international DESIGN JOURNAL
Print ISSN 2090-9632
Online ISSN 2090-9640

تحقيق التوازن والابتكار في التصميم الداخلي للطائرات بين الراحة والقيود التشغيلية

Achieving Balance and Innovation in Aircraft Interior Design Between Comfort and Operational Constraints

آية حسن محمد يوسف عفيفي
المدرس بقسم الديكور ، عمارة داخلية، كلية الفنون والتصميم، جامعة فاروس، الإسكندرية، aya.hassan@pua.edu.eg

ملخص البحث

يعتبر التصميم الداخلي للطائرات من المجالات الهندسية المتطورة التي تجمع بين الجماليات، والراحة، والأمان، وكفاءة أستخدام المساحات مع مراعاة العديد من العوامل مثل بيئة الطيران، والمواد المستخدمة لضمان رحلة آمنة ومريحة للمسافرين وأفراد الطاقم.

فالتصميم الداخلي للطائرات عنصرًا أساسيًا في تحسين تجربة السفر الجوي، حيث يسعى المصممون إلى تحقيق التوازن بين الراحة والقيود التشغيلية مثل الوزن، استهلاك الوقود، والسلامة، ومع التطور التكنولوجي أصبح الابتكار في المواد والتقنيات جزءًا لا يتجزأ من تصميم المقصورات، مما يتيح تحسين المساحات وتوفير بيئة مريحة للمسافرين دون التأثير على كفاءة الأداء من حيث تصميم بيئه جماليه تحافظ علي المساحه الشخصيه لكل مسافر وخاصة في المسافات الطويله فيجب أن يراعي في المقصوره متطلبات الجلوس أو النوم والتخزين ومراعاه الجوانب الأنشائيه كالأهتزاز والصوت والتدفئه والتهويه والتكيف والتحكم في الروائح والإضاءة الطبيعيه والصناعيه، ومع ذلك يواجه المصممون تحديات متعددة من بينها ضرورة استخدام مواد خفيفة ومقاومة للحراره والحريق، وتوفير أقصى درجات الراحة ضمن المساحة المحدودة، مع الالتزام بالمعايير الصارمة للطيران، لذلك يتطلب الأمر حلولًا إبداعية تجمع بين الجماليات والوظائف التشغيلية لضمان تجربة سفر متكاملة تجمع بين التكنولوجيا المستحدثه والأستدامه.

ويهدف هذا البحث إلى استكشاف الأساليب الحديثة المستخدمة في تصميم الطائرات، والتحديات التي تواجهها الصناعة، بالإضافة إلى الحلول المبتكرة التي تساعد في تحقيق التوازن بين الراحة والكفاءة التشغيلية، مع النظر في متطلبات المسافرين أو الركاب.

كلمات دالة

التصميم الداخلي للطائرات، الراحة والكفاءة التشغيلية، التقنيات الذكية، الاستدامة في الطيران، القيود الإنشائية

Aircraft interior design, Comfort and operational efficiency, Smart Technologies, Sustainability in aviation, Structural and weight constraints

Paper received April 21, 2025, Accepted June 12, 2025, Published on line September 1, 2025

المقدمة: Introduction

الهندسة الميكانيكية في الطيران تمثل أساسًا رئيسيًا في تصميم وتطوير الطائرات وكل ما يتعلق بعمليات الطيران، وتعتمد هذه الهندسة على دراسة وتحليل عناصر حيوية مثل قوة الدفع، الضغط الهوائي، والحرارة، إلى جانب اختيار المواد المناسبة لبناء الطائرات بما يضمن الأداء والكفاءة وبالنسبه لتصميم الطائرة الداخلي فهو صناعة قائمة ترتبط بمدى أرضاء العميل أو المسافر وتحقيق رغباته في تحويل الطائرة إلى قطعة فنية تمتزج فيها كل أشكال الإبداع والهندسة وحتى الألوان، فتسعى شركات صناعة الطيران إلى تحسين التصميم الداخلي للطائرات، بهدف تعزيز راحة الركاب وكفاءة استغلال المساحات التي أصبحت هدفًا رئيسيًا في صناعة الطيران الحديث، حيث يسعى القطاع لتحسين راحة الركاب، تقديم خدمة عالية الجودة، وتحسين تجربة السفر بشكل عام. فالتكنولوجيا تلعب دورًا مركزيًا في تحقيق هذا الهدف،حيث أسهمت التطورات الرقمية في توفير تجارب شخصية أكثر،مما يعزز رضا الركاب أثناء الرحلات،كما أن أحد الطرق الأساسية لتحقيق ذلك هو تحسين نظام الترفيه على متن الطائرات، يتم ذلك من خلال دمج أنظمة ترفيه متقدمة تحتوي على شاشات ذات جودة عالية وواجهات استخدام سهلة، مما يمكن الركاب من الوصول إلى مجموعة متنوعة من الأفلام، المسلسلات، والموسيقى وهذه الأنظمة تمنح الركاب تجربة ترفيهية غنية وممتعة أثناء الرحلة، إضافة إلى ذلك فالتكنولوجيا الذكية تساعد في تقليل وقت الانتظار وتحسين تجربة السفر بشكل عام عبر تطبيقات الهواتف الذكية، ويمكن للركاب الحصول على معلومات لحظية حول حجزهم وحالة الرحلة. كما يمكنهم اختيار مقاعدهم وتسجيل الدخول دون الحاجة إلى الانتظار في طوابير طويلة، مما يسهل عملية السفر بشكل كبير أيضًا، الجودة العالية للخدمات المقدمة على متن الطائرة، مثل الأطعمة والمشروبات، تلعب دورًا مهمًا في تحسين انطباع الركاب، والشركات تسعى لتحسين قوائم الطعام لتلبية الأذواق المتنوعة، مع تقديم خيارات صحية وشهية، وتعتبر المساحة الشخصية والراحة في المقاعد عاملاً حاسمًا في تجربة الركاب ولذا،هناك جهود مستمرة لزيادة المساحة المتاحة للركاب، خاصة في الدرجة الاقتصادية، عبر تحسين تصميم المقصورة وترتيب المقاعد، فالابتكار في هذا المجال يستمر في التطور بهدف تحسين رضا الركاب وجعل تجربة السفر أكثر إيجابية من خلال هذه التحسينات، تسعى صناعة الطيران لجعل كل رحلة تجربة فريدة تلبي توقعات واحتياجات الركاب المتغيرة مع مرور الوقت، فهذا النوع من الصناعة(صناعه التصميم الداخلي للطائرات) تتسابق فيه شركات عدة وتتعاون مع كبار المصممين في العالم رغبة منها في تحقيق أقصى رغبات العملاء من رفاهيته وخصوصاً اذا كان العملاء احد كبار الأغنياء في العالم وينصب اهتمامه على أدق التفاصيل دون الالتفات إلى التكلفة المادية التي تصل عادة إلى ثمن الطائرة نفسها. فتجهيز الطائرة من الداخل عملية ليست سهلة فهي تتطلب معايير وإجراءات معقدة اقلها عدم تحريك الطائرة تماما لضمان دقة التركيب. وعملية التصميم التي قد تمتد لتصل إلى ٦ شهور في بعض الطائرات الصغيرة وقد تمتد إلى عام ونصف في الطائرات الكبيرة وفقا للخدمات التي تطلبها الطائره واحتياجات المسافرين وفيما يلي سنتعرف علي انواع الطائرات :

مشكلة البحث: Statement of the Problem

- هناك الكثير من المشكلات التي تضايق الركاب من الناحيه الوظيفيه وتحتاج الي معالجة في مختلف الطائرات، ومن أهمها صغر مساحة المقاعد والحمامات، وصغر الأماكن التي تخص الأمتعة وكذلك الإفراط في استهلاك الوقود من جانب القوي التشغيليه، كما يواجه مصممين الطائرات تحديًا كبيرًا في تحقيق التوازن بين راحة الركاب ومتطلبات الكفاءة التشغيلية، مثل تقليل الوزن، تحسين استهلاك الوقود، وضمان السلامة،

CITATION Aya Afifi (2025), Achieving Balance and Innovation in Aircraft Interior Design Between Comfort and Operational Constraints, International Design Journal, Vol. 15 No. 5, (September 2025) pp 115-128

وهذا الأمر يتطلب استخدام مواد خفيفة ومتينة، وتصميمات توفر المساحة مع الحفاظ على تجربة مريحة للمسافرين.

أهداف البحث: Research Objectives

- توضيح الاتجاهات الحديثة في تصميم مقصورات الطائرات. تحليل التحديات التي تواجه المصممين فيما يتعلق بالوزن، المساحة، الراحة، والتقيد بمعايير السلامة. عرض الحلول الإبداعية والتكنولوجيات الذكية التي تعالج هذه التحديات. مناقشة احتياجات المسافرين المتغيرة وتأثيرها على تطور التصميم الداخلي. تسليط الضوء على مفاهيم الاستدامة والابتكار في المواد والأنظمة المستخدمة.

أهمية البحث: Research Significance

- استكشاف إستراتيجيات جديدة تساعد في تحسين تجربة السفر الجوي، مع ضمان أستدامة وكفاءة تشغيل الطائرات مع توضيح التكامل بين الجماليات، والراحة، والسلامة، والاستدامة في بيئة الطيران.ودعم كيفية توظيف التقنيات الحديثة والمواد الذكية لمواجهة التحديات المتعلقة بالمساحة والوزنبالأضافه الي المساهمة في تطوير مقصورات طائرات الأكثر كفاءة وراحة للمسافرين، خاصة في الرحلات الطويلة.

منهج البحث: Research Methodology

- **منهج وصفي تحليلي:** يعتمد على تحليل الدراسات السابقة، والممارسات الصناعية الحديثة، وحالات تطبيقية لتصميم مقصورات الطائرات، مع إجراء بعض المقارنات بين الأنظمة التقليدية والتقنيات الحديثة المستخدمة في تصميم الطائرات ومستقبل التصميم الداخلي للطائرات في ضوء توقعات الذكاء الأصطناعي لعام ٢٠٥٠.

حدود البحث: Research Limits

- يركز البحث على التصميم الداخلي للطائرات المدنية والطائرات الخاصة الفاخرة ، دون التطرق للطائرات العسكرية ويغطي بعض الجوانب الهندسية والجوانب التكنولوجية والوظيفية، دون الخوض في الجوانب التسويقية أوالاقتصادية. مع توضيح لبعض التطورات والتحديات الحالية والمستقبلية المتوقعة حتى عام ٢٠٥٠.

تساؤلات البحث: Research Questions

- كيف يمكن تحقيق توازن فعال بين الراحة والجماليات من جهة، والكفاءة التشغيلية ومتطلبات السلامة من جهة أخرى في التصميم الداخلي للطائرات؟
- ما هي الابتكارات التصميمية التي يمكن أن تواجه القيود المتزايدة على الوزن، استهلاك الطاقة، وتقليل الضوضاء في ظل تطلعات المسافرين المتزايدة؟

الإطار النظري: Theoretical Framework

١ـ تصنيف الطائرات إلى عدة أنواع:

يتم تصنيف الطائرات وفقًا لاستخدامها،نوع الهيكل والتصميم، حسب طريقة الإقلاع والهبوط ، حسب نوع المحرك، وطريقة تشغيلها وفيما يلي أهم أنواع الطائرات التي تتطلب تصميم داخلي لراحه الركاب:

أ- **الطائرات التجارية (Commercial Aircraft)** تستخدم لنقل الركاب والبضائع، مثل: Boeing 737 و Airbus A320.

