

دور الرغوة المعدنية في تعزيز الابتكار والاستدامة في تصميم الأثاث

"The Role of Metallic Foam in Enhancing Innovation and Sustainability in Furniture Design"

أ.م.د/ داليا محمود إبراهيم خليل

أستاذ مساعد قسم تصميم الأثاث والإنشاءات المعدنية - كلية الفنون التطبيقية. جامعة حلوان

Assist.Prof. Dr. Dalia Mahmoud Ibrahim Khalil

Associate Professor – Department of Metal Furniture and Constructions Design –
Faculty of Applied arts – Helwan University.dr.daliamek@gmail.com**ملخص البحث:**

تُعد الرغوة المعدنية من المواد المتقدمة التي حظيت باهتمام متزايد في العقود الأخيرة، نظرًا لما تتمتع به من خصائص فيزيائية ووظيفية استثنائية. فهي تمثل امتدادًا مبتكرًا لنظام الخلية الخلوية المعروفة باسم "خلية النحل"، والذي يُعرف بقدرته الفائقة على توفير التوازن بين المتانة وخفة الوزن. تتكون الرغوة المعدنية من شبكة معقدة من الفراغات والفراغات المغلقة أو المفتوحة، مما يمنحها القدرة على امتصاص الصدمات، تقليل الاهتزازات، وعزل الصوت والحرارة بشكل فعال. علاوة على ذلك، فهي تحتفظ بخصائص السبائك المعدنية مثل القوة العالية، مقاومة التآكل، وإمكانية إعادة التدوير، مما يجعلها مادة صديقة للبيئة ومناسبة لمتطلبات التصميم المستدام. لقد أثبتت الرغوة المعدنية جدارتها في عدد من القطاعات الصناعية مثل الطيران والسيارات، حيث تُستخدم كحشوات داخل الهياكل لامتصاص الطاقة وتقليل الوزن دون التضحية بالصلابة. ومع ذلك، فإن الإمكانيات الإبداعية والجمالية لهذه المادة لم تُستثمر بعد بالشكل الأمثل، خاصة في مجالات التصميم الداخلي وتصميم الأثاث، ما يفتح الباب أمام أبحاث جديدة تستهدف توسيع نطاق استخدامها في المجالات التي تتطلب الدمج بين الأداء التقني والجمال البصري. فكانت مشكلة البحث هي كيف يمكن استغلال الخصائص المميزة للرغوة المعدنية في تصميم الأثاث؟ وكيف يمكن إبراز الجوانب الجمالية والبيئية للرغوة المعدنية في تصميم الأثاث؟ وتتلخص أهمية البحث حول استكشاف الإمكانيات الهائلة للرغوة المعدنية كخامة مبتكرة في صناعة الأثاث، حيث تفترض الباحثة أن الخواص الفيزيائية والجمالية لخصائص الرغوة المعدنية ستساعد في تحقيق مستويات أعلى من الابتكار من حيث التصميم، والوظيفة، والاستدامة. ويعتمد البحث على المنهج الوصفي والتحليلي لوصف خصائص المادة وكيفية استغلالها من الجانب الجمالي والبيئي لدعم الاستدامة، فيمكن للرغوة المعدنية أن توفر حلولاً تصميمية مبتكرة ومستدامة تلبي احتياجات المستخدمين وتحافظ على البيئة، كما إن تطبيقات الرغوة المعدنية في مجال الأثاث تحمل إمكانيات واسعة وتفتح آفاقاً جديدة للمصممين لتقديم منتجات تجمع بين الجمال الوظيفي والاستدامة البيئية.

كلمات مفتاحية:

الرغوة المعدنية - الأثاث المستدام - الأثاث المعدني.

Abstract:

Metal foam is considered one of the most advanced materials that has gained increasing attention in recent decades due to its exceptional physical and functional properties. It represents an innovative extension of cellular structures such as the honeycomb system, renowned for its

superior ability to balance strength and lightness. Metal foam consists of a complex network of either open or closed cells, which grants it remarkable capabilities in absorbing shocks, reducing vibrations, and providing effective thermal and acoustic insulation.

In addition to these features, it retains the key characteristics of metallic alloys, such as high strength, corrosion resistance, and recyclability. These attributes make it an environmentally friendly material well-suited for sustainable design requirements. Metal foam has proven its efficiency in several industrial sectors, including aerospace and automotive manufacturing, where it is used as a structural filler to absorb energy and reduce weight without compromising rigidity.

However, the aesthetic and creative potential of this material has not yet been fully explored, especially in fields such as interior and furniture design. This opens up new avenues for research aimed at expanding its applications in areas that require a balance between technical performance and visual appeal.

Accordingly, this research addresses the following questions: How can the unique properties of metal foam be employed in furniture design? And how can its aesthetic and environmental aspects be highlighted within that context?

The significance of this study lies in exploring the vast potential of metal foam as an innovative material in furniture production. The researcher hypothesizes that the physical and aesthetic properties of metal foam will contribute to achieving higher levels of innovation in terms of design, function, and sustainability.

This study adopts a descriptive and analytical methodology to examine the characteristics of the material and how it can be utilized from both aesthetic and environmental perspectives to support sustainable design. Metal foam can offer innovative and eco-friendly design solutions that meet user needs while preserving the environment. Its applications in furniture design hold broad potential and open new horizons for designers to create products that merge functional beauty with environmental responsibility.

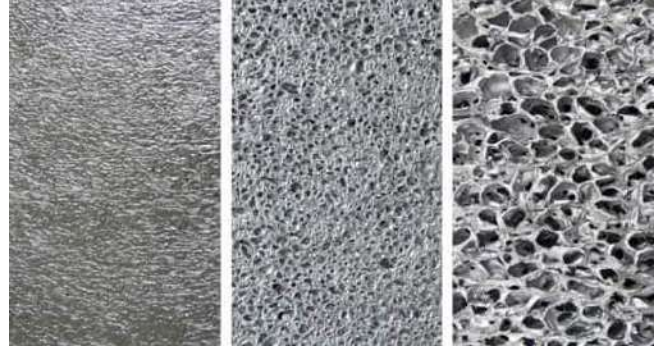
Keywords:

