو جمالية معينة على حساب الطابع المحلي أو التاريخي وهو ما يطلق عليه الانحياز الخوارزمي مما ينعكس على الهوية المعمارية المميزة لكل منطقة.

11. التوصيات

- تطوير مناهج التعليم المعماري لتشمل تطبيقات الذكاء الاصطناعي وكيفية استخدامها في مجال التصميم بهدف الدمج ما بين المهارات التقنية والإبداعية مع التركيز على القيم الإنسانية والأخلاقية التي لا تستطيع الآلات محاكاتها.
- تشجيع التعاون متعدد التخصصات بين المعماريين ومطوري تطبيقات الذكاء الاصطناعي بهدف إنشاء قواعد بيانات ضخمة ومتنوعة تشمل الطرز المعمارية المحلية والعالمية المختلفة والخامات والعناصر المتنوعة مثل الأبواب والشبابيك والعقود والحليات والكرانيش لتغذية وتدريب تطبيقات الذكاء الاصطناعي وتحسين عمليات التعلم الآلي.
- تأهيل شباب المعماريين من خلال برامج تدريب متخصصة في أدوات وتقنيات الذكاء الاصطناعي تتكامل مع البعدين الفني والإنساني في العملية التصميمية.

- وضع أطر أخلاقية واضحة لتنظيم استخدام الذكاء الاصطناعي في التصميم المعماري تضمن حقوق الملكية الفكرية.
- تؤكد الدراسة على أن الذكاء الاصطناعي ليس بديلاً عن المصمم المعماري، بل أداة مساعدة تعزز من إمكاناته وتطور من مهاراته الإبداعية.

12. المراجع

[1] ساره، ربيع. "الذكاء الاصطناعي التوليدي تحولاً في المعايير الجمالية لمفهوم الفن والتصميم، دراسة تحليلية تطبيقية لنماذج مختارة." مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية (2024).

[2] محمود، حسن. "نحو منهجية علمية متقدمة لاستخدام تقنية الذكاء الاصطناعي في استوديوهات التصميم المعماري (تطبيق عملي بمشاركة طلاب العمارة)." مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية (2023).

[3] Ackerman, James S. "The Origins of Architectural Drawing in the Middle Ages and Renaissance." Origins, Imitations, Conventions: Representation in the Visual Arts, p. 27-65. (2001)

[4] Grzybowski, Andrzej, Katarzyna Pawlikowska–Łagód, and W. Clark Lambert. "A history of artificial intelligence." Clinics in Dermatology 42.3 (2024): 221-229.

[5] Copeland, B. J. "Artificial Intelligence: A Philosophical Introduction." Blackwell Publishers, (2000)

[6] Russell, Stuart, and Peter Norvig. "Artificial Intelligence: A Modern Approach." 4th ed., Pearson, (2021)

[7] Imdat, As, Siddharth Pal, and Prithwish Basu. "Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning." International Journal of Architectural Computing 16.4 (2018): 306-327.

[8] Li, Yangluxi, et al. "A review of artificial intelligence in enhancing architectural design efficiency." Applied Sciences, (2025).

[9] Al-kazzaz, Dhuha A. "Instrumentalization of machine learning in architectural design." International Review of Applied Sciences and Engineering, (2025).

[10] Korzynski, Pawel, et al. "Artificial intelligence prompt engineering as a new digital competence: Analysis of generative AI technologies such as ChatGPT." Entrepreneurial Business and Economics Review 11.3 (2023): 25-37.

[11] Amira, Fawzy, "The Future Role of Artificial Intelligence (AI) Design's Integration into Architectural and Interior Design Education is to Improve Efficiency, Sustainability, and Creativity." Civil Engineering and Architecture 3.12 (2024).

[12] Chaillou, Stanislas. "AI and architecture: An experimental perspective." The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture. Routledge, (2021). 420-441.

[13] M Matter, Nermen, and Nevine G Gado. "Artificial intelligence in architecture: Integration into architectural design process." Engineering Research Journal 181 (2024): 1-16.

[14] https://homedesigns.ai/m, visited 15-3-2025

[15] https://parametric-architecture.com/ visited 8-5-2025

[16] https://www.archivinci.com/ visited 8-5-2025

[17] https://www.promeai.pro/ visited 10-5-2025