ب- **الطائرات الخاصة (Private Jets)** مخصصة لرجال الأعمال والشخصيات المهمة، مثل: Gulfstream G650 وBombardier Global 7500.

٢ـ التصميم الداخلي للطائرات:

التصميم الداخلي للطائرات هو هندسة تراعي أدق التفاصيل الداخلية للطائره بدء من تصميم المقاعد ولون المفروشات وطبيعتها والتشطيبات النهائية والإضاءة والأرضيات ومعدات مطابخ الطائرات وأنظمة إدارة النفايات والسلامة والطاقة والنظافة العامة وحلول الإضاءة وقطع الغياروحلول مكملة لأنظمة المقصورات واللوحات الذكية التي تعمل باللمس وواجهات تشغيل وإدارة المقاعد والأغذية ومنتجات الرفاهية والراحة وأنظمة التبريد والحلول الأمنية والأنظمة البيومترية وأبواب المقصورات والمستلزمات الطبية وحلول تنقية الهواء والأنظمة الكهربائية وتركيب أحدث الأنظمة التقنية والترفيهية، وقد يكون هناك تصميمات منفرده لتصميم غرف الطعام والكراسي المريحة وخدمة الطعام التي تقدم من بوفيه على جانبي طاولة الطعام، وهناك خزانة للحقائب، وغرف خاصة ويمكن منحها خصوصية كاملة وفصلها عن ردهة الدخول والقاعة الأمامية بأبواب منزلقة تمتد إلى سلسلة كاملة من التشطيبات النهائية البسيطة والتعديلات الصغيرة والرئيسية وغرف المؤتمرات المزوده بجميع وسائل الاتصال ومن هنا يجب التعرف علي مكونات التصميم الداخلي للطائرات ولكن قبل ذلك لابد من معرفه أن هناك نقلة فاخرة في تصميم مقصورة الطائرة نحو راحة ذكية ومستدامه.

٣ـ تحول التصميم الداخلي للمقصورات الجوية:

تم الكشف مؤخرًا عن تصميم داخلي جديد يجمع بين الفخامة، التكنولوجيا، والاستدامة، ويعرف باسم "E2" أي Aircraft Cabin Interior Design، والذي يتميز بتوفير تجربة سفر أكثر فخامة وتتشابه مع أجواء الغرف الفندقية الفاخرة فتم اللجوء إلى بعض المصممين لتصميم الفراغات الداخلية للطائرات بتصميمات تركزعلى تحقيق أقصى درجات الراحة والرفاهية باستخدام مواد خفيفة ومتينة وتوفيرمساحات أوسع،ودمج التكنولوجيا الذكية مع مراعاة متطلبات الكفاءة التشغيلية والاستدامة والسعي لزيادة المساحة والكفاءة لراحة الركاب من ناحية ولأسباب بيئية واقتصادية من ناحية أخرى.

فهناك تطور مستمر في عالم الطيران من أجل تطوير تصميمات أكثر صداقة للبيئة، ليس فقط من حيث الخامات المستخدمة، وإنما كذلك فيما يتعلق بجهود تحسين استهلاك الوقود ،وذلك كمثال ليوضح أهميه ال "E2"هو تصميم داخلي جديد للطائرات يهدف إلى تحسين تجربة السفر من خلال توفير مستوى أعلى من الفخامة والراحة، مع التركيز على الاستفادة المثلى من المساحات والتكنولوجيا الحديثة،مع مراعاة معايير الطيران الحديثة التي تضمن تجربة سفر أكثر تطورًا ورفاهية للمسافرين، يتميز هذا التصميم بعدة عناصر مبتكرة، من بينها:

- **تصميم مستوحى من الغرف الفندقية:** حيث يوفر بيئة أكثر راحة وخصوصية للمسافرين.
- **مساحات شخصية أوسع:** مما يمنح الركاب راحة أكبر أثناء الرحلة، خاصة في الرحلات الطويلة.
- **استبدال الشاشات التقليدية:** تم تزويد المقاعد بحاملات للحواسيب اللوحية مثبتة على مساند الرأس بدلاً من الشاشات الصغيرة المعتادة، مما يسمح للمسافرين باستخدام أجهزتهم الخاصة بسهولة.
- **أنظمة صحية متطورة:** مثل الصنابير التي تعمل بدون لمس في المراحيض، مما يعزز معايير النظافة والراحة.

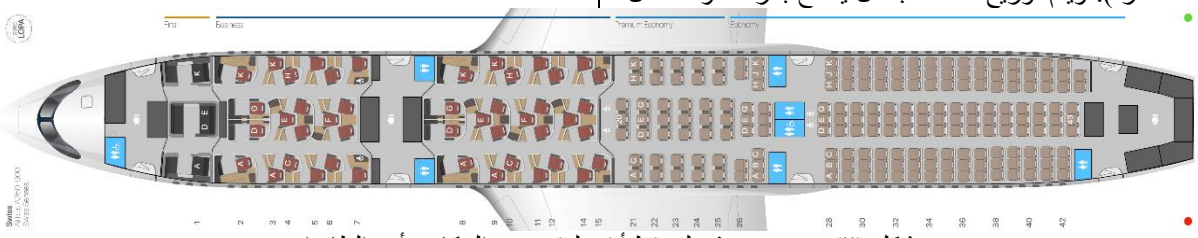
Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is pr cited.

شكل (١) يوضح أنماط وأشكال متعدده لتصميم المقاعد الذي يعتمد على المواد المريحة والخفيفة.

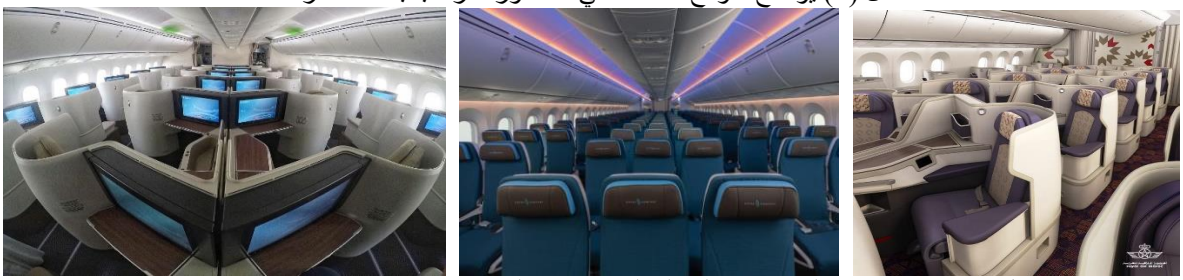
٤- عناصر التصميم الداخلي للطائرات:

٤-١- مقصورة الركاب:

تتنوع تصميمات مقصورة الركاب حسب نوع الطائرة (تجارية، خاصة، فاخرة). ويتم توزيع المقاعد بشكل يسمح بالراحة واستغلال المساحات بكفاءة ويراعى في اختيار المواد الداخلية أن تكون خفيفة الوزن وعازلة للضوضاء،كما يتم تصميم الإضاءة لتوفير راحة للعين وتقليل إجهاد الركاب.



شكل (٢) يوضح نموذج لمسقط أفقي لمقصوره الركاب بأحد الطائرات



شكل (٣) يوضح بعض التصميمات الداخليه لمقصورات الركاب بطائرات من طراز Boeing 787

والمقاعد بمقصوره الركاب تختلف حسب درجة السفر:

٤-١-١-الدرجة الاقتصادية (Economy Class):

تصميمها بسيط ومريح إلى حد ما، المسافة بين المقاعد (legroom) تختلف حسب شركة الطيران (عادة ٧٦-٨١ سم تقريبًا)، المقعد يميل للخلف بدرجة محدودة ومزود بطاولة قابلة للطي وجيب خلفي.

٤-١-٢-الدرجة الاقتصادية الممتازة (Premium Economy):

تصميمها يمتاز بمساحة الأكبر للساقين والمقعد أوسع وميول الظهر أكبرعن الدرجه الأقتصاديه، وقد نجد بعض الشركات توفر مساند للأرجل .

٤-١-٣- درجة رجال الأعمال (Business Class):

تصميم المقاعد أوسع بكثيرعن الدرجتين السابقتين وقد تتحول إلى سرير مسطح بالكامل، بها خصوصية عالية خاصة في الطائرات الحديثة.

٤-١-٤- الدرجة الأولى (First Class):

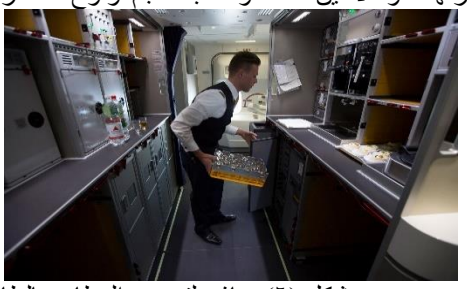
تصميم أجنحه خاصه أحيانًا، مع سرير كامل وحمامات خاصة في بعض الطائرات، المقاعد مغطاة بأجود انواع التغطيات للمقاعد كالجلد الفاخر، وتزود المقاعد بشاشات ضخمة.

شكل (٤) تصميم مقصورة ركاب بطائرة Boeing 787 التابعة لشركة Hawaiian ذات الـ ٣٠٠ مقعد،فالمقاعد قابلة للإمالة بالكامل، وشاشة ترفيه مقاس ١٨ بوصة، ومنافذ طاقة شخصية، وشحن لاسلكي، وإمكانية الوصول المباشر إلى الممر، وتم تصميم الأجنحة بترتيب ١-٢-١ مع أبواب، ويمكن أن توفر الخصوصية أو تجربة مشتركة، مع مقاعد مزدوجة متطابقة تسمح بالنوم.

٤-٢- أنظمة الترفيه (In-Flight Entertainment – IFE):
من العناصرالأساسية في تصميم المقصورة الداخلية للطائرات الحديثة، حيث تهدف إلى تحسين تجربة الركاب خلال الرحلات، خصوصًا الطويلة منها، وتعتبر هذه الأنظمة وسيلة فعالة لتعزيز راحة الركاب وتقليل الشعور بالملل والإجهاد أثناء السفر الجوي فتوفرالطائرات الحديثة شاشات عرض فردية ذات أنظمة صوت متقدمة واتصال بالإنترنت،و تستخدم تقنيات تعديل المقاعد كهربائيًا في الطائرات الفاخرة ودرجة رجال الأعمال، وتشمل أنظمه الترفيه عادة علي شاشة خلف المقعد (أو جهاز لوحي/شخصي في بعض الدرجات)،وخريطة الرحلة التفاعلية (لمتابعه موقع الطائرة،الوقت المتبقي،السرعة، الارتفاع، إلخ...)، كاميرات خارجية (في بعض الطائرات لمشاهدة الإقلاع/الهبوط) بالأضافه إلي أتصال Wi-Fi (قد يكون مجاني أو مدفوع حسب الدرجة والشركة)،ومنافذ شحن USB أو كهرباء.