Metal Fabric – Sustainability – Sustainable Furniture

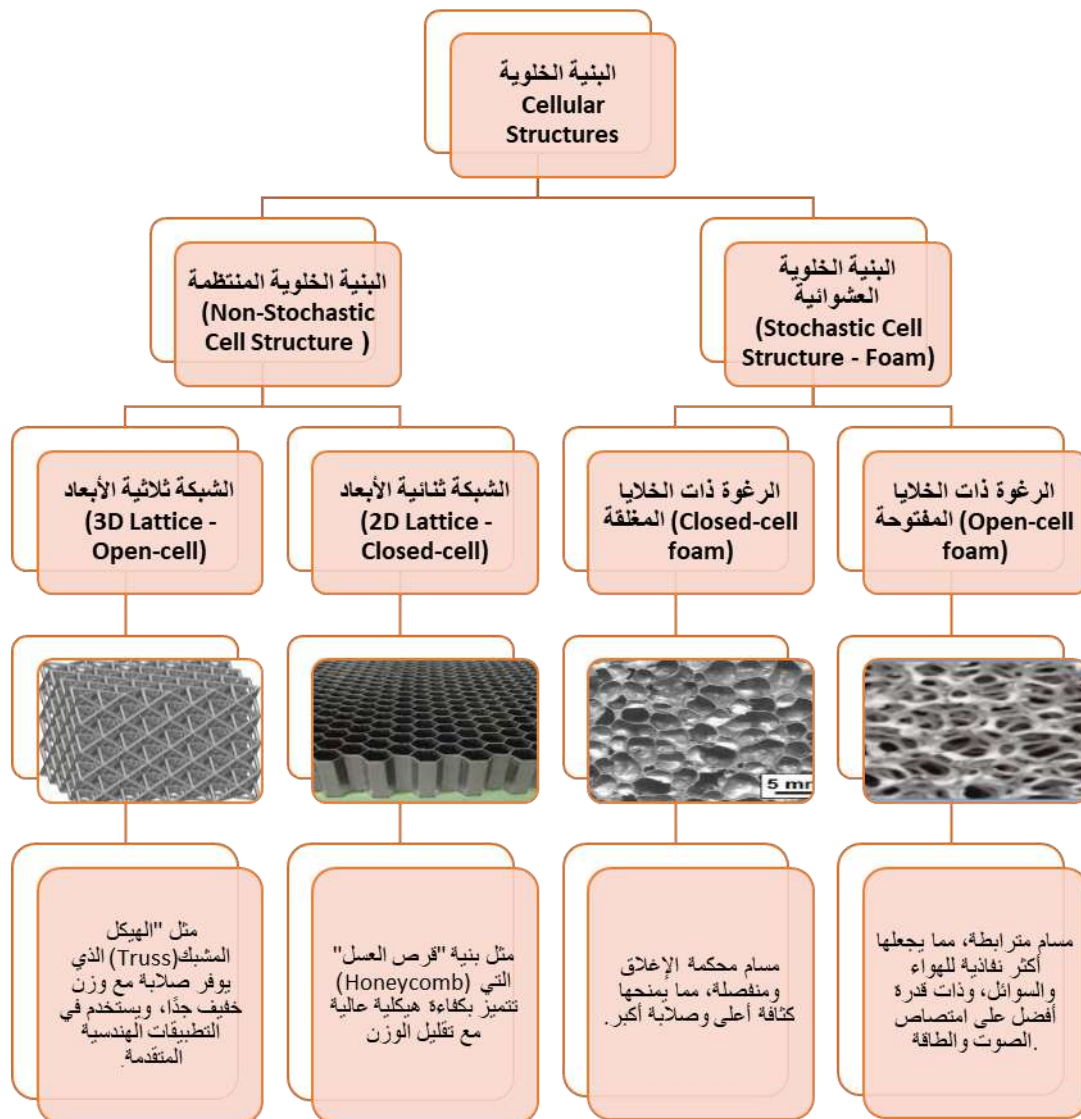
مفهوم الرغوة المعدنية

الرغوة المعدنية هي مادة خلوية تتكون من معدن صلب يحتوي على نسبة عالية من الفراغات المملوءة بالغاز، مما يمنحها بنية مسامية مميزة. (1) يتم إنتاجها باستخدام تقنيات متقدمة مثل حقن الغازات المنصهرة أو التليد المسامي، مما يسمح بتحقيق كثافة منخفضة مع الحفاظ على متانة ميكانيكية عالية (5). يمكن تصنيف الرغوة المعدنية إلى نوعين رئيسيين: الرغوة ذات الخلايا المفتوحة، حيث تكون المسام مترابطة وتشكل شبكة متصلة تُعرف أيضًا بالمعدن المسامي أو الإسفنج المعدني، والرغوة ذات الخلايا المغلقة، حيث تكون المسام منفصلة ومحكمة الإغلاق (4) سيتم شرحا بشكل ادق بعد ذلك. تتميز الرغوة المعدنية بخفة الوزن، حيث يمكن أن تشكل الفراغات ما بين 75% إلى 95% من حجمها، مما يؤدي إلى كثافة منخفضة مقارنة بالمعادن الصلبة. (1) ورغم ذلك، تتمتع بنسبة قوة إلى وزن مرتفعة وصلابة جيدة بفضل بنيتها الخلوية (3). كما تمتلك قدرة ممتازة على امتصاص الطاقة، حيث تخضع لتشوهات كبيرة تحت إجهاد ثابت تقريبًا، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات امتصاص الصدمات وتخمين الاهتزازات (2). بالإضافة إلى ذلك، تتميز الرغوة المعدنية، خاصة ذات الخلايا المفتوحة، بقدرتها على امتصاص الصوت، مما يجعلها مفيدة في تقليل الضوضاء في البيئات المختلفة.5.

إلى جانب هذه الخصائص، تتمتع الرغوة المعدنية بموصلية حرارية منخفضة مقارنة بالمعادن الصلبة، مما يجعلها عازلاً حرارياً فعالاً (3) في المقابل، يمكن للرغوة ذات الخلايا المفتوحة تحسين فقد الحرارة بفضل بنيتها المسامية (3). كما تتميز الرغوة المعدنية بمقاومة عالية للتآكل (9) ومقاومة جيدة للحريق (1)، بالإضافة إلى قدرتها على امتصاص الموجات الكهرومغناطيسية (6).



شكل (1) البنية المسامية للرغوة المعدنية



شكل (2) نظمة البنية الخلوية المختلفة

تصنيفات الرغوة المعدنية

تصنيف حسب البنية المسامية

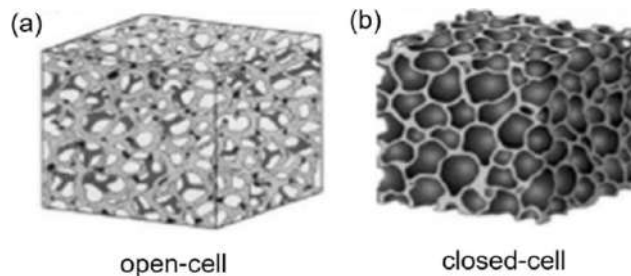
الرغوة المعدنية تعتمد بشكل جوهري على البنية المسامية التي تُشكّل بنية المادة والخصائص الفيزيائية المترتبة عليها. ففي هذه المواد، يُستخدم معدن صلب لتشكيل شبكة من الخلايا أو الفراغات التي تُوزَّع بشكل منتظم أو عشوائي داخل المادة. يُمكن أن تكون هذه الخلايا مفتوحة أو مغلقة، ولكل منهما تأثيره الخاص على الأداء الوظيفي للمادة:

• الخلايا المفتوحة (Open-Cell Foam):

في هذا النوع، تكون جدران الخلايا متصلة ببعضها البعض، مما يُتيح تواصل الفراغات داخلياً. هذه البنية تسمح بمرور الهواء والسوائل داخل المادة، مما يؤدي إلى خصائص مثل امتصاص الطاقة بفعالية عالية وقدرة كبيرة على تخفيف الصدمات والاهتزازات. كما أنها تُساهم في تقليل الضوضاء نظراً لقدرتها على امتصاص الصوت. تُعد هذه البنية مثالية للتطبيقات التي تتطلب خفة الوزن ومرونة في الاستجابة للضغوط المتغيرة. (3)

• الخلايا المغلقة (Closed-Cell Foam):

في المقابل، تتميز الخلايا المغلقة بأن كل خلية تكون محاطة بجدار معدني مستقل، مما يحبس الغاز بداخلها. هذا التصميم يُحسّن من خصائص العزل الحراري للمادة، إذ يُقلّل من انتقال الحرارة عبرها، كما يزيد من صلابتها ومقاومتها للأحمال الميكانيكية العالية. وبالتالي، تُستخدم الرغوة المعدنية ذات الخلايا المغلقة في التطبيقات التي تتطلب دعماً هيكلياً قوياً وثباتاً ميكانيكياً مع الحفاظ على وزن منخفض نسبياً. (3)



شكل (3) رسم توضيحي للخلايا المفتوحة (a) والمغلقة (b)

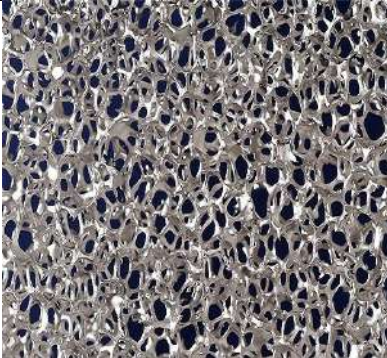
https://www.researchgate.net/figure/mages-of-a-open-cell-and-b-closed-cell-foam-Open-pores-have-solid-edges-and-open_fig1_346563630

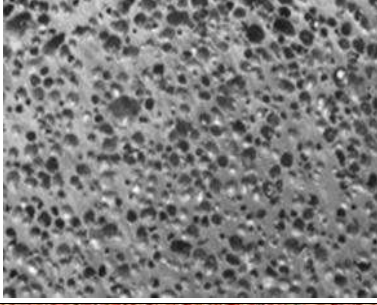
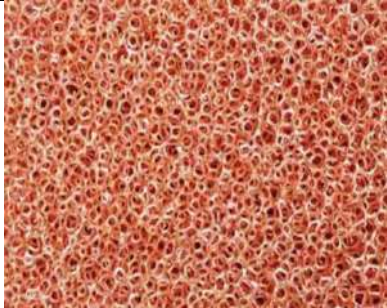
جدول (1) مقارنة بين خواص الخلايا المفتوحة والمغلقة		
الخاصية	الرغوة ذات الخلايا المفتوحة	الرغوة ذات الخلايا المغلقة
البنية الهيكلية	خلايا مترابطة تسمح بمرور الهواء والسوائل	خلايا منفصلة تمنع تدفق الهواء والسوائل 3
الكثافة	أقل كثافة بفضل الفراغات المتصلة (4)	قد تكون أعلى قليلاً نتيجة للجدران السميكة (1)
الصلابة والقوة	مناسبة لامتصاص الصدمات والاهتزازات، مع مرونة أكبر	صلابة وقوة ميكانيكية أعلى، ملائمة للتطبيقات الهيكلية (1)
العزل الحراري	أداء متوسط بسبب مرور الهواء	يوفر عزلاً حرارياً أفضل بفضل احتجاز الغاز داخل الخلايا (4)
امتصاص الصوت	قدرة ممتازة على امتصاص الصوت بفضل الترابط بين الخلايا (3)	قدرة أقل على امتصاص الصوت

التطبيقات	تخفيف الصدمات، تخميد الاهتزازات، تحسين الصوت	دعم هيكلي عالي، عزل حراري متفوق، مقاومة للأحمال (1)
-----------	---	--

بالتالي، تُظهر الدراسات أن التباين في البنية المسامية يؤدي مباشرةً إلى اختلافات في الأداء ، مما يجعل الرغوة المعدنية مادة متميزة وقابلة للتخصيص بحسب الحاجة في المجالات المختلفة .

