الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة قاصدي مرباح ورقلة
قسم الهندسة المدنية و الري

مذكرة مقدمة لنيل شهادة ماستر

شعبة : الهندسة المدنية

التخصص : دراسة و مراقبة العمارات و الطرق

من إعداد الطالبتين :

باسو إكرام محمدي يسرى

الموضوع :

المساهمة في دراسة الخصائص الميكانيكية للملاط بإستعمال النشارة البلاستيكية (المخلفات الصناعية)

المقدمة يوم : 2026/06/11

أمام لجنة المناقشة :

خلو عبد الرزاق	أستاذ محاضر أ	جامعة ورقلة	رئيس
جوهري محمد	أستاذ محاضر	جامعة ورقلة	مناقش
مختاري عبد الصمد	أستاذ محاضر	جامعة ورقلة	مشرف

السنة الجامعية : 2026/2025

شكر و عرفان

بسم الله الرحمن الرحيم، والحمد لله حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه، الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والذي أنار لنا دروب العلم، ووفقنا لإتمام هذا العمل، فله سبحانه أسمى آيات الحمد والثناء، وأصدق معاني الشكر والامتنان.

ويسرني، وأنا أضع اللمسات الأخيرة على هذه المذكرة، أن أتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير، وأصدق مشاعر الامتنان والعرفان، إلى الأستاذ (مختاري عبد الصمد)، الذي تفضل بالإشراف على هذا العمل، وأحاطني برعايته العلمية، وتوجيهاته السديدة، ونصائحه القيمة، فكان نعم المرشد والمعين، ولم يبخل عليّ بعلمه وخبرته، فجزاه الله عني خير الجزاء، وبارك في علمه وعطائه.

كما أتوجه بخالص الاحترام والتقدير إلى السادة أعضاء لجنة المناقشة الموقرة، على تفضلهم بقبول مناقشة هذه المذكرة، وعلى ما سيبدونه من ملاحظات علمية رصينة وتوجيهات بناءة، من شأنها أن تثري هذا العمل وتزيده قيمة وفائدة.

ولا يفوتني في هذا المقام أن أعبر عن عميق شكري وامتناني إلى جميع أساتذتي الأفاضل في (جامعة قاصدي مرباح ورقلة ـ قسم الهندسة المدنية و الري)، الذين كان لهم الفضل، بعد الله سبحانه وتعالى، في تكويني العلمي والفكري، وفي غرس حب العلم والبحث والاجتهاد في نفسي.

كما أتقدم بجزيل الشكر إلى كل من مدّ لي يد العون، وساندني من قريب أو بعيد، وساهم بكلمة طيبة أو نصيحة مخلصة أو دعم معنوي كان له الأثر الطيب في إنجاز هذا العمل.

وأخصّ بالذكر عائلتي الكريمة، التي كانت لي خير سند وموئل، فإليهم أتوجه بأصدق مشاعر الحب والامتنان، عرفاناً بما غمروني به من صبر وتشجيع ودعاء صادق، فكان دعمهم مصدر قوة وثبات في مختلف مراحل هذه المسيرة.

وفي الختام، أسأل الله تعالى أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به، وأن يجعله ثمرة علم نافعة، وبداية لمسيرة علمية مباركة.

الإهداء

﴿فَرِحِينَ بِمَا آتَاهُمُ اللَّهُ مِنْ فَضْلِهِ﴾

بعد سنوات من الإجتهاد و السعي المتواصل، سنوات حملت في طياتها التعب و الصبر و التحديات،أقف اليوم على عتبة التخرج لأقدم ثمرة جهدي وما وصلت إليه بعد فضل الله و توفيقه،فهذا الإنجاز لم يكن خطوة فردية،بل كان حصيلة دعم و حب ومساندة أشخاص كان لوجودهم أعظم الأثر في مسيرتي.

إلى من منحوني القوة لأصل ...أهدي هذا الإنجاز :

إلى والدي

الذي علمني معنى الثبات،والغرس الطيب،و السير في الطريق الصحيح.إلى من كان دعمه عزا لي،ورضاة طريقي نحو الفلاح.لي كل الإمتنان و التقدير و الفخر الذي يليق بمكانته في حياتي.

و إلى والدتي

نبع الحنان و قلب الدعاء الذي لم يغلق بابها يوما،إلى من كانت عيونها تلاحق خطواتي خوفا علي،وحنانها قنديلي في كل مواجهة،ياأمان أيامي،ويا هدايا الله في عمري ،نجاحي هذا امتداد لدعائك و قطف لثمار حبك وهدية متواضعة لقلبك الكبير.لها أهدي نجاحي و فخري.