شكل (٥) يوضح بعض أشكال الترفيه من شاشات فرديه وأنظمه صوتيه لتحسين رضا الركاب بالرحله، وقد يتم أستخدام الذكاء الاصطناعي لتخصيص المحتوى حسب تفضيلات الركاب

٥-٣- المطابخ ودورات المياه:
مطابخ الطائرة هي واحدة من أكثر الأماكن تعقيداً للتصميم، فيتم تصمم المطابخ بطريقة ذكية ومضغوطة لتوفير أقصى أستفادة من المساحة، مع الحفاظ على السلامة والكفاءة، ولتكون عملية مع مراعاة المساحة المحدودة، وعادةً ما تكون في مقدمة الطائرة أو مؤخرتها، أو الاثنين معًا، وحسب حجم ونوع الطائرة، وتستخدم لتخزين وتحضير الوجبات والمشروبات، فينم تجهيز الطعام باستخدام أفران خاصة تعمل بالكهرباء أو البخار، وتحتوي على بعض المعدات كالثلاجات الصغيرة، أفران تسخين، ماكينات القهوة، خزائن لحفظ الوجبات والمشروبات، وأحواض صغيرة للماء وكل شيء يكون مثبت بإحكام لتجنب الحركة أثناء الإقلاع والهبوط أو المطبات الهوائية.



شكل (٦) نماذج لتصميم المطابخ بالطائرات ويتم تجهيزها وفقا لشركات خاصه وأتباع نظم السلامه والأمان

وهناك مقترح لتصورمطبخ طائرة بتصميم مختلف بفكر ذكي مستوحى من آلات البيع فهو يستطيع أن يخزن ويسخن الطعام بالنظم الآلية، حيث يمكن فرز وتغليف العبوات المكثفة للأغذية الجاهزة في الجزء السفلي، وبمجرد أن يطلب المسافر وجبته فمن الممكن للأذرع الآلية بأن تحدد مكان الوجبة وتنقلها إلى مرحلة التسخين، ومن ثم إلى مضيف الرحلة وبإمكان المسافر الحصول على طلبه من خلال شراء المنتج عبر تطبيق معين على هاتفه الذكي، والحصول عليها من الخزائن المليئة بهذه المنتجات على متن الطائر.

شكل (٧) يوضح مطبخ ذكي مستوحى من آلات البيع، يستخدم بالطائرات - فكرته لا تزال فرضية - وبهذا المقترح لا يعني أن وظيفة مضيفات ومضيفي الطيران ستصبح غير ضرورية،بل ستمكنهم من أن يكون لديهم متسع أكبر من الوقت للتعامل مع المسائل الأخرى والضرورية، وإضافة إلى أن الخزائن المقر الرئيسي للحصول على الوجبات الخفيفة والوسائد، فقد نتستطيع أن نغير الطريقة التي يستهلك فيها الركاب المساحة على متن الطائرة. (التصميم تم تنفيذه بأحد برامج ال AIمن تصميم الباحثه عن طريق ال Chatgpt.)

وبالنسبه لدورات المياه فهي تحتوي على أنظمة متطورة للحفاظ على النظافة وتوفير المياه موزعة في أنحاء الطائرة، وعلي حسب حجم الطائرات فالكبيرة تحتوي على أكثر من وحده، وتستخدم نظام التفريغ بالضغط (vacuum system) لسحب النفايات بسرعة عند الضغط على الزر، باستخدام فرق الضغط وليس الماء الغزير مثل الحمامات العادية وتحتوي علي مغسلة صغيرة بها صنابير تعمل بدون لمس، مما يعزز معايير النظافة والراحة، مرآة، أدوات تنظيف وتعقيم، وغالبًا تحتوي على طاولة تغيير للأطفال وكاشف للدخان، ومطفأة حريق مخفية، ولا يمكن قفل الباب من الخارج إلا من قبل طاقم الطوارئ.

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is pr cited.

شكل (٨) يوضح نماذج لكبائن دورات المياه بالطائرات.

٤-٤- كابينة الطيار:

يتم تصميم غرفه القيادة وفق معايير عالية لضمان راحة الطيارين وكفاءة التحكم، وتستخدم مواد وتقنيات متطورة للحد من الإرهاق أثناء الرحلات الطويلة، ومن العناصر الرئيسية في التصميم كابينه الطيار مقاعد الطيارين التي تكون قابلة للتعديل للأمام، للخلف، وللأعلى حسب طول الشخص مريحة لدعم الجسم في الرحلات الطويلة ومجهزة بأحزمة أمان ٤ أو ٥ نقاط وبجانبها مقابض للتحكم اليدوي أو دواسات، الي جانب لوحة التحكم في الطيران وعجلة القيادة أو عصا التحكم والنوافذ الأمامية المصنوعه من الزجاج المقوي المقاوم للضغط والحرارة والكابينه مزودة بمساحات ومانع تجمد وتصميمها يسمح برؤية واضحة تمامًا للطريق الجوي فالإضاءة بها قابلة للتعديل لتناسب الليل والنهار،وفي بعض الطائرات، يوجد ستارة أو باب صغير خلف الكابينة لفصلها عن الركاب.

شكل (٩) يوضح كابينه الطيار أو غرفه القياده التي يتم تجهيزها وفقا لمعايير السلامه والأمان .

٥- التحديات المستقبليه في تصميم الداخلي للطائرات:

يواجه التصميم الداخلي للطائرات تحديات مستقبلية متعددة تتطلب تحقيق توازن دقيق بين الأداء، السلامة، والراحة من أبرز هذه التحديات تقليل الوزن باستخدام مواد خفيفة دون التأثير على المتانة بهدف خفض استهلاك الوقود والانبعاثات كما أن الالتزام الصارم بمعايير السلامة من الحريق يشكل تحدياً عند أستخدام مواد طبيعية أوصديقة للبيئة،حيث يجب تقليل قابلية الاشتعال،وإطلاق الحرارة والدخان وتزداد الحاجة لاستخدام مواد مستدامة وقابلة لإعادة التدوير،مع الحفاظ على الأداء الفني المطلوب إضافة إلى ذلك،يشهد التصميم الداخلي توجهاً متزايداً نحو دمج التكنولوجيا الذكية لتوفير تجربة ركاب تفاعلية ومخصصة، دون التأثير على الوزن أو الراحة في ظل المساحات المحدودة داخل الطائرات،ويصبح من الضروري تحسين توزيع المساحات والاهتمام بالعزل الصوتي والحراري كما يجب الابتكار في حلول تصميم منخفضة التكلفة ومرنة للصيانة والتعديل السريع كما فرضت المتطلبات الصحية،خاصة بعد جائحة كوفيد١٩، التركيز على استخدام مواد مضادة للميكروبات وتصاميم تقلل من التلامس وتسهل التنظيف،ما يعكس التوجه نحو بيئة طيران أكثر أماناً وصحة واستدامة في المستقبل.

٦- الأساليب التكنولوجيه والتقنيات الحديثه في التصميم الداخلي لمقاعد الطائرات:

بفضل أستخدام التكنولوجيا المتقدمة لتحقيق التوازن بين الراحة والوزن لخلق تصاميم مبتكره،ذكيه وأكثرراحه،هناك بعض الأجراءات التى قد تقوم بها شركات الطيران باتخاذها من أجل إنعاش تلك الصناعة، فبفضل التطورفي الهندسة الميكانيكية للطيران وتقنيات التصنيع بالطباعة ثلاثية الأبعاد التي أحدثت نقلة نوعية في بناء مكونات معقدة ودقيقة بتكاليف منخفضة بوقت قياسي ذات بنية وسلامة ودون خساره إقتصاديه، فبتقليل عدد المقاعد لراحه الركاب حيث المساحة الأكبر، والمقاعد المريحه، نتحتاج إلي تصميم ذكي يوفر الراحة دون التضحية بالعائد المادي للرحله الواحده إلي جانب أنظمة التركيب المرنة سهلة الصيانة.

فعند تخصيص مساحة أكبر لجلوس الركاب، حيث أن أكثرما يتسبب فى ازعاج الركاب حقا هو قيامهم برحلة كاملة فى ظل الدفع بالركبتين باتجاه المقعد المقابل لهم، كما أن كلما كان الحشو داخل المقاعد بسيطا كلما كان غير مريح وهو أحد الأمور التى قامت بها شركات الطيران بصورة تدريجية من أجل تضخيم حجم الأرباح على حساب العملاء حيث تقدم الشركات مقاعد مثبتة أضيق وأنحف من الطبيعى، ولتوفير مقاعد أكثر راحة فكان ولابد من التفكير في تصميمات مبتكره وجديده وتحقق معايير السلامة الدولية ضمان سهولة الصيانة والتنظيف:

٦-١- المقاعد القابلة للتحول: مثل مقاعد درجة رجال الأعمال التي تتحول لأسرة، أو حتى "أسرة بطابقين" قيد التجربة حاليًا في بعض الطائرات طويلة المدى.

٦-٢- المقصورة المنحنية: استغلال أفضل للمساحة برفع السقف وتوسيع الجدران لخلق شعور بالانفتاح.

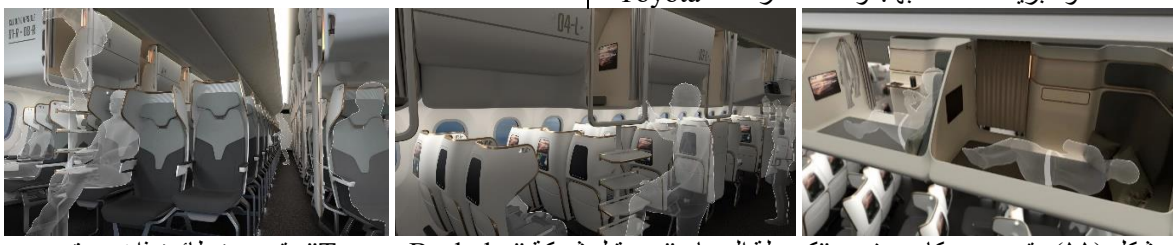
٦-٣- كبسولات النوم: هي كبسولات نوم صغيرة توفر خصوصية أكثر أو جدران قابلة للطي بين المقاعد (خاصة بدرجات رجال الأعمال) وهناك بعد الأمثله والمقترحات لذلك:

مثال: أ) مقصوره ركاب بالدرجة الاقتصادية فعدم وجود مساحة للساقين أدي لتصميم مقاعد مكونه من مستوين، فالمقصورة متعددة المستويات تقدم تجربة جذابة للمسافرين الجالسين على المستويين، فالفكره قائمه علي رفع صف المقعد الأمامي ليحل المشكلة ويزيل بتصميمه خزانة الأمتعة العلوية،مما يتيح مساحة أكبر في المقصورة للمقاعد ذات المستوى الأعلى، ويتم تخزين الأمتعة في مقصورات أسفل المقعد، قفد يكون التصميم لمحة عن المستقبل المحتمل للطيران.وأن هذا التصميم سيعمل بشكل جيد داخل طائرة من نوع "Flying-V"، والتي يتم تطويرها حالياً بجامعة دلفت للتكنولوجيا، يمكن أيضاً تنفيذ هذا التصميم داخل طائرة من طراز "بوينغ ٧٤٧ أو "إيرباص إيه ٣٣٠"، أو أي طائرة أخرى متوسط أو كبيرة الحجم.

ويتمتع ركاب الصف السفلي بميزة الركاب الذين يتمتعون بجلسه كالأريكة من خلال مد الأرجل، بينما يوفر الصف العلوي زيادة في مساحة الجلوس للساق ومساحة إجمالية أكبر،كما يتوفر بتصميم المقعد المزيد من زوايا الميل، ومسند ظهر قابل للضبط ومسند رقبة لتوفير مزيد من الراحة، وبالإضافة إلى ذلك، صممت قطع المقاعد بحيث تكون سهلة النقل، مما يسمح بتحويل الطائرة التجارية إلى استخدام البضائع.(Vicente, 2021)

شكل (١٠) تصميم نموذج لمقصورة ذات مستويين كمثال لمقعد الدرجة الاقتصادية "Chaise Longue Economy Seat" بمثابة إعادة تخيل مذهلة لمقصورة الدرجة الاقتصادية حيث يتناوب كل صف بين المقاعد على الأرض والمقاعد المرتفعة بضعة أمتار فوق سطح الأرض.