تصنيف حسب نوع المعدن

جدول (2) أنواع الرغوة المعدنية وخصائصها واستخداماتها				
النوع	الخامة	الخصائص	الشكل	الاستخدامات
رغوة الألومنيوم	ألومنيوم	- خفيفة الوزن - مقاومة التآكل - توصيل حراري منخفض (8)		- أثاث خارجي (حداائق) - هياكل خفيفة الوزن (طاولات، كراسي) - عزل صوتي
رغوة الفولاذ	فولاذ	- متانة عالية - تحمل الصدمات - قابلة لإعادة التدوير		- أثاث صناعي (مستودعات) - هياكل تحمل أحمال ثقيلة - ديكورات معدنية
رغوة التيتانيوم	تيتانيوم	- مقاومة عالية للحرارة - خفيفة الوزن - تكلفة عالية		- أثاث فاخر - تصاميم أثاث طبي - تصاميم تكنولوجية
رغوة النيكل	نيكل	- توصيل كهربائي ممتاز - مقاومة التآكل - مساحة سطح كبيرة (8)		- أثاث ذكي (مدمج مع بطاريات) - أنظمة تدفئة/تبريد

أثاث مؤقت - تصاميم أثاث طبي (مقاومة للبيكتيريا)		- أخف من الألومنيوم - قابلة للتحلل الحيوي عند (بعض الأنواع)	مغنيسيوم	رغوة المغنيسيوم
أثاث مدمج مع أنظمة تبريد - تصاميم أثاث طبي (مقاومة للميكروبات)		- توصيل حراري/كهربائي فائق - مقاومة الميكروبات (8)	نحاس	رغوة النحاس

تصنيف حسب طريقة التصنيع

تتعدد طرق تصنيع الرغوة المعدنية، ويمكن تصنيفها بناءً على حالة المعدن أثناء عملية التشكيل ونوع التقنية المستخدمة. 3 تشمل الطرق الرئيسية:



شكل (4) اهم تقنيات تصنيع الرغوة المعدنية

ولكل تقنية من تقنيات تصنيع الرغوة المعدنية بآلية مختلفة تُكسب الخامة مواصفات مميزة وخصائص فريدة. كما تتيح هذه التقنيات تحكماً دقيقاً في حجم وشكل وتوزيع خلايا الرغوة، مما يُمكن من تحسين وتعديل الخواص الفيزيائية والميكانيكية للرغوة المعدنية لتلبية متطلبات الاستخدامات المتنوعة. جدول (3) يوضح آلية عمليات التصنيع والإضافة المميزة التي تصنفها للخامة .

جدول (3) طرق التصنيع وآلياتها وخصائصها		
طريقة التصنيع	آلية العملية	التعليق/المزايا والخصائص
طريقة حقن الغاز	حقن غاز أو عامل نفخ في المعدن المنصهر؛ أثناء تبريد المعدن وتصلبه يُحبس الغاز في فقاعات تُكوّن البنية المسامية.	تُنتج بنية مسامية تشبه الرغوة المعدنية؛ يُستخدم التحكم في ظروف التبريد لتحقيق كثافة منخفضة (1).

طريقة مسحوق المعادن	خلط مسحوق المعدن مع عامل نفخ؛ لتحلل العامل لإطلاق الغاز عند التسخين؛ يتم ضغط الخليط وتسخينه إلى درجة حرارة تليين المعدن دون أن ينصهر تمامًا.	يسمح بتكوين بنية مسامية نتيجة لتحرير الغاز مع الحفاظ على استقرار المادة؛ يُحقق توازنًا بين المتانة والكثافة (1).
طريقة الصهر المباشر	إدخال الغاز مباشرة في المعدن المنصهر عبر التحريك الميكانيكي أو حقن الغاز عبر فوهة؛ غالبًا تُضاف مواد مثبتة للمساعدة في الحفاظ على بنية الرغوة أثناء التصلب.	تُستخدم لضمان توزيع الغاز بشكل متساوٍ داخل المعدن؛ تُنتج رغوة بمسامية متحكم بها (1).
طريقة عامل المسامية المؤقت	يتم خلط عامل مسامية مؤقت (مثل الملح أو الرمل) مع مسحوق المعدن. بعد الضغط، تتم إزالة عامل المسامية المؤقت (غالبًا عن طريق الذوبان أو التسخين)، تاركة وراءها بنية معدنية مسامية.	تتيح التحكم في حجم وشكل الفراغات داخل المادة؛ تُستخدم هذه الطريقة لتوليد رغوة معدنية ذات مسامية محددة (3).
الترسيب الكهربائي	إنتاج الرغوة المعدنية عبر ترسيب المعدن على ركيزة باستخدام عملية كهروكيميائية؛ يُمكن التحكم في معلمات الترسيب لإنشاء هياكل مسامية دقيقة.	تُنتج بنية مسامية بأحجام وشكل محددين؛ تعتبر تقنية دقيقة لتطبيقات تحتاج إلى تحكم عالي في التركيب المجهرى (7).
طريقة النسخ المتماثل	تشريب قالب مسامي (مثل رغوة البولي يوريثان) بمنصهر المعدن أو السيليكا؛ بعد تصلب المعدن يتم إزالة القالب (عن طريق الحرق أو التحلل الكيميائي) تاركًا وراءه نسخة بنوية للقالب.	تنتج رغوة معدنية بنسخ بنية القالب؛ تُمكن من الحصول على هياكل مسامية معقدة تحاكي القوالب المستخدمة (7).

الاعتبارات التصميمية للرغوة المعدنية

الجوانب الوظيفية

تتميز الرغوة المعدنية بمجموعة فريدة من الخصائص الفيزيائية والميكانيكية التي تجعلها مادة واعدة لتصميم الأثاث. وزنها الخفيف، الناتج عن هيكلها المسامي، يقلل من استهلاك المواد ويسهل التعامل. قوتها العالية وصلابتها، على الرغم من وزنها المنخفض، تضمن متانة واستقرار الهياكل المصنوعة منها. قدرتها الممتازة على امتصاص الطاقة تجعلها مناسبة للتصميمات التي تتطلب مقاومة للصدمات أو تخميد الاهتزازات، بينما يمكن استخدام خصائصها في امتصاص الصوت والتوصيل الحراري المنخفض للرغوة المعدنية يمكن أن يعزز من إنتاج تصميمات أكثر راحة.



شكل (5) الجوانب الوظيفية المميزة للرغوة المعدنية

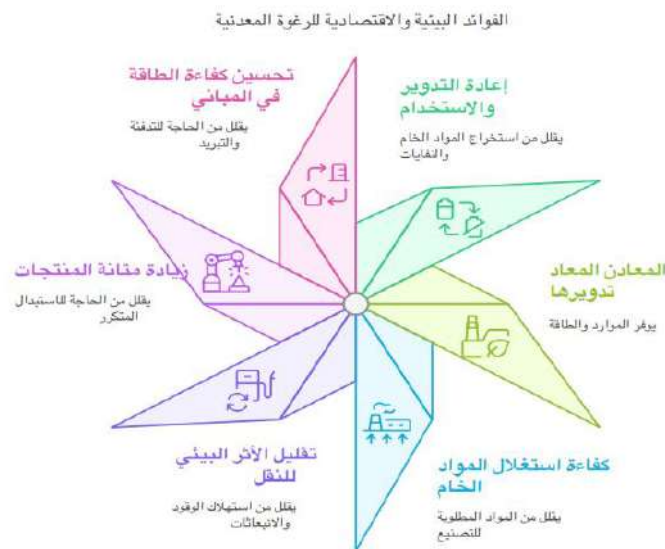
يقدم نسيج الرغوة المعدنية **المسامي مظهراً فريداً** يمكن استكشافه في تصميم الأثاث. يمكن أن تتراوح من ناعمة ودقيقة إلى خشنة ومميزة، مما يوفر للمصممين مجموعة من الاحتمالات المرئية واللمسية. يمكن تشكيل الرغوة المعدنية في أشكال مختلفة ويمكن معالجتها بأسطح مختلفة، مما يزيد من جاذبيتها الجمالية. يمكن أن يكون استخدامها في الأثاث مستوحى من تطبيقاتها الناجحة في الهندسة المعمارية والتصميم الداخلي، حيث يتم استخدامها لإنشاء عناصر لافتة للنظر مثل الألواح الزخرفية والواجهات وتركيبات الإضاءة.



شكل (6) اشكال مسامية بتصاميم جمالية مختلفة

الاستدامة البيئية والاقتصادية للرغوة المعدنية:

تمتلك الرغوة المعدنية إمكانيات كبيرة لتعزيز الاستدامة في العمارة والتصميم الداخلي وتصميم الأثاث من خلال عدة جوانب من أهمها:



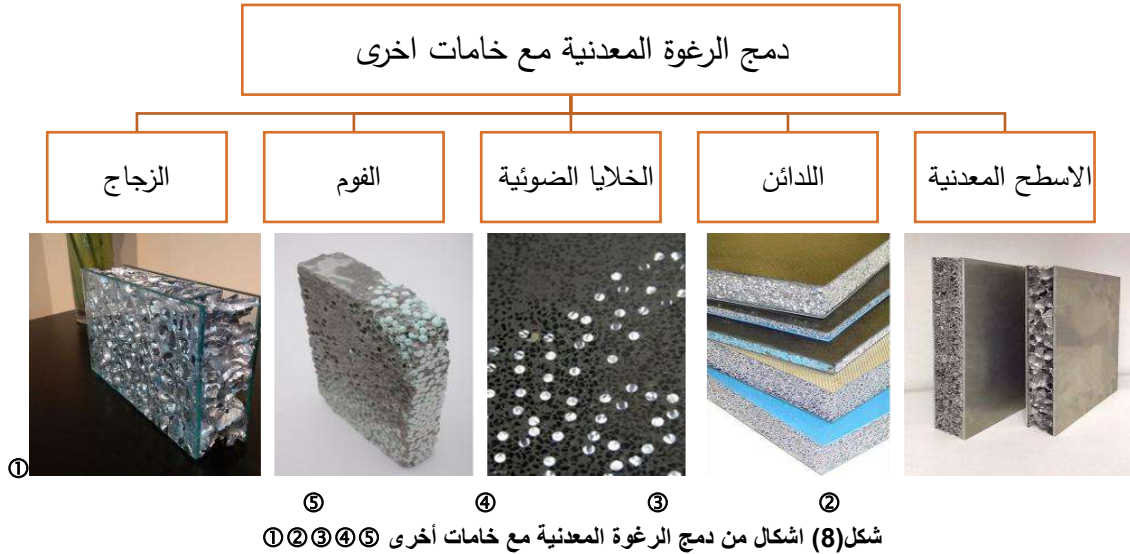
شكل (7) الفوائد البيئية والاقتصادية للرغوة المعدنية