إلى من يشتد بهم عضدي...

شكرا لأنكم كنتم دائما الكتف الذي أستند عليه،والتشجيع الذي لا ينضب.دمتم لي فخرا و ذخرا.

إلى عائلتي لقد كنتم دائما جزءا من قوتي،وسببا في أن أقف بثبات في أصعب الأيام،إليكم،يامن كنتم نور ايامي،أقدم جزءا من فرحتي.

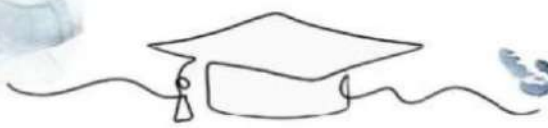
إلى رفاق الرحلة أصدقائي الذين شاركوني الطريق وساهموا في صنع ذكريات لا تنسى.وجودكم كان مساحة رحبة لقلبي،وسندا لتجاوز الصعوبات.

ولكل من وقف إلى جانبي وترك أثرا طيبا في قلبي أو دعم خطوة من خطواتي،أو قال كلمة صنعت فرقا...

لكم جميعا أجمل معاني الإمتنان والدعاء...

وها أنا اليوم أرفع مشروعي هذا عربون شكر الله تعالى،الذي وفقني و أعانني،ومنحني القدرة على الوصول إلى هذه المرحلة التي لطالما حلمت بها

إكـــرام



إهداء

إلى من علّمتني الصبر بعينيها الحنونتين، ونبض قلبها الذي لا يهدأ بالدعاء لي في كل سجدة... إلى جدتي، نعيم الدنيا الذي لا يفنى.

إلى جدي، حكاية العز والشموخ، الذي علمني أن الطريق إلى القمة يبدأ بخطوة واثقة وإرادة لا تلين.

إلى أبي، سندي وظلّي في هذه الحياة، الذي غرس فيّ حب المعرفة والتحدي، وشعلة الكبرياء التي لا تنطفئ.

إلى أمي، ملاك الحب والحنان، التي كانت دعواتها سرّ نجاحي ودربي الذي أضاء عتمة السنين.

إلى إخوتي، رفاق الروح وشركاء الحلم، الذين كانوا معي في كل منعطف، وزرعوا في قلبي الأمل حين كنت أوشك على الاستسلام.

إلى عماتي الغاليات، اللواتي كانت كلماتهن الطيبة وابتساماتهن المشجّعة بلسمًا لجروحي ووقودًا لإرادتي.

إلى أصدقائي الوفيّين، رفاق التعب والفرح، الذين شاركوني سهر الليالي وهمّ المشوار، فكانوا السند بعد الله.

هذا الإنجاز المتواضع هو ثمرة حبكم ودعمكم، وهو هدية صغيرة أضعها بين أيديكم... فلكم مني كل الحب والامتنان

ليسرى

الملخص :

تتناول هذه المذكرة دراسة إمكانية تطوير ملاط إسمنتي مستدام من خلال إدماج بقايا البلاستيك المعاد تدويره، وبالتحديد رقائق البولي إيثيلين عالي الكثافة (PEHD)، كبديل جزئي للرمل. وتندرج هذه الدراسة ضمن التوجهات الحديثة في الهندسة المدنية التي تسعى إلى التوفيق بين الأداء التقني والحفاظ على البيئة، خاصة في ظل التزايد المستمر للنفايات البلاستيكية وصعوبة التخلص منها. وقد اعتمدت الدراسة على مقاربة تجريبية شملت إعداد خلطات مرجعية وأخرى معدلة بنسب مختلفة من البلاستيك، ثم تقييم خصائصها الفيزيائية والميكانيكية، مثل قابلية التشغيل، الكتلة الحجمية، مقاومة الانحناء، ومقاومة الضغط، مع مقارنة تأثير ظروف المعالجة المختلفة. وقد أظهرت النتائج أن إدماج نسب من PEHD يساهم في تخفيف وزن الملاط وتحسين بعض خصائصه ، مع بقاء الأداء الميكانيكي مقبولاً، بل وتحقيق نتائج جيدة عند بعض النسب، خاصة 1% و2%. وتؤكد الدراسة أن تثمين النفايات البلاستيكية في مواد البناء يمثل حلاً واعدًا يجمع بين الجدوى البيئية والتقنية.