مثال: ب) مقصوره ركاب بمفهوم "CLOUD CAPSULE" الخاص بشركة "Toyota Boshoku"، والذي يتخيل المنطقة فوق مقعد الدرجة الاقتصادية كمساحة إضافية يمكن للركاب الصعود إليها بمجرد وصول الطائرة إلى سرعة الطيران. ويهدف المقعد إلى تسهيل نوم الركاب في المقصورة الاقتصادية، باستخدام أجنحة مبطنة يمكن طيها من خلف جانبي ظهر المقعد، مما يتيح للركاب مزيداً من الخصوصية ومسند مبطن لإراحة الرأس، إلى جانب إعدادات التدفئة والتبريد الخاصة بها. وتصف شركة " Toyota Boshoku" "كبسولة السحاب بأنها "غرفة متعددة الأغراض تتناسب مع تجربة مقعد درجة رجال الأعمال ويمكن للمسافرين شراء تذكرة مقعد داخل الدرجة الاقتصادية، ومن ثم دفع مبلغ إضافي للوصول إلى كبسولة السحاب "CLOUD CAPSULE"، والتي تصفها شركة "Toyota Boshoku" بأنها "غرفة متعددة الأغراض تتناسب مع تجربة مقعد درجة رجال الأعمال". (Boshoku، ٢٠٢١)



شكل (١١) مقصوره ركاب بمفهوم "كبسولة السحاب" من قبل شركة "Toyota Boshoku" مقصورة طائرة ذات مستويين.

مثال: جـ) بعض الشركات (مثل طيران نيوزيلندا) بدأت تقدم أسرة بطابقين أو"كبسولات نوم" حتى في الدرجة الاقتصادية، وهي مقاعد تتحول إلى سريرمزدوج أومساحة إجتماعية في الطائرات الكبيرة، كما في Qsuite من الخطوط القطرية كفكره الأجنحة المغلقة (Suites) التي أصبحت شائعة في الدرجة الأولى وبدأت تظهر حتى في بعض درجات رجال الأعمال.

شكل (١٢) يوضح نموذج بأحد الطائرات "Qsuite" الأجنحه المغلقه بالخطوط القطريه.

٧- الاستدامة والتكنولوجيا الخضراء بالتصميم الداخلي لمقصورات الطائرات:

تعتبر الاستدامة والتكنولوجيا الخضراء من العوامل المهمة في تصميم مقصورات الطائرات الحديثة، ويزداد الاهتمام بالحد من التأثيرات البيئية في مجال التصميم الداخلي للطائرات، يتم استخدام تقنيات ومواد تساهم في تقليل البصمة الكربونية وتحسين الكفاءة البيئية الداخليه للطائرات وتقنيات تنقية الهواء وأنظمة تهوية محسنة وتقليل الضوضاء داخل المقصورة باستخدام عوازل صوت متقدمة، واستخدام مواد معاد تدويرها وخفيفة الوزن، فيمكن استخدام المواد الحيوية والمعاد تدويرها في الهياكل الثانوية والأجزاء الداخلية لتقليل الاعتماد على المواد غير المتجددة، إلا أن لا تزال هذه المواد المستدامة مطالبة بتلبية معايير صارمة للأداء والسلامة، وبما أن الوزن الخفيف من أكثر العوامل أهمية في الطيران، لأنه يؤثر بشكل كبير على التأثير البيئي خلال مرحلة الاستخدام لذلك، فإن المواد المركبة الحيوية والمعاد تدويرها ومتعددة الوظائف توفر حلاً بيئيًا واقتصاديًا لإنتاج طائرات أكثر استدامة دون التنازل عن الكفاءة أو السلامة وهناك أمثله لذلك:

٧-١- **شركة Airbus** التي تعتمد في بعض تصاميمها على مفروشات من مواد معاد تدويرها بالكامل.

٧-٢- **شركه Lufthansa** التي طورت تصميمات المقاعد لتكون أخف وزنًا بنسبة تصل إلى ٣٠٪ لتقليل الوقود.

٧-٣- **شركة Embraer** التي اختبرت استخدام الجلود النباتية في درجة رجال الأعمال كجزء من جهود الاستدامة.

شكل (١٣) يوضح بعض التصميمات الداخلية لمقصورات الطائرات تعتمد علي الأستدامه الخضراء عن طريق التصميمات المرنة طويلة العمر مع دمج التكنولوجيا الذكية الداعمة للاستدامة

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is pr cited.

٧-٤- مشروع ECO-COMPASS في عام ٢٠١٦، الذي عمل عليه العلماء والمهندسون الأوروبيون والصينيون معًا لتطوير المواد المركبة المستخدمة في الطيران بحيث تكون أقل تأثيرًا على البيئة،وكان الهدف من المشروع هو إجراء تقييم أولي لأنواع مختلفة من المواد البيئية، بما في ذلك المواد الحيوية، والمعاد تدويرها، والمركبة متعددة الوظائف، ومدى قابليتها للاستخدام في بيئة الطيران. والمواد المركبة التي تم دراستها في مشروع ECO-COMPASS مصنوعة من مصادر متجددة طبيعيًا مثل النباتات، وألياف الكربون المعاد تدويرها مع وظائف مضافة، بحيث يمكن تعديل الخصائص الصوتية والاهتزازية والكهربائية وفقًا لاحتياجات التصميم (شكل ١٤). وكان الهدف من هذا الجهد المشترك هو تصنيع تجريبي لهياكل ثانوية وداخلية للطائرات باستخدام هذه الأنظمة الجديدة من المواد، ومن الجدير بالذكر أن عتبة إدخال مواد جديدة في قطاع الطيران تعتبر مرتفعة نسبيًا بسبب متطلبات السلامة الصارمة، مثل معايير أداء المواد في مقاومة الحريق المستخدمة داخل مقصورة الطائرة،ويمكن استخدام المواد الحيوية والمعاد تدويرها في الهياكل الثانوية والأجزاء الداخلية لتقليل الاعتماد على المواد غير المتجددة، ومع ذلك، لا تزال هذه المواد المستدامة مطالبة بتلبية معايير صارمة للأداء والسلامة .وبما أن الوزن الخفيف من أكثر العوامل أهمية في الطيران، والتي تؤثر بشكل كبير على التأثير البيئي خلال مرحلة الاستخدام، لذلك فإن المواد المركبة الحيوية والمعاد تدويرها ومتعددة الوظائف توفر حلاً بيئيًا واقتصاديًا لإنتاج طائرات أكثر استدامة دون التنازل عن الكفاءة أو السلامة. فالنباتات في تصميم الطائرات (Bio-based materials)المقصود بها استخدام مواد مستخرجة من مصادر نباتية كبدائل للمواد التقليدية في تصنيع الأجزاء الداخلية للطائرات مثل الكرتون المعالج القابل للتحلل وتقلل من البصمه الكربونيه وخفيفه الوزن، أما ألياف الكربون المعاد تدويرها (Recycled Carbon Fiber) فهي ألياف كربونية مستخرجة من مكونات قديمة أو تالفة لطائرات أو مركبات، معاد تشكيلها ومعالجتها لاستخدامها في تصنيع مكونات جديدة، والتي تقلل من أستهلاك المواد الخام الجديده وبالنسبه للمواد المضافه (Functional Additives) فيقصد بها تحسين خصائص المواد بإضافة مكونات ذكية أو تفاعلي. (Bachmann, 2021)

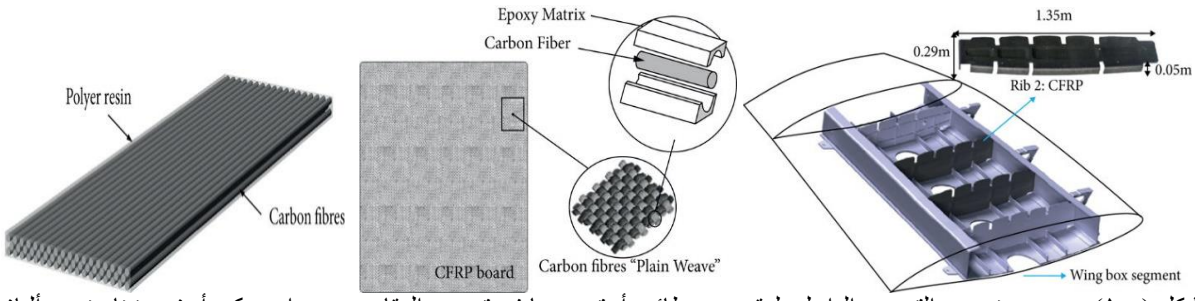
شكل (١٤) يوضح أمثله المواد والتقنيات التي تم تطويرها خلال مشروع ECO-COMPASS للتعاون بين الاتحاد الأوروبي والصين.

٨- أمثلة على تطبيقات التكنولوجيا الخضراء في التصميم الداخلي لمقصورات الطائرات:

يتم أختيار مواد مستدامة خفيفة الوزن وصديقة للبيئة من حيث الإنتاج وطريقه التخلص منها عند التلف،مثل الأقمشة المعاد تدويرها،والمفروشات المصنوعة من المواد القابلة لإعادة التدوير أو تلك التي تحتوي على حد أدنى من المواد البلاستيكية.

٨-١- المواد خفيفة الوزن:

تمثل المواد كالألومنيوم والبوليمرات المقواة بالألياف (CFRP) حلولًا مبتكرة لخفض الوزن في المقصورات الداخلية للطائرات، وهي ليست فقط خفيفة الوزن بل أيضًا قوية ودائمة، مما يقلل من استهلاك الوقود ويزيد من كفاءة الطائرة بشكل عام، إلى جانب وجود مواد مركبة خفيفة الوزن مثل البلاستيك المقوى بالألياف الطبيعية أوالمواد المتجددة مثل الألياف الخشبية أو الألياف النباتية. (Wiley، Jun 2022). فالألياف النباتية توفر ميزة إضافية في تخميد الاهتزازات، وتقليل الضوضاء، والعزل الحراري مقارنة بنظيراتها من الألياف الزجاجية أو الكربونية التقليدية، وهي خصائص يفضل أستخدامها في الهياكل الداخلية للطائرات، ومن الممكن أستخدام ألواح خفيفة الوزن كسبائك الألمنيوم والتيتانيوم، بالإضافة إلى استخدام رغوة خفيفة الوزن للحشوات،أو مقاعد أخف وزنًا باستخدام مواد مركبة (composites) وتصغير سمك الهيكل المعدني للمقعد تقليل عدد المكونات أو دمج وظائف متعددة في عنصر واحد.



شكل (١٥) يوضح جزء من التصميم الداخلي لمقصوره طائره أستخدم بها في تصميم المقاعد من مواد مركبه أخف وزنا ونسيج ألياف الكربون والتي تتكون من طبقات متعددة من ألياف الكربون المرتبة بزوايا مختلفة وبشكل متقاطع ومتساو ومشبعة بمادة راتنجية (مادة لاصقة) لتوفير الصلابة ولتعطي مظهر متناسق وسطح ناعم نسبيًا.