وبناء على ذلك تضم الرغوة المعدنية العديد من المزايا عند استخدامها في صناعة الأثاث؛ إذ يُمكنها توفير القوة والصلابة مع وزن أقل، مما يقلل من استهلاك المواد ويحافظ على الموارد. كما أن قابليتها لإعادة التدوير، لا سيما عند تصنيعها من معادن قابلة لإعادة التدوير مثل الألومنيوم، تدعم الاقتصاد الدائري. ويسهم الوزن الخفيف للأثاث المصنوع من الرغوة

المعدنية في خفض استهلاك الطاقة خلال عمليات النقل. بالإضافة إلى ذلك، فإن تطوير طرق إنتاج مستدامة، (11) مثل استخدام النفايات المعدنية كمادة خام، يعزز من جاذبيتها كخيار صديق للبيئة. ويمكن للتحليل المقارن لدورة حياة الرغوة المعدنية مع المواد التقليدية للأثاث أن يبرز المزيد من فوائدها البيئية.

المرونة الوظيفية للرغوة المعدنية عبر التكامل مع خامات متعددة

تتميز الرغوة المعدنية بمرونتها العالية عند التفاعل مع مختلف الخامات، هذه المرونة في التوافق مع الخامات المختلفة تتيح إمكانيات واسعة في التصميم الداخلي والإنشائي، مما يعزز الابتكار والإبداع في المشاريع المعمارية. (12)



يمكن تحقيق مرونة وظيفية كبيرة للرغوة المعدنية من خلال دمجها مع خامات أخرى بطرق مختلفة، مما يؤدي إلى مواد مركبة ذات خصائص محسنة ومخصصة لتطبيقات معينة طبقاً للاحتياجات. (1) تشمل طرق الدمج:

- استخدام الرغوة المعدنية كمادة أساسية في الألواح المركبة: مثل نموذج ① يمكن استخدام الرغوة المعدنية كقلب في الألواح المركبة، حيث يتم تغطيتها بطبقات من مواد أخرى مثل الصفائح المعدنية أو المواد المركبة أو قشور الخشب. يمكن أن يوفر هذا الهيكل قوة وصلابة عالية مع الحفاظ على الوزن المنخفض وتوفير خصائص إضافية مثل امتصاص الصوت والاهتزاز والعزل الحراري. (2)

- تشريب الرغوة المعدنية بمواد أخرى: مثل نموذج ③④ يمكن تشريب الرغوة المعدنية بمواد أخرى مثل البوليمرات أو السيراميك أو حتى معادن أخرى منصهرة. يمكن أن يؤدي ذلك إلى تحسين خصائص معينة مثل مقاومة التآكل أو الصلابة أو الموصلية الكهربائية أو الحرارية. (2) على سبيل المثال، يمكن تشريب رغوة النيكل بالألومنيوم المنصهر لإنتاج مادة NFRA ذات قوة محسنة. (8)

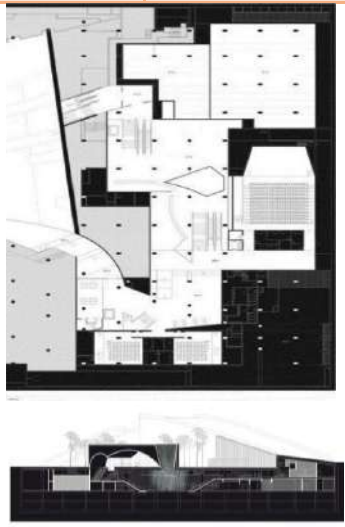
- تغطية الرغوة المعدنية بطبقات رقيقة من مواد أخرى: مثل نموذج ②⑤ يمكن تغطية الرغوة المعدنية بطبقات رقيقة من معادن أو بوليمرات مختلفة لتحسين خصائصها السطحية، مثل مقاومة التآكل أو المظهر الجمالي أو حتى الموصلية الكهربائية. (2)

- استخدام الرغوة المعدنية كعنصر تقوية في مواد أخرى: مثل نموذج ② يمكن استخدام الرغوة المعدنية كعنصر تقوية داخل مواد أخرى مثل الخرسانة أو البوليمرات لزيادة قوتها أو قدرتها على امتصاص الطاقة.

تُعد الرغوة المعدنية مادة ابتكارية ذات تطبيقات واعدة في مجالات العمارة والتصميم الداخلي، وذلك لما تتمتع به من خصائص فريدة تجمع بين الوزن الخفيف والمظهر العصري المتميز. وتبرز هذه الخامة كخيار أمثل لإنشاء هياكل داخلية وخارجية تتكامل فيها الاعتبارات الجمالية مع الأداء الوظيفي الأمثل. فعلى صعيد الأداء، تُستخدم الرغوة المعدنية كمادة عازلة للصوت والحرارة بكفاءة عالية، مما يُسهم في تعزيز الكفاءة الطاقية للمباني وتحقيق بيئات داخلية مريحة ومُستدامة. وعلى المستوى الجمالي، تندمج الرغوة المعدنية في تصميم الواجهات والجدران الداخلية لتضفي عليها طابعًا صناعيًا حديثًا وجذابًا، وتتيح قدرة الرغوة المعدنية على امتصاص وتبديد الطاقة توفير مستوى إضافي من الحماية ضد المؤثرات البيئية المختلفة، مما يجعلها خيارًا استراتيجيًا للتطبيقات التي تستلزم تحقيق توازن دقيق بين متانة المواد المستخدمة والحدائق في التصميم. وفيما يلي مجموعة تحليل لمجموعة من التصميمات التي اعتمدت على الرغوة المعدنية كخامة أساسية في التصميم.



شكل (9) توظيف الرغوة المعدنية داخليا وخارجيا

جدول رقم (4) نموذج لتطبيق الرغوة المعدنية في التصميم الداخلي			
المشروع	الموقع	تصميم وتنفيذ	السنة
Caixaforum-Sevilla Cultural Center	إشبيلية - إسبانيا	Architects: Vázquez Consuegra	7(1)20
			
الاعتبارات التصميمية			
التخطيط المكاني: يضم المشروع قاعتين للمعارض، مدرجًا يتسع لـ 275 شخصًا، قاعات متعددة الاستخدامات، ورش عمل، مقهى،		الوظيفية	
		arquitecturaviva.com	



ومكتبة. تم تصميم هذه المساحات لتوفير بيئة ثقافية متكاملة تخدم مختلف الفعاليات والأنشطة. يقع المبنى في منطقة حضرية معقدة، حيث تم تصميمه ليتفاعل بسلاسة مع البيئة المحيطة، مما يعزز من تواصله مع النسيج العمراني للمدينة.

الواجهات المعدنية: تُستخدم الرغوة المعدنية في الواجهات لتوفير تأثير بصري ديناميكي، حيث تعكس الضوء وتخلق تدرجات ظل متغيرة، مما يضيف حيوية على المبنى.

الفراغات الخارجية: تُشكل الفواصل المعدنية الخارجية مساحات ظل مريحة للمشاة، وتساهم في تحسين جودة الفضاء العام المحيط بالمبنى.

المواد المستدامة: استخدام الرغوة المعدنية يُقلل من الوزن الإنشائي للمبنى، مما يساهم في تقليل استهلاك المواد والطاقة أثناء البناء كما تساهم الواجهات المعدنية في تحسين العزل الحراري، مما يقلل من استهلاك الطاقة للتبريد والتدفئة.