الكلمات المفتاحية : نشارة البلاستيك, الكتلة الحجمية, مقاومة الضغط, الإسمنت البورتلاندي.

Abstract :

This thesis investigqtes the possibility of developing sustainable cement mortar by incorporating recycled plastic waste، specifically high-density polyethylene (HDPE) flakes، as a partial substitute for sand. This study aligns with recent trends in civil engineering that seek to balance technical performance with environmental conservation، particularly in light of the continuous increase in plastic waste and the difficulty of disposing of it. The study employed an experimental approach that involved preparing reference mixtures and modified mixtures with varying plastic content، followed by an evaluation of their physical and mechanical properties—such as workability، bulk density، flexural strength، and compressive strength—while comparing the effects of different curing conditions. The results showed that incorporating carefully selected proportions of HDPE helps reduce the mortar's weight and improve some of its functional properties، while maintaining acceptable mechanical performance and even achieving good results at certain proportions، particularly 1% and 2%. The study confirms that the valorization of plastic waste in building materials represents a promising solution that combines environmental، technical.

Keywords : Plastic flakes, bulk density, compressive strength, Portland cement.

Résumé:

Ce mémoire étudie possibilité de développer un mortier de ciment durable en incorporant des déchets plastiques recyclés‹ plus précisément des copeaux de polyéthylène haute densité (PEHD)‹ en remplacement partiel du sable. Cette étude s'inscrit dans les tendances récentes du génie civil qui visent à concilier performance technique et préservation de l'environnement‹ notamment face à l'augmentation constante des déchets plastiques et à la difficulté de leur élimination. L'étude s'est appuyée sur une approche expérimentale comprenant la préparation de mélanges de référence et d'autres mélanges modifiés avec différentes proportions de plastique‹ puis l'évaluation de leurs propriétés physiques et mécaniques‹ telles que la maniabilité‹ la masse volumique‹ la résistance à la flexion et la résistance à la compression‹ tout en comparant l'effet des différentes conditions de traitement. Les résultats ont montré que l'incorporation de proportions étudiées de HDPE contribue à alléger le mortier et à améliorer certaines de ses propriétés fonctionnelles‹ tout en conservant des performances mécaniques acceptables‹ voire en obtenant de bons résultats pour certaines proportions‹ notamment 1 % et 2 %. L'étude confirme que la valorisation des déchets plastiques dans les matériaux de construction constitue une solution prometteuse alliant viabilité environnementale‹ technique.

Mots-clés: Copeaux de plastique, masse volumique, résistance à la compression, ciment Portland.

فهرس المحتويات

شكر وعرفان..... II
الملخص..... V
فهرس المحتويات..... VII
قائمة الجداول..... IX
قائمة الصور..... X
قائمة الأشكال..... XI
مقدمة عامة..... 1

الفصل الأول : مدخل عام

I-1-مقدمة..... 4
I-2-الملاط..... 5
I-2-1-تعريف الملاط..... 5
I-2-3- تركيبة الملاط..... 11
I-2-4- أنواع الملاط..... 12
I-3- النشارة البلاستيكية..... 13
I-3-1- تعريف..... 13
I-3-2-أنواع النشارة البلاستيكية..... 13
I-3-3- إستخدامات النشارة البلاستيكة..... 13
I-4- الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية..... 14
I-4-1-تعريف الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية..... 14
I-4-2- مكونات الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية :..... 14
I-4-3- فوائد و إيجابيات الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية..... 15
I-4-4- التطبيقات للملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية..... 16
I-4-5- الاعتبارات للملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية..... 17
I-5-دراسة سابقة للملاط المدعم بالبلاستيك :..... 18
I-6-خاتمة..... 19

الفصل الثاني : خصائص المواد المستعملة

II-1-مقدمة..... 21
II-2- خصائص المواد المستعملة..... 21

II-2-1 الرمل..... 21
II-2-1-1 تجربة المكافئ الرملي:..... 21
II-2-1-2-تجربة التحليل الحبيبي :(Analyse granulométrique)..... 23
II-2-1-3-معامل النعومة: (Module de finesse)..... 24
II-2-2-الماء..... 26
II-2-3-2- الخصائص التقنية..... 27
II-2-4-نشارة البلاستيك (أنابيب البولي إيثيلين PEHD)..... 28
II-3-خاتمة:..... 28