٨-٢- المواد القابلة للتحلل البيولوجي:

٨-٢-١- الخشب المعاد تدويره: يستخدم في بعض المقصورات الداخلية للطائرات،سواء في الأثاث أو بعض الأجزاء الزخرفية، حيث يتم التعامل مع الخشب ليكون قابلاً للتحلل عند نهاية دورة حياته، مثل الخيزران.(Release, 2024)

شكل (١٦) يوضح بعض التصميمات الداخليه لمقصورات طائرات خاصه مستخدم بها الأخشاب في التصميم الداخلي.

٨-٢-٢- الأقمشه القابله للتحلل البيولوجي: يعتبر الصوف متجدد وقابلة للتحلل الحيوي، من أنظف مواد الأرضيات وأكثرها مراعاة للبيئة في العالم ،وقد نجد أن عمليه إزالة السجاد واستبداله تكون كل ٦ إلى ١٢ شهر حسب نوع الطائرة، وذلك للحفاظ على المظهر نظيف ومستوى نظافة ممتاز،وقد يستغرق هذا عدة ساعات ،وخاصة عند استخدام المواد اللاصقة التقليدية لتثبيت السجاد على الأرضية، كما تعد المواد اللاصقة صعبة الإزالة وغالبًا ما تتسبب في تلف الأرضية عند نزع السجاد فتم أبتكار نظام الخطاف والحلقة (hook and loop) ليساهم في تقليل كمية النفايات الناتجة عن المواد اللاصقة بشكل كبير، مما يعزز الاستدامة ويقلل من الهدر. (LLC, 2024)

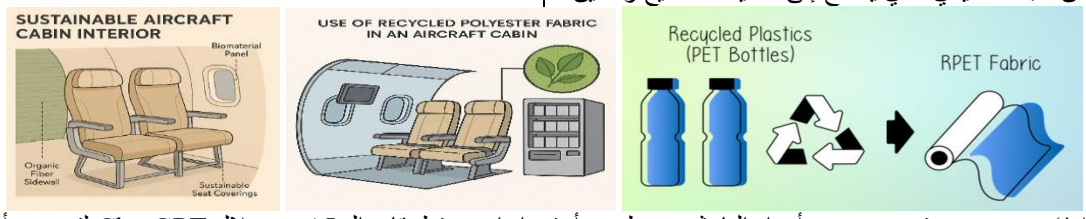
شكل (١٧) يوضح أستخدام الصوف في الأرضيات بالطائرات وطريقه تركيبه .

هناك توجه لاستخدام الأقمشة المشتقة من المواد الطبيعية مثل القطن العضوي أو الألياف المصنوعة من النباتات التي تزرع بدون استخدام مواد كيميائية ضارة، مما يساهم في تقليل الأثر البيئي،والتي تستخدم كأغطية المقاعد والستائر، خاصة في الطائرات الخاصة أو درجات السفر الفاخرة. ويستخدم أيضا الكتان والقنب كألياف طبيعية قوية وخفيفة الوزن، ويمكن استخدامها في الأقمشة المعالجة خصيصًا لتلبية معاييرمقاومة الحريق والسلامة في الطيران، ويتم معالجتها لإنتاج أقمشة ناعمة ومضادة للبكتيريا، ويمكن استخدامها كمفروشات صديقة للبيئة لكونها خفيفة الوزن لتقليل استهلاك الوقود، ويجب مطابقتها لمعايير مقاومة اللهب وتحملها للضغط العالي والرطوبة داخل الطائرة وإلى جانب تغطيات المقاعد من الجلد المستدام الذي يعد من مواد التنجيد االمستدامه فقد أستخدم بدائل جلدية مصنوعة من مواد نباتية أو من مواد صناعية منخفضة التأثير البيئي بدلاً من الجلد التقليدي الذي يحتاج إلى عمليات تصنيع وتعدين مكثفة.

٨-٣- المواد المعاد تدويرها:

٨-٣-١-الأقمشة المصنوعه من مواد معاد تدويرها :

تستخدم بعض الشركات المصنعة للطائرات الأقمشة المصنوعة من البلاستيك المعاد تدويره بالزجاجات البلاستيكية القديمة أو المواد البلاستيكية الأخرى التي تتحول إلى ألياف نسيجية، هذه الأقمشة توفر حلاً بيئيًا لأنه يتم تقليل الفاقد من البلاستيك، كما أنها خفيفة الوزن تساهم في تقليل الوزن الإجمالي للطائرة وبالتالي تقليل استهلاك الوقود، مثل قماش "بولي إيثيلين تيريفثالات المعاد تدويره" أي Recycled Polyethylene Terephthalate-(RPET) ، ويعتبر قماش مبتكر ومستدام في عالم الأقمشة، ويساهم في تقليل كمية البلاستيك في النفايات والمحيطات وإعادة التدوير وتقلل الحاجة لإنتاج بوليستر جديد.



شكل (١٨) يوضح رسم توضيحي من أعداد الباحثه عن طريق أستخدام إحدي تطبيقات ال AI من خلال ChatGPT لتوضيح أستخدام الأقمشة المصنوعة من البلاستيك المعاد تدويره واستخدامتها بالمقصوره الداخليه للطائرات.

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is pr cited.

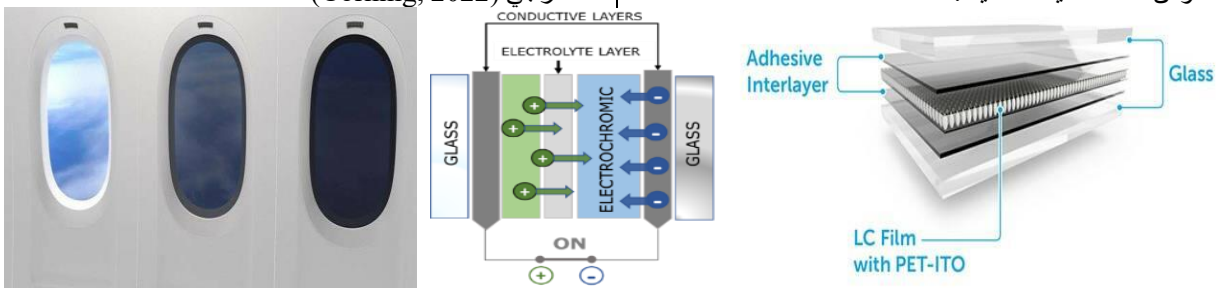
٨-٣-٢- المقاعد المصنوعة من مواد قابلة لإعادة التدوير:
تم تطويرمقاعد الطائرات التي تحتوي على هيكل مصنوع من مواد قابلة لإعادة التدوير مثل الألمنيوم المعاد تدويره، فالألمنيوم من المواد القابلة لإعادة التدوير بنسبة ١٠٠٪، ويتم استخدامه لتقليل الوزن الكلي للمقعد مما يساهم في خفض استهلاك الوقود، ويتم صهر الألمنيوم المستعمل في منتجات أخرى وإعادة تشكيله ليصبح جزءاً من هيكل المقعد دون فقدان خواصه الميكانيكية.ويعد البلاستيك القابل للتحلل من المواد التي تساهم في تقليل حجم النفايات الناتجة عن الطائرات في حال تم استبدال المقاعد أوإعادة استخدامها أومعالجتها بشكل أقل ضررًا للبيئة عند نهاية عمرها.

٨-٤- الدهانات والمواد العازلة الصديقة للبيئة:
هناك دهانات غير سامة يتم أستخدامها بحيث تكون خالية من المركبات العضوية المتطايرة في تصميم مقصورات الطائرات، مما يحسن من جودة الهواء داخل المقصورة ويقلل من التأثيرات الضارة على البيئة وهناك مواد عازلة تعتمد على الخلايا الفولاذية أوالألياف الزجاجية المستدامة،مما يساهم في توفير الطاقة داخل المقصورة وتحقيق كفاءة أفضل في أستخدام الطاقة.
ويوجد طلاء "البولِي يوريثان" المختص لتحسين مظهرالخشب ومعالجة الخدوش والشقوق وغيرها من العيوب السطحية، علاوة على ذلك، يمكن أستخدام طرق التلوين لتغيير درجة لون الخشب بشكل دقيق، فهذا الدهان له قدره علي التكيف مع الحركات الطبيعية للهياكل الخشبية، مما يمنع تكون الشقوق مع مرورالوقت ويضمن جمال المستمر(AeroVisto, 2024) .

شكل (١٩) يوضح نماذج لأسطح فائقه النعومة، شديد اللمعان، ومقاومه للتآكل والخدوش، فعند تغطية بعض الأسطح الداخليه بالطائرة بالخشب الصناعي لتجديد المقصورة الداخلية نقوم بعملية الطلاء لإبراز جمال الخشب وضمان أستدامته وسلامته وتعتبر عملية الطلاء معقدة، حيث تتضمن تطبيق عدة طبقات من الطلاء، ويتم وضعها بعناية، وصقلها، ثم إعادة تطبيقها، ويجب أن تجف كل طبقة بشكل كافٍ لاستغلال خصائصها بالكامل، بما في ذلك مقاومة الحريق والمرونة، وهما أمران أساسيان للحفاظ على سلامة وديمومة المقصورة الداخلية للطائرة.

٩- دمج الأبتكارات والتقنيات الذكية في تصميم مقصورات الطائرات:
يشهد قطاع الطيران تطورًا متسارعًا في مجال التقنيات الذكية والتصميم الداخلي للمقصورة، لتحسين تجربة الركاب وزيادة كفاءة الأداء، ومن أمثله التقنيات الذكيه :

٩-١ النوافذ الذكية: التي تعتمد على تقنية الزجاج الإلكتروني (Electrochromic Glass) التي تتيح للركاب التحكم في شفافية النافذة ومستوى الإضاءة من خلالها، مما يلغي الحاجة إلى الستائر التقليدية ويعزز من راحة العين وتقليل الإزعاج الناتج عن الضوء الخارجي (Corning, 2022)

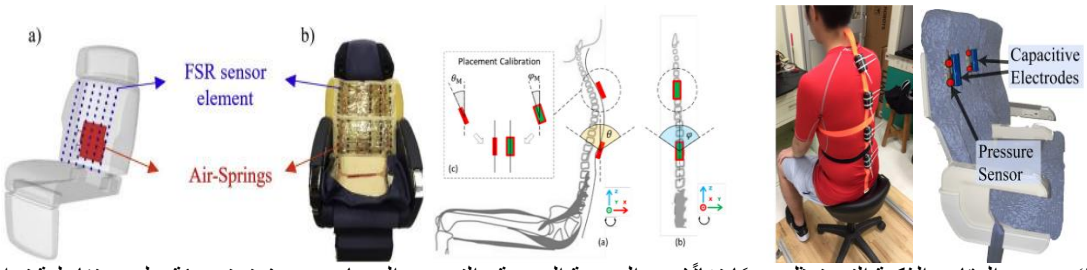


شكل (٢٠) يوضح أستخدام الزجاج الإلكتروني في طائرة من طراز بوينغ ٧٧٧ لحجب أشعة الشمس والحرارة، مما يتيح للركاب تعتيم نوافذهم بشكل انتقائي، ويتكون من طبقة نشطة (فيلم بلورات سائلة) ومواد لاصقة موضوعة بين طبقتين رقيقتين من الزجاج الخارجي.