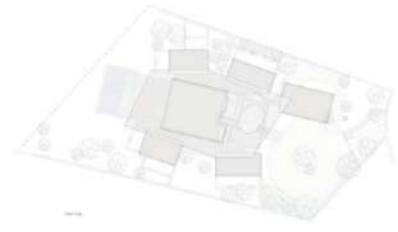
الجمالية

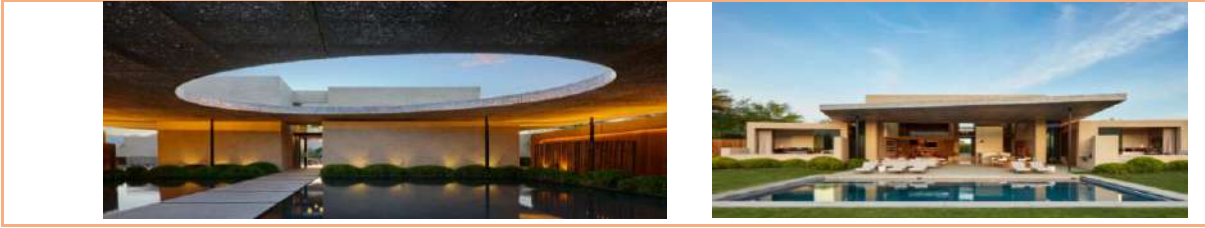
الاستدامة

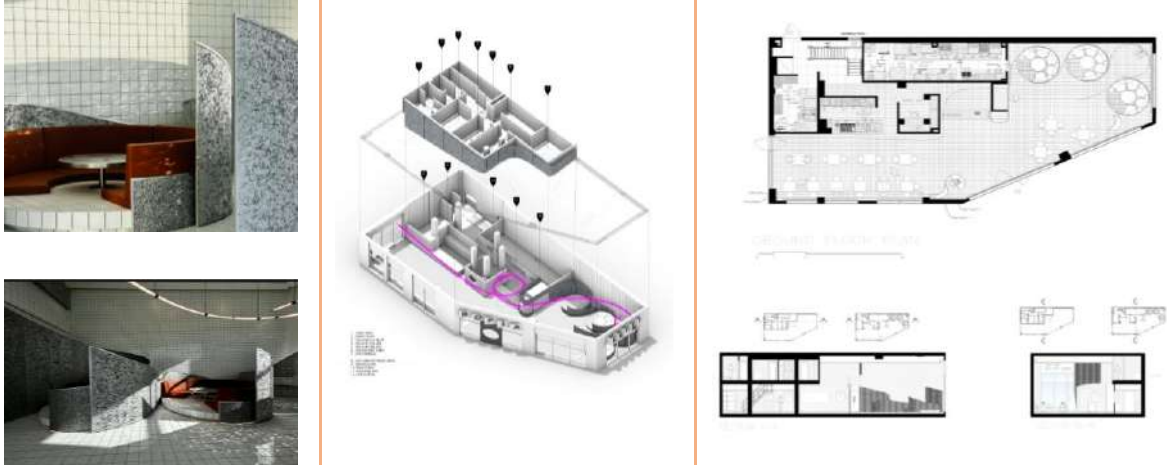


جدول رقم (5) نموذج لتطبيق الرغوة المعدنية في التصميم الداخلي

المشروع	الموقع	تصميم وتنفيذ	السنة
Madison Desert Club	كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية	Architects: Kovac Design Studio	2020
			

	
 	الاعتبارات التصميمية التخطيط المكاني: يتكون المشروع من مساحة مركزية ذات ارتفاع مزدوج محاطة بأربع قاعات ضيافة منفصلة، متصلة بممرات خارجية مغطاة. يشمل المنزل صالة رئيسية، مطبخ، منطقة طعام، بار، غرفة عرض، صالة رياضية مفتوحة، سبا، وغرفة وسائل متعددة مع أسرة مدمجة. التصميم متعدد الاستخدامات: تتميز المساحة الرئيسية بجدار متحرك يعمل كشاشة عرض، مما يسمح بتحويلها إلى مسرح مغلق أو شرفة معلقة للعروض الحية. الوظيفية
ArchDaily+(1)	المظلة المصممة من الرغوة المعدنية تغطي المظلة المعدنية المثقبة الممرات الخارجية، مما يخلق أنماط ظل متغيرة. المواد والتشطيبات: يستخدم المشروع لوحة ألوان طبيعية تشمل الجص، الخشب، وحجر مما يدمج المبنى بسلاسة مع البيئة الصحراوية المحيطة. الجمالية KOVAC+(1)LOOP Design Awards+(1)
	التظليل الطبيعي: توفر المظلة المثقبة تظليلاً طبيعياً للممرات والمساحات الخارجية، مما يقلل من الحاجة إلى التبريد الصناعي. المواد المستدامة: تم اختيار المواد بعناية لتكون مستدامة وتتناسب مع المناخ الصحراوي، مما يقلل من التأثير البيئي للمبنى. الاستدامة

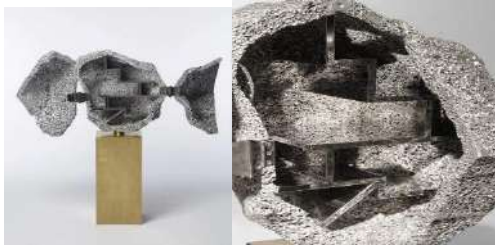


جدول رقم (6) نموذج لتطبيق الرغبة المعدنية في التصميم الداخلي			
المشروع	الموقع	تصميم وتنفيذ	السنة
مطعم "بوفيا"	مدينة الرياض	AZAZ Architects	2022
			
الاعتبارات التصميمية يُظهر المشروع توزيعاً دقيقاً للمساحات يفصل بين المناطق العامة والخاصة بطريقة تضمن سهولة الحركة وتوفير بيئة مريحة لتناول الطعام. كما ساهمت حلول الإضاءة الذكية والمواد الخفيفة في تحسين الأداء الوظيفي للمساحات. الوظيفية الجمع بين البلاط الأبيض النقي وعناصر الرغبة المعدنية ذات المعان الفضي يخلق تبايناً بصرياً جذاباً، حيث يبرز الطابع العصري مع الحفاظ على الهوية. الجمالية استخدام مواد قابلة لإعادة التدوير مثل الألمنيوم والاعتماد على تقنيات إضاءة موفرة للطاقة تساهم في تقليل استهلاك الطاقة وخفض البصمة الكربونية. الاستدامة			
Bofia Restaurant / AZAZ Architects ArchDaily 			
جدول رقم (7) نموذج لتطبيق الرغبة المعدنية في تصميم الأثاث			

المشروع	الموقع	تصميم وتنفيذ	السنة
Metallic Geology Cabinets	لندن، المملكة المتحدة	Studio Swine	4(1)20
الاعتبارات التصميمية			
الوظيفية	لاستخدام: سلسلة من الخزائن المصممة للاستخدام كأثاث منزلي أو عرض فني. البنية: تتميز الخزائن بهيكل خارجي من رغوة الألمنيوم، مع أدراج وخزائن داخلية مصنوعة من الخشب، مما يوفر تبايناً بين القوام الصناعي والخامات الطبيعية.		
	المظهر: تُشبه الأسطح الخارجية للخزائن التكوينات الجيولوجية المعدنية، حيث تعكس الضوء بطرق متعددة وتُضفي إحساساً بالعمق واللمس. التباين: يُبرز التباين بين الرغوة المعدنية والخشب الداخلي جماليات التصميم، حيث يُضفي الخشب دفئاً يُوازن البرودة الصناعية للرغوة.		
الاستدامة	المواد: استخدام رغوة الألمنيوم، وهي مادة قابلة لإعادة التدوير، يُعزز من استدامة التصميم. التصنيع: تم تصنيع الرغوة المعدنية باستخدام تقنيات تُقلل من الفاقد وتُحسن من كفاءة الإنتاج.		



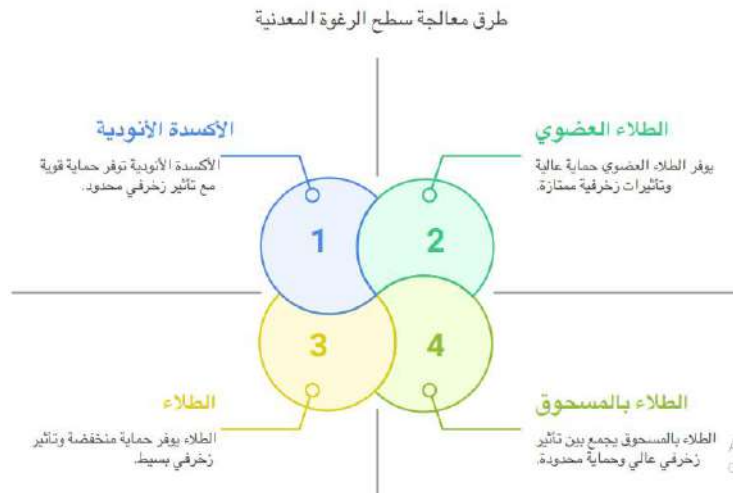
[https://www.dezeen.com/20\(1\)4/08/06/metallic-geology-cabinets-studio-swine-aluminium-foam](https://www.dezeen.com/20(1)4/08/06/metallic-geology-cabinets-studio-swine-aluminium-foam)



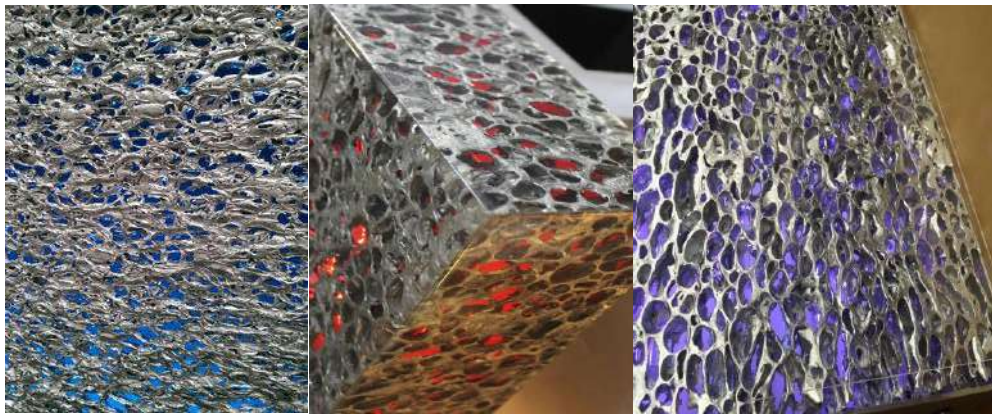
أمثلة لإضافات مبتكرة للرغوة المعدنية

يعكس التوسع في استخدام الرغوة المعدنية في مختلف القطاعات تنوعها وإمكاناتها الواسعة كمادة تصميمية، إذ تُتيح تقديم حلول متعددة بإضافات تصميمية مثل اللون والضوء. هذا التنوع يمكن مصممي الأثاث من الاستفادة من خصائصها الفريدة وتقنيات التصنيع المتطورة المستمدة من مجالات صناعية أخرى. إضافةً إلى ذلك، يعمل الدمج بين اللون والضوء على تعزيز الجمالية والابتكار الوظيفي، مما يشير إلى توجه متزايد لاستخدام الرغوة المعدنية كعنصر هيكلي وزخرفي متكامل في تصاميم الأثاث.