الفصل الثالث : تركيبة الملاط العادي و الملاط المدعم

III-1-مقدمة..... 30
III-2-تجربة التشغيلية..... 30
III -2- 1-الهدف من هذه التجربة..... 30
III- 2- 2-الجهاز المستعمل في التجربة..... 31
III -2-3-مراحل التجربة..... 31
III-3-تحديد تركيبة الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية..... 32
III-4- تحضير العينات..... 33
III-5-خلاصة..... 35

الفصل الرابع : دراسة الخصائص الميكانيكية للملاط البلاستيكية

IV-1-مقدمة..... 37
IV-2-تجارب على العينات..... 38
IV-2-2- اختبار مقاومة الانحناء..... 39
IV-2-2-1-تحليل و مناقشة نتائج الإنحناء للعينات..... 40
IV-2-3-اختبار مقاومة الضغط..... 45
IV-2-3-1-تحليل و مناقشة نتائج الضغط للعينات..... 46
IV-3-خلاصة..... 51

الفصل الخامس: خلاصة عامة و التوصيات

خلاصة عامة..... 53
التوصيات..... 55
قائمة المراجع..... 56

قائمة الجداول

الجدول (I-1): المكونات المينرالوجية التي تدخل في تركيبة الإسمنت..... 6

الجدول (I-2): أنواع الإسمنت المختلفة حسب المواصفات السعودية..... 7

الجدول (I-3): النتائج الرئيسية التي توصلت إليها الدراسة..... 18

الجدول (II-1) : نتائج تجربة مكافئ الرمل..... 22

الجدول (II-2): نتائج تجربة التحليل الحبيبي..... 23

الجدول (II-3): التركيبة الكيميائية للماء المستعمل..... 26

الجدول (II-4): البطاقة التقنية للإسمنت المستعمل..... 27

الجدول (III-1) : أصناف الملاط حسب التشغيلية..... 30

جدول (III-2): تركيبة الملاط المرجعي (الشاهد)..... 31

الجدول(III-3): المركبات المستعملة في تحضير الملاط..... 33

الجدول (IV-1): يوضح قيم الكتلة الحجمية للملاط في 28 يوم..... 38

قائمة الصور

الصورة(1-1) : مكونات الملاط..... 6
الصورة (II-1): تجربة مكافئ الرمل 22
الصورة (II-2): تجربة التحليل الحبيبي..... 23
الصورة(II-3): تجربة الكتلة الحجمية المطلقة..... 25
الصورة(II-4): تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية..... 26
الصورة (III-1) : الجهاز الخاص بتجربة قابلية التشغيلية..... 31
الصورة (III-2): تجربة التشغيلية..... 32
الصورة (III-3) : تحضير العينات..... 34
الصورة(IV-1): توضح وزن عينات..... 38
الصورة (IV-2): توضح تجربة الانحناء..... 40
الصورة (IV-3): توضح تجربة الضغط..... 45

قائمة الأشكال

الشكل (I-1): معنى الأسم المختصر للإسمنت..... 7
الشكل (I-2): استخدمات الملاط..... 12
الشكل (IV-1) : يوضح نتائج إجهاد تجربة الإنحناء للملاط المرجعي (MT) 40
الشكل (IV-2) : يوضح نتائج إجهاد تجربة الإنحناء للملاط (MP1%) 41
الشكل (IV-3) : يوضح نتائج إجهاد تجربة الإنحناء للملاط (MP2%) 42
الشكل (IV-4) : يوضح نتائج إجهاد تجربة الإنحناء للملاط (MP3%)..... 44
الشكل (IV-5) : يوضح نتائج إجهاد تجربة الضغط للملاط المرجعي (MT)..... 46
الشكل (IV-6) : يوضح نتائج إجهاد تجربة الضغط للملاط (MP1%)..... 47
الشكل (IV-7) : يوضح نتائج إجهاد تجربة الضغط للملاط (MP2%)..... 48
الشكل (IV-8) : يوضح نتائج إجهاد تجربة الضغط للملاط (MP3%)..... 49

مقدمة عامة

مقدمة عامة

يشهد قطاع البناء في الوقت الراهن تطورًا متسارعًا فرض البحث عن مواد إنشائية جديدة تستجيب لمتطلبات الأداء التقني، والاقتصادي، والبيئي في آنٍ واحد. ويُعد الملاط من بين أهم المواد المستعملة في مجال الهندسة المدنية، نظرًا لدوره الأساسي في ربط وحدات البناء، وملء الفراغات، وتحسين تماسك العناصر المختلفة داخل المنشآت. غير أنّ التطورات الحديثة في مجال التشييد، وما رافقها من تحديات مرتبطة بخفة الوزن، والعزل الحراري، ومقاومة بعض الظروف الخاصة، أظهرت الحاجة إلى تحسين خصائص الملاط المرجعي والبحث عن بدائل أو إضافات جديدة قادرة على تطوير أدائه.