٩-٢- المقاعد الذكية: تمثل طفرة تقنية في مجال تصميم مقاعد الطائرات، وتهدف بشكل أساسي إلى تحسين راحة الراكب وصحته أثناء الجلوس لفترات طويلة، فقد تكون مزودة بحساسات يمكنها تتبع وضعية جلوس الراكب، وقياس العلامات الحيوية مثل معدل ضربات القلب أو درجة الحرارة، تستخدم هذه البيانات لضبط درجة حرارة المقعد، وتوفير تدليك تلقائي،أوتنبيهات بشأن وضعيات الجلوس الخاطئة أثناء الرحلات الطويله. (Arnrich، ٢٠١٠)، وكل ذلك يقوم علي المستشعرات المدمجة (Sensors)بالمقاعد مزودة بعدد من الحساسات الدقيقة المدمجة داخل وسادة المقعد أو المسند الخلفي، وتستخدم لعدة أغراض:

أ- تتبع وضعية جلوس الراكب بحيث تقوم الحساسات بتحليل كيفية جلوس الشخص، وهل هي صحيحة أمغير صحيحة.

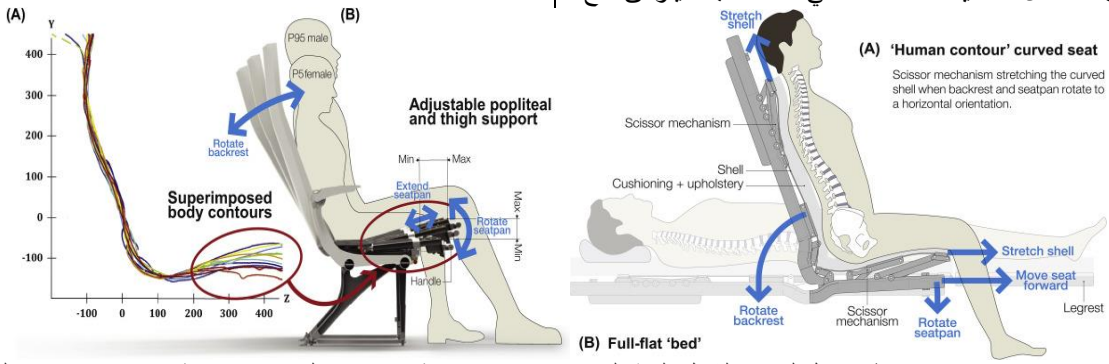
ب- قياس العلامات الحيوية كمعدل ضربات القلب وذلك بأستخدام مستشعرات ضوئية (مثل المستخدمة في الساعات الذكية). ودرجة حرارة الجسم عبر مستشعرات حرارية مدمجة في المقعد، وأحيانًا قياس معدل التنفس أو مستوى التوتر العصبي، وقد يكون هناك تدليك تلقائي بالمقعد مما يحسن الدورة الدموية وتقليل التصلب العضلي أثناء الجلوس الطويل. وقد يقوم المقعد بتحذيرات بشأن وضعية الجلوس في حال أكتشاف وضعية جلوس خاطئة (مثل الانحناء المفرط أو ميل العمود الفقري)، يصدر المقعد تنبيه صوتي أو أهتزازي لتصحيح الوضع ليساعد ذلك في تجنّب آلام أسفل الظهر أو الرقبة، خاصة خلال الرحلات الطويلة. (Vermander، ٢٠٢٤)



شكل (٢١) يوضح المقاعد الذكية التي تمثل دمجًا فعّالًا بين الهندسة الحيوية والتصميم الصناعي،حيث توفر بيئة جلوس تفاعلية تراعي صحة الراكب، وتمنع الآثار السلبية للجلوس الطويل مما يجعلها خيارًا مثاليًا لمستقبل التصميم الداخلي للطائرات.

مثال: تصميم مقعد قابل لتغييرالشكل بتعديل أنحناء سطح المقعد لتوزيع الضغط بطريقة لا مركزية، ويتكون نظام المقعد من سجادة حساسات ضغط مدمجة داخل وسادة مسند الظهر، بالإضافة إلى مشغلين هوائيين يقعان في منطقة الدعم القطني ليحدث تغيير في أنحناء سطح مسند الظهر وينتج توزيع للضغط يشبه بدرجة كبيرة توزيع يستند إلى مفهوم التوزيع المثالي للضغط (Ideal Pressure Distribution) لتقليل الشعور بعدم الراحة الناتج عن لا مركزية الحمل على مسند الظهر بأستخدام مؤشر موضوعي لعدم الراحة يعرف باسم نسبة توزيع وسادة المقعد Seat Pan Distribution Percentage – SPD

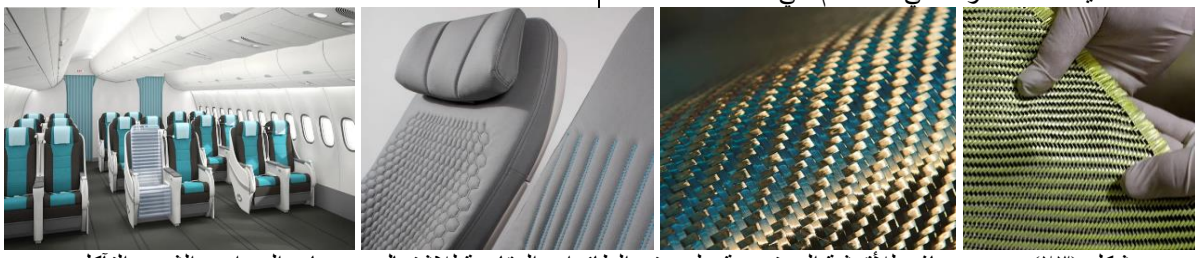
فتصميم المقعد مريح بحيث يتم أستخدام بيانات الأنثروبومتري (قياسات جسم الإنسان) إلى جانب المسح السطحي للجسم بالكامل بهدف تحسين تصميم المقعد السلبي، فقد تم استخدام طرق المسح ثلاثي الأبعاد 3D لتحديد الشكل المثالي للمقعد بما يتوافق مع أنحناءات جسم الإنسان،فتم جمع طبعات للجسم البشري بأستخدام مرتبة تفريغ هوائي، ثم أستخدام ماسح ثلاثي الأبعاد محمول باليد لمسح هذه الطبعات والحصول على سطح ثلاثي الأبعاد للجسم، بعد ذلك يتم تراكب عمليات المسح المختلفة بطريقة تقلل الفروقات بينها إلى الحد الأدنى، واستنادًا إلى هذا الانحناء المثالي، تم تطوير مفهوم المقعد القابل للتعديل ،فالشعور بعدم الراحة العضلي الهيكلي أثناء الجلوس، وخاصةً الناتج عن الجلوس لفترات طويلة، يودي إلى التعب الفسيولوجي الذي يصيب جسم الإنسان نتيجة وزنه الذاتي كما تؤدي التصاميم السلبية للمقاعد إلى مناطق ضغط سطحية غير مناسبة على الجسم، مما يسبب إجهاد عضلي وهيكلي عالي يؤدي بدوره إلى شعور بعدم الراحة الجسدية فيمكن لهذا المقعد تخفيف هذا الشعور من خلال توزيع وزن الراكب بشكل لا مركزي. (Mastrigt، ٢٠١٩)



شكل (٢٢) يوضح تصميم مقعد قطني قابل لتغيير الشكل تلقائيًا له خصائص ميكانيكية وتفاعلات لمواد مستخدمة في تصنيع مقاعد الطائرات مثل رغوة البولي يوريثين (PU Foam) فعند تلامسها مع جسم الإنسان يتطور نظام التحكم في منطقة أسفل الظهر (الدعامة القطنية).

٩-٣- استخدام المواد الذكية :

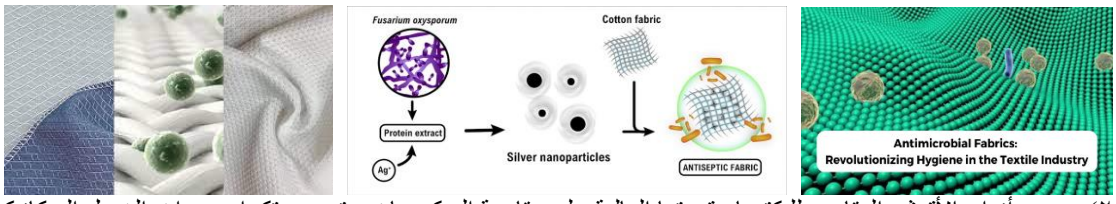
٩-٣-١- استخدام الأقمشة المقاومة للحريق: فيتم أستخدام أقمشة معالجة كيميائيًا بمواد مانعة للاشتعال مثل البوليستر المعالج بطبقات مانعة للاشتعال أو نسيج الكيفلار (Kevlar) أو الأراميد، هما من الألياف الصناعية فائقة القوة التي تستخدم في صناعة مقاعد الطائرات بسبب خصائصهما المميزة كمقاومتهم العالية لدرجات الحرارة، الشد، والتآكل حيث تبدأ بالتحلل فوق ٤٥٠°C كما أنها مواد متينه للغاية وتطيل من عمر الأقمشة المستخدمة في الطائرات مع الحفاظ على خفة الوزن (Dilba, 2018)



شكل (٢٣) يوضح نماذج للأقمشة المستخدمة على متن الطائرات المقاومة للاشتعال ودرجات الحرارة، الشد، والتآكل.

٩-٣-٢ أقمشة مقاومة للبكتيريا وسهلة التنظيف: بعد جائحة كورونا زاد الطلب على مواد تقلل من نقل العدوى وتحافظ على بيئة جلوس نظيفة وذلك بأستخدام أقمشة مقاومة للبكتيريا وسهلة التنظيف Antimicrobial & Easy-to-clean fabrics عن طريق بعض تقنيات المستخدمه بالأقمشه مثل أستخدام الأقمشة المطلية بأيونات الفضة أو النحاس، والتي تمنع نمو البكتيريا والفطريات، والأقمشه المعالجه ذات الأسطح الغير المسامية أوالمعالجة بطبقات نانوية لمنع التصاق الأوساخ والسوائل مما يساعد علي تقليل وقت التنظيف والصيانة الدورية. (Campos, 2020)

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is pr cited.



شكل (٢٤) يوضح أنواع الأقمشه المقاومه للبكتريا وقدرتها العالية على مقاومة الميكروبات حتى بعد تكرار دورات الغسيل الميكانيكي (حتى ١٠ مرات).

٩-٤ الإضاءة الذكية LED: القابلة للتعديل حسب أوقات الرحلة عن طريق أنظمة إضاءة LED القابلة للتخصيص حسب مرحلة الرحلة (الإقلاع، العشاء، النوم،...) يتم توفر إضاءة حيوية ديناميكية متطورة، فنظام الإضاءة العام للمقصورة يحاكي حركة الشمس أثناء الشروق والغروب فتأثير الضوء الأزرق مقابل الضوء البرتقالي على أنماط النوم، ومستويات اليقظة، وإيقاعنا اليومي أي الساعة البيولوجية والمحاكاة الطبيعية لضوء النهار والليل بحيث يتم تعديل الإضاءة الداخلية تدريجيًا لتتوافق مع توقيت المنطقة الزمنية التي ستهبط فيها الطائرة للتقليل من تأثير تغير التوقيت (Jet Lag) أي تقليل آثار أضطراب التوقيت البيولوجي بحيث يمكن التحكم في شدة الضوء، لونه، وتوزيعه وفقًا لمراحل الرحلة المختلفة وتعزز التكيف مع المناطق الزمنية الجديدة في عالم الطيران، فهذه الأنظمة لا تستخدم للإضاءة فقط بل تؤثر أيضًا على الساعة البيولوجية للركاب لتحسين تجربتهم خلال السفر. (Walton، ٢٠٢٥)

شكل (٢٥) يوضح أنماط تعديل الإضاءة تلقائيًا سواء في الإقلاع حيث الإضاءة الساطعة واللون البارد لتحفيز النشاط والانتباه فالإضاءة المائلة للطيف الأزرق تُعزز اليقظة،وفي العشاء حيث الإضاءة الدافئة المنخفضة التي تعزز الاسترخاء والراحة، وفي وقت النوم يتم تقليل الإضاءة مع تدرجات زرقاء أو داكنة لمحاكاة الليل وتشجيع الجسم على إفراز الميلاتونين (هرمون النوم) وفي حاله الهبوط تكون الإضاءة متدرجة للعودة إلى وضع النشاط استعدادًا للنزول وكل ذلك يرجع الي الأجرائات الأحترازيه التي صممت من أجل السلامه.