تُضفي الرغوة المعدنية الملونة عدة قيم مضافة تجعلها مادة مفضلة في التطبيقات المعمارية والتصميمية. الألوان المطبقة عبر تقنيات الأنودة أو الطلاء تُبرز تصميم الواجهات والفواصل وتضفي طابعاً عصرياً وفنياً. بفضل الخواص الميكانيكية الخفيفة الوزن والمقاومة للصدمات، يمكن تلوينها وتشكيلها بطرق متعددة لتتناسب مع مختلف الأنواع والأنماط التصميمية، مما يمنح المصممين حرية إبداعية في استحداث حلول تصميمية مبتكرة. (6) بالإضافة إلى ذلك، التقنيات المستخدمة مثل الأكسدة الأنودية وغيرها وفي ما يلي شكل يوضح الطرق الأشهر لمعالجة أسطح الرغوة المعدنية .



شكل (10) طرق المعالجات المختلفة للرغوة المعدنية (اعداد الباحث)



شكل(11) تلوين الرغوة المعدنية بأكاسيد لونية

[https://www.pinterest.com/pin/6\(1\)5022892900360053](https://www.pinterest.com/pin/6(1)5022892900360053)

تتميز معالجة سطح الرغوة المعدنية بعدة مزايا تجعل الطلاء فعالاً ودائماً. على سبيل المثال، توفر دهانات الرش، وخاصة الدهانات الزيتية، التصاقاً ممتازاً وتشطيباً ناعماً ومتيناً على المعدن. تجهيز سطح الرغوة قبل بدء عملية الطلاء خطوة أساسية لتحسين الالتصاق. تُعد دهانات الأكريليك، بما فيها الدهانات المعدنية، خياراً مناسباً لطلاء الرغوة، وغالباً ما يستلزم الأمر تطبيق طبقات متعددة لضمان تغطية متجانسة؛ ويمكن بعد ذلك إضافة طبقات شفافة لإغلاق الطلاء وحماية التشطيب، بالإضافة إلى ذلك، تُقدم تقنية الأكسدة الأنودية حلاً فعالاً لإضفاء اللون على رغوة الألومنيوم مع تعزيز متانتها ومقاومتها للتآكل. يمكن أن تُعالج رغوة الألومنيوم الشفافة بالأكسدة لتلوينها بظلال متنوعة مثل الأبيض الفضي والذهبي الشمباني والرمادي الداكن، مما يضفي عليها جمالية خاصة واستدامة طويلة الأمد. (17)

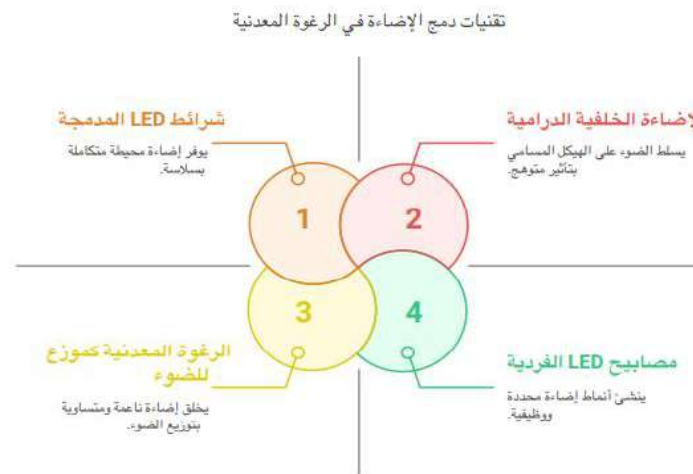


شكل (12) اشكال مختلفة لطلاءات رغوة المعدنية

[https://www.pinterest.com/pin/6\(1\)5022892900\(1\)94205](https://www.pinterest.com/pin/6(1)5022892900(1)94205)

دمج الإضاءة الاصطناعية مع الرغوة المعدنية:

إن دمج الإضاءة الصناعية مع أثاث الرغوة المعدنية لا يعزز جاذبيته البصرية فحسب، بل يمكن أن يضيف أيضًا وظائف، مثل توفير إضاءة محيطية أو إضاءة للقراءة أو خلق أجواء محددة. يمكن أن تسهل الخصائص خفيفة الوزن والهيكلية للرغوة المعدنية حلول إضاءة إبداعية. إن الجمع بين مادة مسامية، غالبًا ما تكون شفافة، مثل الرغوة المعدنية مع تنوع تكنولوجيا LED يسمح بتصميمات إضاءة فريدة وديناميكية في الأثاث. يمكن أن يرفع هذا من تجربة المستخدم والقيمة الجمالية للقطعة. (19)



شكل (13) تقنيات دمج الإضاءة في الرغوة المعدنية



شكل (14) طرق مختلفة من اضاءة الرغوة المعدنية

<https://inhabitat.com/new-material-alusion-aluminum-foam/aluminumfoam2>

ويعتبر دمج الإضاءة الملونة في تصاميم الرغوة المعدنية قيمة مضافة لا تقتصر على تزويد التصميم بمظهر جذاب، (20) بل يضيف تجربة بصرية ديناميكية تتفاعل مع خصائص المادة. باستخدام أضواء LED ملونة، تتحول الرغوة إلى عنصر تفاعلي يبرز النسيج الإسفنجي وتفاصيل الفقاعات والثقوب. تظهر الألوان بشكل مختلف حسب زوايا النظر والحركة، مما يضيف بُعدًا جماليًا متغيرًا. هذا التنوع في الإضاءة يعزز من وضوح التفاصيل، ويحسن قابلية الرؤية والتباين في البيئات ذات الإضاءة المنخفضة، ويتيح تعديل شدة الإضاءة وتوزيعها لتلائم احتياجات المكان، مما يضيف حالات مزاجية مختلفة أو يوجه التركيز إلى مناطق محددة في التصميم، شكل () أمثلة على ذلك.



[/https://www.pinterest.com/pin/6\(1\)5022892900278874](https://www.pinterest.com/pin/6(1)5022892900278874)

شكل (15) أمثلة لأضواء ملونة للرغوة المعدنية

اقتراح حلول تصميمية مبتكرة ومستدامة للأثاث باستخدام الرغوة المعدنية

بالنظر إلى ما سبق من استكشاف للإمكانات الفريدة التي تتيحها خامة الرغوة المعدنية، ينطلق هذا الجانب التطبيقي من البحث لاستجلاء الأبعاد العملية لهذه الخامة ودورها المحوري في دعم مفاهيم الابتكار والاستدامة. فمن خلال توظيف الذكاء الاصطناعي، تم تطوير مجموعة متنوعة من التصميمات التي تستثمر خصائص الرغوة المعدنية في تحقيق تكوينات جديدة تجمع بين الجوانب الوظيفية، الجمالية، والبيئية في آن واحد. ويهدف هذا الفصل إلى مناقشة وتحليل هذه التصميمات بشكل تطبيقي، والكشف عن مدى قدرتها على ترجمة المبادئ النظرية للابتكار والاستدامة إلى حلول عملية ملموسة.