ومن جهة أخرى، أصبح التلوث الناتج عن النفايات البلاستيكية من أبرز المشكلات البيئية التي تهدد التوازن البيئي، بسبب تزايد كميات هذه النفايات وصعوبة تحللها طبيعيًا. ومن هذا المنطلق، برزت أهمية إعادة تدوير البلاستيك وتثمينه في مجالات تطبيقية مختلفة، من بينها قطاع مواد البناء، باعتباره أحد القطاعات القادرة على استيعاب كميات معتبرة من المواد المعاد تدويرها. وفي هذا الإطار، تندرج هذه الدراسة التي تهدف إلى بحث إمكانية إدماج النشارة البلاستيكية، خاصة من نوع HDPE، داخل الملاط الإسمنتي كبديل جزئي لبعض مكوناته ، من أجل المساهمة في تحسين بعض الخصائص للملاط، وفي الوقت نفسه الحد من الأثر البيئي للنفايات البلاستيكية.

وتتمحور إشكالية هذه المذكرة حول مدى إمكانية استعمال النشارة البلاستيكية المعاد تدويرها في إنتاج ملاط إسمنتي يتميز بخصائص مقبولة من حيث قابلية التشغيل والمقاومة الميكانيكية، مع تحقيق مكاسب بيئية واقتصادية. ومن أجل الإجابة عن هذه الإشكالية، تم الاعتماد على منهجية تجمع بين الجانب النظري والجانب التجريبي؛ حيث تم في البداية عرض المفاهيم الأساسية المتعلقة بالملاط ومكوناته والنشارة البلاستيكية، ثم الانتقال إلى توصيف المواد المستعملة مخبريًا، وأخيرًا دراسة تأثير نسب الإضافة على بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للملاط.

وعليه، فقد تم تقسيم هذه المذكرة إلى أربعة فصول مترابطة:

الفصل الأول خصص للدراسة النظرية والمدخل العام .

الفصل الثاني خصائص المواد المستعملة والجانب التجريبي.

الفصل الثالث الذي تم فيه دراسة تركيبة الملاط المرجعي (الشاهد) و الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية .

الفصل الرابع عرض النتائج ومناقشتها وتحليل أثر إضافة النشارة البلاستيكية على أداء الملاط.

و أخيرا تم إنهاء هذا العمل بخلاصة عامة و توصيات للافاق المستقبلية.

ويهدف هذا التقسيم إلى تقديم رؤية متكاملة تسمح بفهم الموضوع من مختلف جوانبه، والوصول إلى نتائج علمية يمكن الاستفادة منها في تطوير مواد بناء أكثر استدامة.

الفصل الأول :

مدخل عام

I-1-مقدمة

يعتبر الملاط أحد أقدم المواد الرابطة و أكثرها استخداما في تاريخ الهندسة المدنية و البناء. حيث كان ولا يزال عنصر الأساسي الذي يربط وحدات البناء المختلفة كالحجارة و الطوب ، ويملأ الفراغات بينها و يضمن توزيعا متساويا للأحمال على المنشأة . و يمتد دور الملاط ليشمل وظائف حماية متعددة ، مثل مقاومة العوامل الجوية (الماء و الرياح)، ومن التشققات ، و حماية التعزيزات الفولاذية من التآكل ، بل و المساهمة في المظهر الجمالي للبناء من خلال إمكانية تلوينه . ولكن مع تطور متطلبات البناء الحديث لم تعد الخصائص التقليدية للملاط كافية في بعض التطبيقات المتخصصة ، مثل المناطق الزلزالية أو البيئات القاسية، أو المشاريع التي تتطلب عزلا حراريا عاليا أو وزنا منخفضا .