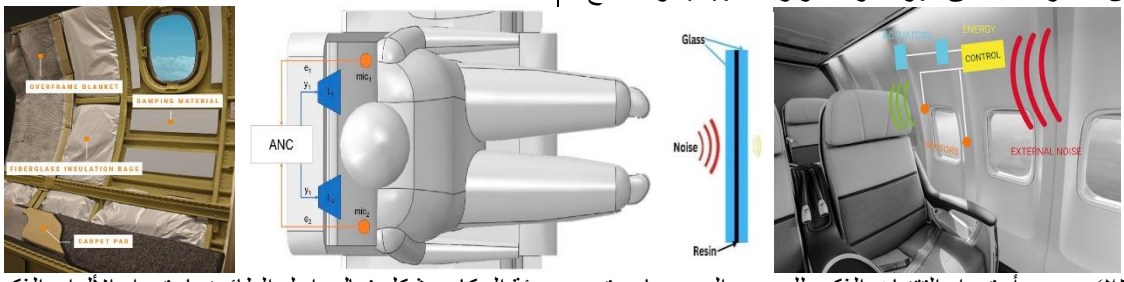
٩-٥- التقنيات الصوتية: تشمل أنظمة متقدمة لتقليل الضوضاء داخل المقصورة، سواء كانت ضوضاء المحركات أو الاضطرابات الجوية، وذلك لتحسين راحة الركاب أثناء الرحلة وتعتمد هذه الأنظمة على تقنيات مثل العزل الصوتي النشط (Active Noise Cancellation) من خلال سماعات الرأس أو أنظمة مدمجة في المقصورة، بالإضافة إلى استخدام مواد عازلة للصوت في الجدران والأرضيات والمقاعد، وتهدف هذه التقنيات إلى خلق بيئة هادئة ومريحة، خاصة في الرحلات الطويلة، مما يسهم في تقليل التوتر والإجهاد وتحسين جودة النوم والاسترخاء على متن الطائرة،وقد يتم التصميم الصوتي الذكي (Smart Acoustic Design) داخل المقصوره بتصميمات داخليه تقلل من الانعكاسات الصوتية داخل المقصورة عن طريق:

٩-٤-١- العزل الصوتي السلبي (Passive Noise Insulation) باستخدام مواد خاصة تمتص أوتعزل الصوت كالرغوة الصوتية (Acoustic Foam) والألواح المركبة العازلة (Composite Panels) والأقمشة متعددة الطبقات التي تستخدم في الجدران، الأرضيات، النوافذ، وأسفل المقاعد لتقليل الضوضاء القادمة من المحركات، تدفق الهواء، والاهتزازات الهيكلية ولاتحتاج إلى طاقة كهربائية كما أنها فعالة في نطاق الترددات العالية، كما يتم اختيار مواد تنجيد وسجاد تمتص الصوت، مع تقسيم المقصورة بذكاء لتقليل انتقال الضوضاء من المناطق المزدحمة.

٩-٤-٢- استخدام النوافذ الصوتية (Acoustic Windows) هي نوافذ متعددة الطبقات بمواد تقلل انتقال الضوضاء، وأحيانًا مزودة بفيلم رقيق أو فراغ هوائي بين الطبقات لامتصاص الصوت لتقليل الضوضاء الناتجة عن تدفق الهواء حول النوافذ والمقصورة.

٩-٤-٣ العزل الصوتي النشط (Active Noise Cancellation - ANC) - هي ميكروفونات تلتقط الضوضاء المحيطة وتعمل بنظام يصدر موجات صوتية معاكسة (Anti-phase) لإلغاء الضوضاء. (Dimino، ٢٠٢٢)

٩-٤-٥ استخدام سماعات الرأس الفعالة (خصوصًا في درجة رجال الأعمال والدرجة الأولى) وأنظمة ANC المدمجة داخل المقاعد أوبطانة المقصورة في بعض الطائرات الحديثة لإلغاء الضوضاء منخفضة التردد مثل هدير المحركات وهي فعالة في تقليل الضوضاء التي لا يمكن للعزل السلبي إزالتها بالكامل . (Misol, 2020)



شكل (٢٦) يوضح أستخدام التقنيات الذكيه للحد من الضوضاء وتحسين بيئة الركاب بشكل فعال داخل الطائرة باستخدام الألواح الذكية للبطانة الداخلية أو النوافذ الذكيه أو السماعات الرأس ونظام مسند الرأس بخاصية إلغاء الضوضاء النشط (ANC Headrest System).

مثال: مقعد طائره من تصميم شركة Safran Seats لفرنسية المتخصصة في تجهيزات الطائرات، وبالتعاون مع شركة Devialet للصوتيات .(Ticket, 2022)

شكل (٢٧) يوضح مقعد يعمل علي أستبدال سماعات الطيران التقليدية ذات الأسلاك المتشابكة بسماعات الرأس الشخصية، حيث يتم تثبيت مكبرات صوت في مسند الرأس لكل مقعد، مع ضبط مستويات الصوت بعناية بحيث يمكن للركاب الاستمتاع بمحتوى الترفيه الخاص بهم دون أن يسمعهم أو يزعجهم من يجلس بجوارهم.

١٠- توظيف الذكاء الاصطناعي في تحسين البيئه الداخليه لمقصورات الطائرات:

أصبح الذكاء الاصطناعي (AI) عنصرًا محوريًا في تطوير حلول ذكية تعزز تجربة السفر الجوي، من خلال تقديم خدمات شخصية وديناميكية تتماشى مع إحتياجات وتفضيلات كل راكب على حدة، وذلك من خلال مجموعة من الأساليب الذكية التي تعزز الراحة، الكفاءة، والتخصيص، مثل:

١٠-١- المساعدات الذكية داخل الطائرة بأستخدام روبوتات أو مساعدات صوتية ذكية للإجابة على استفسارات الركاب أو مساعدتهم في التنقل داخل المقصورة، مع استخدام شاشات ذكية تعمل بالذكاء الاصطناعي للتفاعل مع الركاب بطريقة أكثر طبيعية.

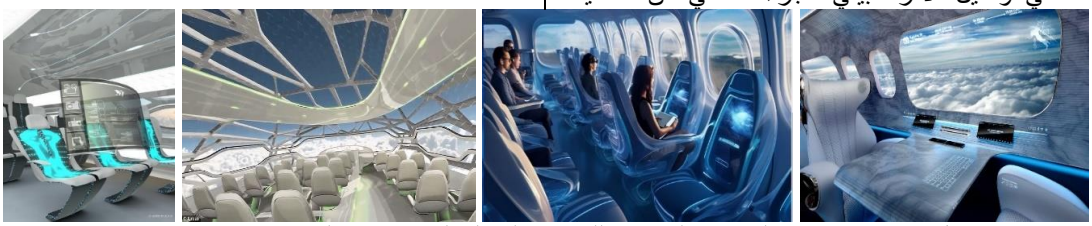
١٠-٢- الصيانة الاستباقية للمقاعد والمقصورة عن طريق تحليل بيانات أستخدام المقاعد والأجهزة لتحديد الأعطال قبل حدوثها، مما يرفع مستوى الراحة والسلامة.

١٠-٣- الخدمات الشخصية المخصصة للركاب بتحليل بيانات الركاب (مثل الوجهات المتكررة، اللغة، والعادات الغذائية لتقديم تجربة مخصصة وتوقع طلبات الركاب من الوجبات علي الطائره بناءً على البيانات السابقة وتقليل الهدر،....وغيرها).

١٠-٤- تحسين تدفق الركاب والصعود للطائرة بأستخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي لتقليل الازدحام عند الصعود والنزول من الطائرة عبر تحليل الحركة وتوجيه الركاب بذكاء. (Vássil Rjsé، ٢٠٢٣)

١١- توقعات التصميم الداخلي لمقصورات الطائرات في عام ٢٠٥٠:

من التوجهات العامه في مجال التصميم الداخلي لمقصورات الطائرات بفضل التطورات التكنولوجيه والتطلعات الهائله في ظل أستخدام الذكاء الأصطناعي ستكون في الراحة الشخصية والتخصيص التي تعتبر من الأولويات القصوى، ودمج الاستدامة بالتصميم الداخلي وتقليل الأثر البيئي كجزء أساسي من العمليه التصميميه مما سيجل الطائرات ينظر اليها بأنها فراغ داخلي يقضي به أوقات وتجارب ممتعه وليس مجرد وسيلة نقل، فسوف يتم تصميم مقصورات داخلية مرنة وقابلة للتعديل بحيث يمكن تحويل تصميم المقصورة حسب عدد الركاب أو طبيعة الرحلة، بتوفير مناطق مشتركة للاجتماع أو الترفيه في الرحلات الطويلة وغرف نوم أو استرخاء حتى في الدرجات العادية واستخدام مواد ذكية بالمقاعد تغير من شكلها وفقًا لوضع الجسم، أو تصميم مقصورات صغيرة قابلة للتخصيص داخل الدرجة الاقتصادية ذات ستائر أو جدران ذكية تعزل الصوت والرؤية حسب الحاجة وأستخدام الفقاعات صوتية لكل راكب باستخدام مكبرات دقيقة مدمجة في مسند الرأس بدون سماعات، مع أنظمة إلغاء الضوضاء النشطة المتكاملة في المقاعد التي تزيل ضجيج المحركات والركاب، مع استخدام أقمشة وألواح مصنوعة من مواد متجددة، قابلة للتحلل، ومضادة للبكتيريا وأنظمة تنظيف ذاتية للمقاعد والأسطح باستخدام أشعة UV أو روبوتات نانوية،و أستخدام شاشات واقع افتراضي (VR) مدمجة بالمقاعد أو النظارات،أو تجارب سينمائية خاصة بكل راكب، أو محاكاة السفر إلى أماكن افتراضية أثناء الرحلة، أوتصميم جدران الطائرة وتحولها إلى شاشات OLED شفافة تعرض المناظر الخارجية أو محتوى ترفيهي تفاعلي، أومعلومات عن الرحلة، أو حتى "الوضع الليلي" لراحة العين، وأستخدام الإضاءة الزرقاء والبرتقالية حسب وقت الرحلة للمساعدة على النوم أو الاستيقاظ بلطف، مع دمج الإضاءة مع الروائح والموسيقى لتعزيز تجربة الركاب. فكل جزء من المقصورة سيكون متصلًا ومزودًا بأجهزة استشعار،و سيقوم الذكاء الاصطناعي بمتابعه الحالة الصحية والنفسية لكل راكب ويوفر بيئة مخصصة له عن طريق تحليل بيانات الركاب للتعرف على الراكب تلقائيًا من خلال البصمة أو التعرف على الوجه وتعديل الإعدادات تلقائيًا لتقديم خدمات خاصه وشخصية لكل راكب، مما يحسن من الراحة والكفاءة بشكل ملحوظ.