جدول رقم (8) مقترح أول			
التصاميم المولدة طبقاً للخامة		الخامة	رغوة النيكل بخلفية إضاءة صفراء
- يلبي التصميم الحاجة حقيقية للفصل بين الفراغات دون الإضرار بالانسيابية أو الإضاءة. - كما يعتمد على الملمس والضوء والظل لإثارة الحواس وإعطاء تجربة بصرية غامرة وتظهر الرمزية البصرية في الانحناء المركزية قد تُفسر كرمز للطبيعة أو تدفق الطاقة، مما يربط التصميم بالبيئة. - وتظهر الاستدامة البيئية في استثمار الخامات المعدنية بذكاء مما يقلل الحاجة للإضاءة والطاقة الاصطناعية.		فصل معدني	
			الاعتبارات التصميمية
			الوظيفية
- يلبي التصميم حاجات وظيفية محددة بكفاءة دون تفاصيل زائدة، يركز على الغرض والاستخدام العملي. - يشير التفاعل البصري الجمالي من خلال التباين في الألوان والملمس والضوء، مما يفعل إدراك المستخدم للمكان. الشريط المثقب يوحي بالشفافية والانفتاح ويخلق انطباعاً بالاحترافية والتنظيم - يستخدم خامات ذات خصائص عازلة ومعاد تدويرها، ويقلل من استهلاك الإضاءة الاصطناعية.		كاونتر	يُعزز هذه التصاميم من الكفاءة الوظيفية التي تعتمد على التصاميم المعيارية ويسهم المسار المثقب في إضافة فاصل معياري بطريقة محسوبة، وباحتواء الرغوة المعدنية على خلفية إضاءة مما يدعم مستويات الإضاءة غير المباشرة ويسهم في التهوية الجزئية عند الحاجة. كما يعكس التكوين المعياري قابلية عالية للتصنيع المسبق والتركيب السهل، مما يجعله مناسباً للتطبيقات الداخلية المتكررة في المباني الإدارية أو التجارية.
			الجمالية
			يعتمد التصميم على توليفة بصرية دقيقة تمزج بين خامة الرغوة المعدنية اللامعة ذات النسيج الخبيبي من النيكل وبين شريط مثقوب بلون داكن يقطع التكوين بخط متعرج. أو مستقيم ويظهر هذا التباين الحاد تناغماً بصرياً يعزز من ديناميكية الفراغ، ويبرز الملمس الغني والتفاوت في الانعكاسات الضوئية البعد الجمالي ويحول التصميم من عنصر تقني إلى مكون بصري مميز ضمن الفراغ.
- إمكانية تعديل الأرفف واستغلال الحائط بشكل عملي ووظيفي. - التفاعل البصري مع الضوء والملمس، والتوازن بين الصلابة والدفع. الخط المثقب العمودي يعكس النظام، بينما الضوء الذهبي يرمز للتميز أو الفخامة - استخدام خامات موفرة للطاقة، وتقليل الحاجة لمصادر إضاءة خارجية.		وحدة أرفف	الاستدامة
			تندرج التصاميم ضمن مقاربات العمارة المستدامة، حيث يوظف خامات المعدنية قابلة لإعادة التدوير، مثل الرغوة المعدنية الذي يعزز من كفاءة الطاقة ضمن المبنى ويقلل من الاعتماد على التبريد أو الإضاءة الاصطناعية الزائدة. كما يُظهر التصميم وعياً بيئياً في طريقة تفاعله مع الإضاءة الطبيعية والصناعية، ما يحقق أداءً بيئياً محسناً دون الإضرار بالقيم الجمالية أو الوظيفية.
			الاستدامة
- وحدة صغيرة الحجم، ثابتة، توفر إضاءة موجهة تناسب الاستخدام القريب. - توظيف الضوء والملمس لخلق أجواء بصرية هادئة ومحفزة للحواس. وكعنصر رمزي التكوين الزخرفي للأشكال الثلاثية يرمز إلى التوازن والتناغم. - استخدام خامات قابلة للتدوير وتقنيات إضاءة موفرة للطاقة.		وحدة إضاءة	الاستدامة
			الاستدامة
			الاستدامة

جدول رقم (9) مقترح ثاني			
التصاميم المولدة طبقاً للخامة		الخامة	رغوة الألومنيوم
- تصميم يحقق الفصل المكاني دون الإغلاق الكامل أو الجدران الثابتة. - تكرار النمط المعيني يحقق توازناً بصرياً ويثير الانتباه بشكل منظم النمط المتكرر يعكس قيم التوازن والربط والاتصال. - استخدام خامات قابلة لإعادة التدوير وموفرة للطاقة والتهوية.		فاصل معدني	
- يلبي حاجات الاستخدام اليومي، سهل الوصول، متين. - يعتمد على التكوين البسيط والنمط المتكرر والانضباط الشكلي. يوحي بالنظام والديناميكية عبر التكرار والاتجاه القطري - يوظف خامات صديقة للبيئة ويساهم في ترشيد الطاقة.		كاونتر	الاعتبارات التصميمية الوظيفية تميز هذه التصاميم بتعزيز الكفاءة الوظيفية من خلال تبني مبادئ التصميم المعياري. كما تتيح هذه التصاميم تهوية جزئية عند الحاجة. ويعكس هذا التكوين المعياري إمكانية عالية للتصنيع المسبق وسهولة التركيب، مما يجعلها خياراً ملائماً للتطبيقات الداخلية المتكررة في كل من المباني الإدارية والتجارية.
- وحدات قابلة للتكرار والتوسعة بسهولة وفق حاجة لمستخدم. - توظيف الخامة المخرمة واللون المعدني مع الخطوط البسيطة يخلق طابعاً معاصراً. والتكرار المائل يرمز للاتجاه والحركة والتنظيم. - استخدام خامات قابلة لإعادة التدوير وتوفير في الموارد الإنسانية.		وحدة ارفف	الجمالية فقد تم توظيف خامة الرغوة المعدنية من الألومنيوم ليس فقط كعنصر مادي، بل كمكون بصري غني يعكس الضوء ويبرز العمق والملمس. النمط المائل أو المتناوب الذي تم تكراره في جميع التصاميم يعكس إحساساً بالحركة والانسيابية، ويضفي طابعاً بصرياً مترياً يربط بين جميع العناصر ويوحد الهوية التصميمية للمجموعة. ودمج الخلايا المغلقة والمفتوحة تعطي تباين واضح مع الإضاءة المتكاملة في بعض العناصر، مما يعزز من التفاعل الحسي مع المستخدم، ويمنح المكان لمسة صناعية راقية تناسب البيئات الحديثة.
- وحدة أضواء طولية خفيفة الوزن، ثابتة، توفر إضاءة موجهة تناسب الاستخدام المركز. - توظيف الضوء والملمس لخلق أجواء بصرية هادئة ومحفزة للحواس. ومكنصر رمزي التكوين الزخرفي للأشكال الثلاثية يرمز إلى التوازن والتناغم. - استخدام خامات قابلة للتدوير وتقنيات إضاءة موفرة للطاقة.		وحدة أضواء	الاستدامة تتميز هذه التصميمات بتبني أفكار مبتكرة توازن بفاعلية بين المتطلبات الوظيفية والجاذبية الجمالية، مع إعلاء قيمة الاستدامة من خلال الاستثمار الأمثل لخصائص خامة الرغوة المعدنية. فتوظف خفة وزنها في تقديم حلول تصميمية مرنة وسهلة التنفيذ، بينما تعزز قابليتها لإعادة التدوير من البعد البيئي للتصاميم، مما يقلل من النفايات ويدعم دورة حياة مستدامة للمنتج.

جدول رقم (10) مقترح ثالث			
التصاميم المولدة طبقاً للخامة (اختيار وحدات إضاءة بأنماط مختلفة)		الخامة	رغوة الألومنيوم
- يحقّق إضاءة فعّالة ومريحة دون تعقيد في التركيب أو الشكل. - يتمجّج الخامة المعدنية الصريحة مع نمط بصري هندسي متوازن. يوظف الحركة والإيقاع والنور لإيصال شعور ديناميكي داخلي. - يُعتمد في هذه التصاميم على مواد مُعاد تدويرها، مما يُسهم في خفض معدلات استهلاك الموارد الطبيعية وخفيفة الوزن مما يقلل الضغط على خامات التعليق.		وحدة إضاءة معلقة	
- يوفر هذا التصميم إضاءة وظيفية مريحة بتركيبية بصرية بسيطة. - يزاوج بين المعدن ذي المظهر الواضح ونمط هندسي متناسق على غطاء المصباح، مستفيداً من تأثير الضوء لإضاءة حس ديناميكي على المساحة. - يعكس استخدام مواد مُعاد تدويرها توجهها نحو الاستدامة، كما أن خفة وزن الوحدة يقلل من الحاجة إلى هياكل دعم قوية.		وحدة إضاءة أرضية	الاعتبارات التصميمية الوظيفية عكس تصميم وحدات الإضاءة بناءً على استخدام خامة معدنية خفيفة مع دمج إضاءة موضعية مثالية للمساحات المختلفة في المنزل بشكل انسيابي دون أن تُسبب إبهازاً بصرياً، بفضل الخامة التي تعمل كناشر ضوئي طبيعي. والشكل الطولي في التصاميم يعزز من الشعور بالارتفاع ويوفر تركيزاً بصرياً رأسياً مناسباً للفراغات الضيقة أو عالية السقف.
- قدم هذا التصميم حلاً إضاءةياً جدارياً عملياً ومريحاً دون تعقيدات إنشائية أو شكلية. - يتمجّج الخامة المعدنية بأسلوبها المباشر مع نمط بصري هندسي مُحقق للتوازن البصري على واجهة الوحدة. ويوظف التفاعل بين الضوء والظل الناتج عن النمط لإضفاء إحساس بالحركة الداخلية والإيقاع البصري على الجدار. - تصنّع هذا التصميم يعكس التوجه نحو الاستدامة البينية، بالإضافة إلى أن الوزن الخفيف للوحدة يُقلل من متطلبات التثبيت الهيكلية.		وحدة إضاءة حائطية	الجمالية يعتمد التصميم على توليفة بصرية دقيقة تمزج بين خامة الرغوة المعدنية اللامعة ذات النسيج الخبيبي ويعتمد التصميم على تباين بين المناطق المعتمّة والمضيئة الناتجة عن النمط القطري، ما يمنحه حركة بصرية مستمرة وتكراراً إيقاعياً يعزز من جاذبيته. وتسهم هذه الخطوط المائلة في كسر صلابة الشكل المستطيل، وتمنح التصميم طابعاً ديناميكياً يوحي بالحركة والاتجاه.
- يقدم هذا التصميم وحدة إضاءة خارجية تجمع بين الأداء الوظيفي والجاذبية البصرية البسيطة دون تكلف في الشكل أو التركيب. - يمزج التصميم بين المظهر الصناعي للخامة المعدنية ونمط هندسي متناسق يلتف حول الوحدة. ويستفيد من تأثير الإضاءة المنبعثة عبر النمط لإضفاء ديناميكية بصرية وإيقاع على المحيط الخارجي. - ويُعد التصميم تجسيداً لمبادئ الاستدامة، كما أن الوزن المناسب يسهل عملية التثبيت والاستقرار في البيئات الخارجية المختلفة.		وحدة إضاءة حدائق	الاستدامة يُسهم اختيار الرغوة الألومنيوم المعدنية في تعزيز الجانب البيني للتصميم، حيث إنها خامة خفيفة، متينة، وقابلة لإعادة التدوير، لا تكتفي هذه الخامة بتقليل استخدام المواد، بل تتيح أيضاً تحقيق كفاءة ضوئية عالية دون الحاجة إلى فلاتر إضافية. كما أن التكوين المفتوح للسطح يساعد في تقليل الحرارة، ويطيل عمر مصدر الإضاءة، ما ينسجم مع مبادئ التصميم المستدام