من هنا برزت الحاجة إلى تطوير مواد بناء مبتكرة تحقق التوازن بين الأداء الهندسي المتميز و الإستدامة البيئية.و في هذا السياق يأتي الاقتراح الحديث بإستخدام **النشارة البلاستيكية المعاد تدويرها** كمادة مضافة أو كبديل جزئي للركام الناعم في خلطات الملاط . تأتي هذه الفكرة مدفوعة بعاملين رئيسيين:

الأول : بيئي_متمثل في تراكم النفايات البلاستيكية التي تشكل تهديدا خطيرا للأنظمة البيئية، حيث يعاد تدويرها في صناعة البناء حلا مستداما لتقليل هذا التلوث .

الثاني : تقني_ حيث أظهرت الدراسات أن إضافة هذه النشارة البلاستيكية يمكن أن تحسن خصائص الملاط من حيث خفض الوزن ، وزيادة المرونة و مقاومة التشققات ، وتحسين العزل الحراري و الصوتي بل وتقليل استهلاك الموارد الطبيعية كالرمل .

لذلك يهدف هذا الفصل إلى تقديم دراسة نظرية متكاملة و مفصلة للموضوع ،نبدأ بتعريف الملاط و مكوناته الأساسية و تركيبته و أنواعه المتعددة، ثم الانتقال إلى تعريف النشارة البلاستيكية و وانواعها و استخداماتها في المجال المدني ، واخيرآ التطرق بشكل معمق إلى مفهوم الملاط المدعم بهذه النشارة ومن من حيث تعريفها،مكوناتها،فوائدها البيئية و الميكانيكية و الاقتصادية،تطبيقاتها المدنية، و أهم الاعتبارات التي يجب أخدها بعين الإعتبار لضمان نجاح استخدامه.و يشكل هذا الفصل الأساسي النظري الذي سيبنى عليه العمل التجريبي لاحقا.

I-2-الملاط

I-2-1-تعريف الملاط

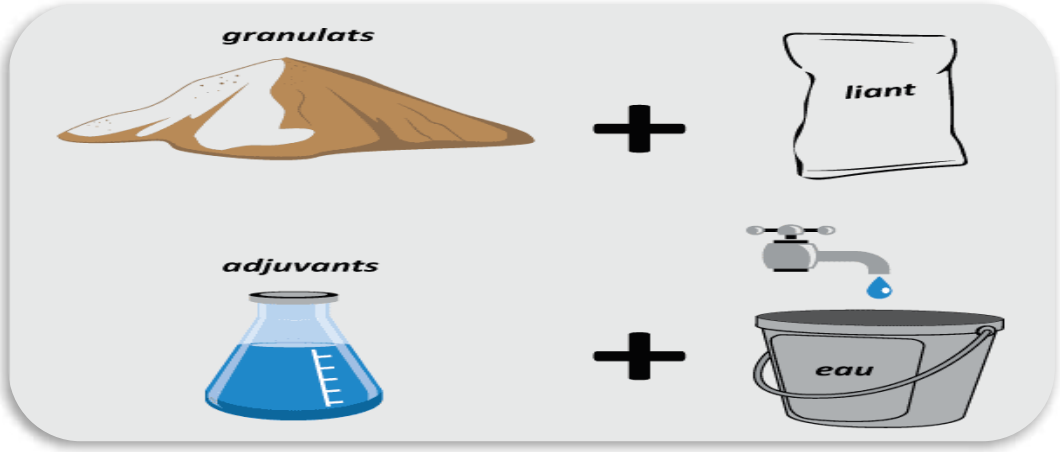
الملاط هو مزيج من الإسمنت البورتلاندي و الرمل و الماء ،و هو مادة رابطة بالغة الأهمية في البناء وتتمثل وظيفتها الأساسية في ربط وحدات البناء معا، وملء الفجوات وضمان توزيع موحد للوزن عبر الهيكل. و هذا يساعد في منع نقاط الضعف المحتملة . كما يعمل الملاط كحاجز وقائي ضد العوامل البيئية مثل الماء و الرياح ، و بالتالي حماية الجزء الداخلي من الهيكل. كما يعوض عن المخلفات السطحية في وحدات البناء، ويؤمن التعزيزات الفولاذية والمكونات الهيكلية داخل الجدران.

إن الجانب الجمالي للملاط مهم، حيث يؤثر لونه بشكل كبير على المظهر العام لأعمال البناء، يمكن تخصيص الألوان بإستخدام أصباغ العضوية، تعتبر معالجة الملاط أمرا بالغ الأهمية لتحقيق القوة والمتانة المثلى في البناء.[1]

I-2-2-مكونات الملاط الأساسية

الملاط هو أحد مواد البناء ، الذي يحتوي على الاسمنت والماء والرمل والاضافات الكيميائية وربما اضافات أخرى. يمكن أن تختلف عن بعضها البعض كثيرا حسب طبيعة ونسب المكونات والخلط والتطبيق والمعالجة ،يتكون الملاط من خلائط تشمل : [2]

- رابط (أسمنت أوجير).
- الماء.
- رمل.
- إضافات كيميائية .