شكل () يوضح بعض النماذج والتوقعات للتصميم الداخلي لمقصورات الطائرات في عام ٢٠٥٠

ومن هنا نستلخص أن قديماً كان التصميم يعتمد على حلول ميكانيكية أو ثابتة، بينما اليوم يوفّر الذكاء الاصطناعي بيئة ذكية، متكيفة، جدول (١) يوضح مقارنة مختصرة بين توظيف الذكاء الاصطناعي حاليًا في تحسين البيئة الداخلية لمقصورة الطائرة، والأساليب التقليدية قديمًا

العنصر	قديما	حاليًا (مع الذكاء الاصطناعي)
التحكم في الإضاءة	يدوي أو بإعدادات ثابتة.	ذكي يتكيف مع توقيت الرحلة وراحة الركاب تلقائيًا.
أنظمة التهوية والتكييف	تشغيل آلي تقليدي بثبات في درجات الحرارة.	يتم تتحكم فيها لضبط الحرارة حسب عدد الركاب والبيئة.
راحة المقاعد	تصميم موحد دون مراعاة فروق الأجسام.	مقاعد ذكية تتكيف مع شكل الجسم
إدارة الضوضاء	عزل تقليدي باستخدام مواد فقط.	أنظمة ذكية تراقب الضوضاء وتضبط العزل الصوتي تلقائيًا.
الترفيه والراحة	أنظمة ثابتة ومحدودة الوظائف.	ترفيه يتكيف مع تفضيلات الركاب.
تحليل احتياجات الركاب	استبيانات عامة أو بدون تحليل دقيق.	تحليل لحظي لبيانات الركاب لتوفير بيئة مثالية مخصصة.

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is pr cited.

النتائج: Results

- هناك توجه متزايد نحو المقصورات القابلة للتخصيص وتقسيمها لمناطق وظيفية (كمناطق الاسترخاء،عمل،..).
- التصميم الداخلي للطائرات أصبح يعتمد بشكل أكبر على الذكاء الاصطناعي، والمواد المستدامة.
- رضا المسافرين يتحسن بوضوح عندما يتم دمج عناصر الراحة والخصوصية في التصميم.
- القيود التشغيلية مثل الوزن واستهلاك الطاقة لا تعيق الإبداع إذا ما تم توظيف الابتكار بذكاء.

التوصيات: Recommendation

- ضرورة الاستثمار في البحث والتطوير لتحديث مفاهيم التصميم الداخلي للطائرات بما يتوافق مع التطورات التكنولوجية.
- تشجيع التعاون بين المهندسين،والمصممين، والتطورات التكنولوجيا لتحقيق بيئة طيران أكثر تكاملاً.
- تبني مفاهيم التصميم المتمحور حول الإنسان لتلبية الاحتياجات النفسية والبدنية للركاب.
- دمج مبادئ الاستدامة في اختيار المواد وأنظمة الإضاءة والتهوية والراحة.
- تطوير الفكر التصميمي للمصممين بما يناسب موصفات السلامه لمراعاه متطلبات المستقبل في قطاع الطيران.

المراجع: References

1- AeroVisto. (2024). https://aerovisto.com/veneering-varnishing-revarnishing/. (A. I. Services, Producer) Retrieved 2025, from https://aerovisto.com.
2- Arch2O_magazine. (2024, 8). www.arch2o.com. Retrieved from Arch2O: https://www.arch2o.com/scad-digital-fabrication-club-l-abnormal/
3- Arnrich, B. (2010). Probabilistic Appraisal Of Unobtrusively Measured ECG Signals. researchgate. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/a-Airplane-seat-showing-the-positions-of-the-contactless-capacitive-electrodes-and_fig2_235834442
4- Bachmann, J. (2021). Towards a Circular Economy in the Aviation Sector Using Eco-Composites for Interior and Secondary Structures. (G. Allegri, Ed.) aerospace, 8(5), 131. Retrieved from https://www.mdpi.com/2226-4310/8/5/131
5- Boshoku, T. (2021, 6 1). https://arabic.cnn.com. Retrieved from arabic.cnn.com: https://arabic.cnn.com/travel/article/2021/06/01/double-decker-airplane-cabin-concepts-crystal-cabin-awards
6- Campos, G. H. (2020, April). Pressure sensing of an aircraft passenger seat with lumbar control. sciencedirect,ElSevier, 84. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687019302157
7- Corning, A. (2022, March 7). www.radiantvisionsystems.com. Retrieved from www.radiantvisionsystems.com: https://www.radiantvisionsystems.com/blog/smart-glass-opens-window-new-applications
8- Dilba, D. (2018, 7 1). Fire-resistant and lightweight: Aviation textiles. AEROREPORT. Retrieved from https://aeroreport.de/en/innovation/fire-resistant-and-lightweight-aviation-textiles
9- Dimino, I. (2022 , May 31). Active Noise Control for Aircraft Cabin Seats. mdpi, 12(11). Retrieved from https://www.mdpi.com/
10- en.wikipedia.org. (2024, April 9). Retrieved from Wikipedia, the free encyclopedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Yoshizawa%E2%80%93Randlett_system#
11- Evgueni T. Filipov, Yi Zhu . (2024, march 20). designboom. (University of Michigan) Retrieved from https://www.designboom.com/: https://www.designboom.com/architecture/foldable-origami-structure-fiberboards-bridges-moon-habitats-engineers-university-michigan-03-20-2024/
12- Ganea, S. (2015, July 30). homedit. Retrieved 8 20, 2024, from www.homedit.com: https://www.homedit.com/faceted-designs/
13- Giuseppe. (2013, August 13). designboom. Retrieved 8 20, 2024, from https://www.designboom.com/: https://www.designboom.com/architecture/assemble-studio-features-geometric-origami-ceiling/
14- Haolei Jianga. (2022). Parametric design of developable structure based on Yoshimura origami. Sustainable Structures. doi:: 10.54113/j.sust.2022.000019
15- jeanjaminet. (2013, april 12). https://jeanjaminet.wordpress.com/. Retrieved from designspiration: https://jeanjaminet.wordpress.com/2013/04/26/test-post/
16- Lin, K. (2024). architectureprize. Retrieved from https://architectureprize.com/: https://architectureprize.com/winners/winner.php?id=2672
17- LLC, V. I. (2024, may). www.velcro.com/. (T. Business Solutions, Editor) Retrieved from https://www.velcro.com/: https://www.velcro.com/news-and-blog/2024/05/updating-aircraft-carpeting-with-sustainability-punctuality-in-mind/
18- lwamoto, L. (2009). Digital fabrications : Architectural and Material Techniques . New York : Princeton Architectural press.

Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Timber-Folded-Plate-Barrel-Vault-built-from-Plywood-Panels-at-the-laboratory-for-timber_fig10_283079349

29- Shah, A. P. (2024, April 23). thearchitectsdiary. Retrieved from https://thearchitectsdiary.com/: https://thearchitectsdiary.com/origami-in-architecture-15-ways-to-unfold-creativity/

30- Studio Pacific Architecture, Warren and Mahoney. (2010). https://www.archdaily.com/. Retrieved 8 2024, from archdaily: https://www.archdaily.com/796785/the-rock-studio-pacific-architecture-plus-warren-and-mahoney

31- Ticket, M. (2022, june 22). https://edition.cnn.com. Retrieved from edition.cnn: https://edition.cnn.com/travel/article/safran-euphony-airplane-seat-built-in-headphones

32- UNStudio B + M, Den Haag. (2007). www.archdaily.com. (Manufacturers: Hunter Douglas Architectural (Europe), Hafkon, Hunter Douglas) Retrieved August 2024, from ArchDaily: https://www.archdaily.com/100224/theatre-agora-unstudio

33- Vássil Rjsé, T. J. (2023). "AI Enabled Airline Cabin Services: AI Augmented Services for Emotional Values. Service Design for High-Touch Solutions and Service Quality". Design Management Journal.

34- Vermander, P. (2024, February 20). Intelligent systems for sitting posture monitoring and anomaly detection: an overview. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 21(28). Retrieved from https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12984-024-01322-z

35- Vicente, A. N. (2021, june). https://arabic.cnn.com/travel/article/2021/06/01/double-decker-airplane-cabin-concepts-crystal-cabin-awards. (N. Delft University of Technology, Producer, & CNN) Retrieved from https://arabic.cnn.com.

36- Walton, J. (2025, january). ر Time for airlines to get switched on to cabin lighting promises. Retrieved may 2025, from https://runwaygirlnetwork.com/2025/01/time-for-airlines-to-get-switched-on-to-cabin-lighting-promises/

37- Wiley. (Jun 2022). Ultrasonic Testing of Carbon Fiber-Reinforced Polymer Composites. Journal of Sensors. doi:DOI:10.1155/2022/5462237

19- Mastrigt, S. H.-v. (2019). Designing aircraft seats to fit the human body contour. ScienceDirect, 781-789. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128167137000611

20- Matcham+Design. (2024). tomwiscombe.com. (American Cement Building) Retrieved from TOM WISCOMBE ARCHITECTURE: https://tomwiscombe.com/DRAGONFLY

21- Misol, M. (2020, February). www.acasias-project.eu. ScienceDirect , 159. Retrieved from acasias-projec: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X19304359?via%3Dihub

22- Nawratil, G. (2023). Origami-like quasi-mechanisms with an antiprismatic skeleton. Mechanism and Machine Theory, 181(105214), 1. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094114X22004591?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=8bd4958b9b6b7945

23- Park, J.-H. (2000). Subsymmetry analysis of architectural designs: some examples (Vol. 27). doi:10.1068/b2462

24- Paulino, G. H. (2017, october 11). Nonlinear mechanics of non-rigid origami: An efficient computational approach. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences. royalsocietypublishing, 473. doi:GHP,0000-0002-3493-6857

25- Prof. Dr. Saad Hassan. (2018, July). Evolutionary Design Systems in Modern Architecture. Arab Association for Islamic Civilization and Art, Article 43, Volume 3(11). doi:10.12816/0046918

26- Release, M. (2024, october 17). https://www.pilatus-aircraft.com/. (S. M.-2. Interior, Producer) Retrieved 2025, from www.pilatus-aircraft.com: https://www.pilatus-aircraft.com/en/news/nachhaltige-materialien-fuer-die-kabinenausstattung-des-pilatus-pc-24

27- render, c. i. (2016, february 12). www.aliinadesign.com/digital-fabrication. Retrieved from aliinadesign: https://www.google.com/search?q=www.aliinadesign.com%2Fdigital-fabrication&sca_esv=63153777c7903089&sca_upv=1&udm=2&biw=1093&bih=513&ei=vaTaZvCmHqmU9u8PubeBmA0&ved=0ahUKEwiw-fHh262IAxUpiv0HHblbANMQ4dUDCBE&uact=5&oq=www.aliinadesign.com%2Fdigital-fabricati

28- Robeller, C. (2015, february 23). Integral Mechanical Attachment for Timber Folded Plate Structures. researchgate, 6564, 30.

Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License permiting unrestricted use in any medium, provided the work is pr cited.