النتائج والتوصيات

نتائج البحث

1. تمتلك الرغوة المعدنية وزناً خفيفاً، وقوة عالية، وامتصاصاً ممتازاً للطاقة، مما يجعلها مثالية لإنتاج أثاث متين وخفيف وأقل استهلاكاً للمواد.

2. تتيح بنية الرغوة المعدنية المسامية تشكيل تصاميم معمارية معقدة، وإمكانية دمج الإضاءة والتهوية، مما يفتح آفاقاً جديدة في تصميم الأثاث.

3. تساهم الرغوة المعدنية في تقليل البصمة البيئية بفضل قابليتها لإعادة التدوير، وإمكانية تصنيعها من مواد معاد تدويرها، وخفة وزنها التي تقلل استهلاك الطاقة أثناء النقل.

4. نجاح استخدام الرغوة المعدنية في الصناعات المتطورة والمجال المعماري يعزز فرص توظيفها في تصنيع أثاث أكثر كفاءة، وأطول عمراً، وأخف وزناً.

توصيات البحث:

5. تعزيز البحث والتطوير: الاستثمار في تحسين تقنيات تصنيع ومعالجة الرغوة المعدنية لجعلها أكثر كفاءة واقتصادية.

6. تشجيع المصممين والشركات على تبني الرغوة المعدنية في تصميم الأثاث نظراً لتمييز الخامة.

7. توعية المستهلكين والمصنعين بفوائد الرغوة المعدنية من حيث المتانة وخفة الوزن والاستدامة.

8. تطوير طرق إنتاج أقل تكلفة لتعزيز المنافسة مع المواد التقليدية في صناعة الأثاث.

المراجع:

1. AZoM. "Metal Foams – Properties, Production and Applications." تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8097>.
2. ACS Omega. "A Review of Different Manufacturing Methods of Metallic Foams." تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. [https://pubs.acs.org/doi/\(1\)0.\(1\)02\(1\)/acsomega.3c086\(1\)3](https://pubs.acs.org/doi/(1)0.(1)02(1)/acsomega.3c086(1)3).
3. PMC. "Microstructure and Mechanical Properties of Metal Foams Fabricated via Melt Foaming and Powder Metallurgy Technique: A Review." تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9369530/>.
4. ERG Aerospace. "Metal Foam Material." مارس 2025 تم الوصول إليه في 2. <https://ergaerospace.com/metal-foam-material/>.
5. Metalfoamweb. "Properties of Metal Foams." مارس 2025 تم الوصول إليه في. <https://www.metalfoamweb.com/properties-of-metal-foams/>.
6. Refractory Metal. "Metallic Foams: Production, Properties, and Diverse Applications." تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. <https://www.refractorymetal.org/metallic-foams-production-properties-and-diverse-applications.html>.
7. Beihai. "Is Metal Foam Environmentally Friendly?" تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. <https://www.beihaicomposite.com/news/is-metal-foam-environmentally-friendly/>.
8. Rethinking the Future. "Aluminium Foam: Revolutionizing Architectural Design." تم الوصول إليه في مارس 2025. <https://www.re-thinkingthefuture.com/articles/aluminium-foam/>.
9. Dpublication. "Review of Aluminum Foam Applications in Architecture." تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. [https://www.dpublication.com/wp-content/uploads/20\(1\)9/\(1\)\(1\)/\(1\)4STK.pdf](https://www.dpublication.com/wp-content/uploads/20(1)9/(1)(1)/(1)4STK.pdf).
10. AZoM. "Aluminium Foam – Structure, Properties and Benefits." تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. [https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=\(1\)0529](https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=(1)0529).
11. Techinstro Blog. "Acoustic Properties of Aluminium Foam and Its Applications." تم الوصول إليه في مارس 2025. <https://blog.techinstro.com/acoustic-properties-of-aluminium-foam-and-its-applications/>.

12. Metal Foam Web. "How to Produce Aluminum Foam." تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. <https://www.metalfoamweb.com/how-to-produce-aluminum-foam/>.
13. The Minerals, Metals & Materials Society (TMS). "Manufacturing Routes for Metallic Foams." تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. [https://www.tms.org/pubs/journals/JOM/00\(1\)2/Banhart-00\(1\)2.html](https://www.tms.org/pubs/journals/JOM/00(1)2/Banhart-00(1)2.html).
14. Wikipedia. "Metal Foam." تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. https://en.wikipedia.org/wiki/Metal_foam.
15. ArchDaily. "Sound Absorption and Aesthetics: What is Stabilized Aluminum Foam?" تم الوصول إليه في (1)6 أبريل 2025. [https://www.archdaily.com/9959\(1\)6/sound-absorption-and-aesthetics-what-is-stabilized-aluminum-foam](https://www.archdaily.com/9959(1)6/sound-absorption-and-aesthetics-what-is-stabilized-aluminum-foam).
16. ResearchGate. "Aluminum Foam for Automotive Applications." تم الوصول إليه في (1)2 مارس 2025. https://www.researchgate.net/publication/229466886_Aluminum_Foam_for_Automotive_Applications.
17. MDPI. "Compressive Properties and Energy Absorption Behavior of 3(1)6L Steel Foam." تم الوصول إليه في (1)2 مارس 2025. [https://www.mdpi.com/\(1\)996-\(1\)944/\(1\)6/4/\(1\)4\(1\)9](https://www.mdpi.com/(1)996-(1)944/(1)6/4/(1)4(1)9).
18. Clausius Scientific Press. "Sound Absorption Ability of Aluminium Foams." تم الوصول إليه في (1)2 مارس 2025. [https://www.clausiuspress.com/article/\(1\)\(1\)5.html](https://www.clausiuspress.com/article/(1)(1)5.html).
19. Metallurgy for Dummies. "Metal Foam." تم الوصول إليه في 12 مارس 2025. <https://www.metallurgyfordummies.com/metal-foam.html>.
20. ERG Aerospace. "Duocel Foam Applications." تم الوصول إليه في 3 أبريل 2025. <https://ergaerospace.com/metal-foam-applications/>.
21. مجدي، هاجر. "تفعيل دور التكنولوجيا المتقدمة في الحصول على منتج صناعي مستدام." مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، 2024. <https://doi.org/10.21608/mjaf.2024.330150.3514>. تاريخ زيارة الموقع: 20 أبريل 2025.
- Magdy, Hager. "Tafeel Dawr Al-Tiknologia Al-Mutaqaddima Fi Al-Husul 'ala Muntaj Sina'i Mustadām." *Majallat Al-Imara wa Al-Funun wa Al-'Ulum Al-Insaniya*, 2024. <https://doi.org/10.21608/mjaf.2024.330150.3514>. Tarikh ziyarah al-mawqi': 20 April 2025.
22. عبد الفتاح شريف، رحاب. "تقنيات متنوعة للأثاث الصديق للبيئة وأثرها على تصميم الفراغ الداخلي." مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية 10، عدد 49 (2025): 706–718. <https://doi.org/10.21608/mjaf.2023.204866.3076>. تاريخ زيارة الموقع: 20 أبريل 2025.
- Abdel Fattah Sherif, Rehab. "Taqaniyat Mutanawwi'a Lil-Athath Al-Sadeeq Lil-Bi'a wa Atharuha 'ala Tasmeem Al-Faragh Al-Dakhili." *Majallat Al-Imara wa Al-Funun wa Al-'Ulum Al-Insaniya* 10, no. 49 (2025): 706–718. <https://doi.org/10.21608/mjaf.2023.204866.3076>. Tarikh ziyarah al-mawqi': 20 April 2025.
23. Khalil, Dalia Mahmoud Ibrahim. "Taqleed Nizam Al-Khalaya Al-Nahliya Ka Mafhum Ilhami Fi Majal Tasmeem Al-Athath." *Majallat 'Ulum Al-Tasmeem wa Al-Funun Al-Tatbiqiya* 2, no. 2 (2021): 32–45. https://jdsaa.journals.ekb.eg/article_173005_870f28229c11b0d28589e8c53f88ed83.pdf. Tarikh ziyarah: 26 April 2025.