الصورة (1-1): مكونات الملاط.

أ) الاسمنت:

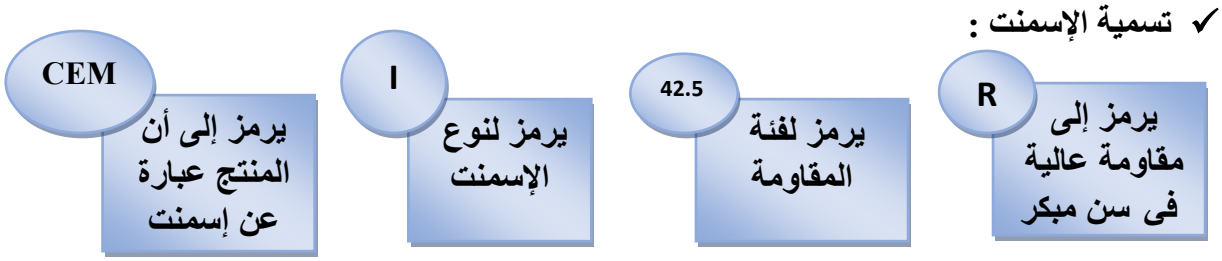
هو رابط هيدروليكي لأنه يتميز بخاصية التصلب بوجود الماء. حيث تعمل عملية " الإماهة" تحول العجينة الرابطة التي تكون قوامها الأولي سائلا بدرجة متفاوتة ، إلى مادة صلبة عمليا غير قابلة للذوبان في الماء. يعزي هذا التصلب إلى إماهة بعض المركبات المعدنية، وخاصة سيليكات وألومينات الكالسيوم [3].

و يتكون الإسمنت من أربع مركبات رئيسية هي في الأصل ناتج تفاعل مواد الخام التي جمعت من المحاجر و يرمز لهذه المركبات إصطلاحا بالشكل الأتي كما هو موضح في الجدول:

الجدول (I-1): المكونات الكميائية التي تدخل في تركيبة الإسمنت[4].

المركب	الاصطلاح	المركب	
ثاني سيليكات الكالسيوم	C_2S	$2C_aO.SiO_2$	**Belite**
ثالث سيليكات الكالسيوم	C_3S	$3CaO.SiO_2$	**Alite**
ثالث ألومينات الكالسيوم	C_3A	$3CaO.Al_2O_3$	**Aluminate**
رابع ألومينات حديد الكالسيوم	C_4AF	$4CaOAl_2O_3.Fe_2O_3$	**Celite**

✓ تسمية الإسمنت :



الشكل (I-1): معنى الأسم المختصر للإسمنت.

✓ أنواع الإسمنت :

هناك أنواع عديدة من الإسمنت من أهمها انتشارا في العالم الأسمنت البورتلاندي .و قد صنفت المواصفات السعودية الإسمنت إلى خمسة أصناف موضحة في الجدول رقم (5[:)2-I]

الجدول (I-2): أنواع الإسمنت المختلفة حسب المواصفات السعودية

النوع	الإسم	الإستعمالات
نوع 1 Type 1	إسمنت بورتلاندي عادي Ordinary Portland Cement	في الإستعمالات العادية
نوع 2 Type 2	إسمنت متوسط المقاومة للكبريتات Moderate Sulphate Resisting Cement	في الإستعمالات التي تحتاج إلى مقاومة الكبريتات متوسطة التركيز
نوع 3 Type 3	إسمنت سريع التصلد Rapid Hardening Cement	في حالة الحاجة إلى مقاومة مبكرة و عالية
نوع 4 Type 4	إسمنت منخفض الحرارة Low Heat Cement	في الكتل الخرسانية الكبيرة (حرارة تفاعلاته منخفضة)
نوع 5 Type 5	إسمنت عالي المقاومة للكبريتات Sulphate Resisting Cement	في الإستعمالات التي تحتاج إلى مقاومة الكبريتات عالية التركيز

ب) الرمل:

تعرف الرمال بأنها المادة الحبيبية الطبيعية الغير متماسكة ، تتكون أساسا من الحبيبات المعدنية الناتجة عن تفتت الصخور (مثل الكوارتز و الفلسبار) ،يتراوح قطر حبيباتها بشكل عام بين 0.075 ملم و 4.75

ملم تصنف على أنها إحدى المواد "الركامية " أو "الركام الناعم" و تعتبر مكونا أساسيا في العديد من خلطات البناء.[6]

تصنف أنواع الرمال في الهندسة المدنية بناء على عدة عوامل ، أهمها :[7]

✓ **التصنيف حسب المصدر و طريقة التكوين :**

- **الرمل الطبيعي :**

رمل الانهار : أنقى أنواع الرمال تقريبا ، حبيباته مدورة و ناعمة نسبيا بسبب فعل التآكل بالمياه. ممتاز لتحضير الخرسانة و الأعمال الإنشائية .

رمال الكثبان (الصحراوي): حبيباته دقيقة و ناعمة جدا و دائرية و لكن قد يحتوي على نسبة ملح و أملاح ذائبة .غير مرغوب فيه في الخرسانة المسلحة بسبب نعومته التي إستهلاك الإسمنت و مخاطر التفاعل القلوي.

رمل الشواطئ (البحري): يحتوي على أملاح و أصداف و بقايا كائنات بحرية . يجب غسله جيدا من الأملاح (خاصة الكلوريدات و الكبريتات) قبل إستخدامه في الخرسانة المسلحة .

رمل الوديان : خليط بين رمل الأنهار و رمل الصحراء ،جودته متوسطة .

- **الرمل الصناعي (رمل الكسارات):**

ينتج عن طريق تكسير الصخور و الحجارة الكبيرة (مثل الجرانيت أو الحجر الجيري) في الكسرات.

يمكن التحكم في تدرج في حبيباته و شكله.يستخدم على نطاق واسع كمادة بديلة أو مكملة لرمل الطبيعي، خاصة في المناطق التي تشح فيها المصادر الطبيعية.

✓ **التصنيف حسب حجم الحبيبات (التدرج الحبيبي):**

هذا هو التصنيف الأكثر أهمية في المواصفات الفنية للمشاريع . يحدد بتحليل منخلي :

الرمل الناعم : تمر معظم حبيباته من منخل 0.6 ملم

الرمل المتوسط : يقع معظمه بين منخل 0.6 ملم و 1.18 ملم.

الرمل الخشن : يقع معظمه بين منخل 1.18ملم و 4.75 ملم.

✓ **التصنيف حسب الإستخدام (التطبيق الهندسي):**

رمل الخرسانة : يجب أن يكون نظيفا ، خاليا من المواد العضوية و الطين و متدرجا جيدا ضمن المواصفات القياسية .

رمل أعمال الرملة (الفرشة أو الأساسات): يستخدم كمادة تحتية تحت بلاطات الأرضيات أو كفرشة للأنابيب.قد يكون أقل جودة من رمل الخرسانة .

رمل أعمال البياض (المحارة و التلبيس): غالبا ما يكون ناعما جدا و مغسولا للحصول على سطح أملس.

رمل أعمال السباكة(الرمل السادة): لحشو الفراغات حول الأنابيب في الحمامات و الأرضيات .

رمل المرشحات (الفلتر): يستخدم في محطات معالجة المياه ، و يكون ذو مواصفات خاصة من حيث الحجم و النقاوة.

رمل اللاندسكيب و الملاعب : يجب أن يكون غير حاد الحبيبات و نظيفا.

رمل ذو حبيبات مدورة : (مثل رمل الأنهار)يعطي قابلية تشغيل عالية للخلطة الخرسانية لكنه أقل قوة في الربط .

✓ **التصنيف حسب الشكل الظاهري للحبيبات :**

رمل ذو حبيبات زاوية :(مثل الرمل الصناعي) يعطي قوة أفضل للخلطة الخرسانية بسبب التماسك الميكانيكي ، و لكنه قد يقلل من قابلية التشغيل .

ج) الإضافات الكيميائية:

الإضافات الكيميائية هي منتجات كيميائية تستخدم في حالة الخرسانة .إنها تعدل خواص الخرسانة و الملاط التي تضاف إليها بنسبة قليلة (حوالي 5%من وزن الإسمنت).يمكن أن يحتوي الملاط على أنواع مختلفة من الإضافات الكيميائية:

-الملدنات (مخفضات الماء).

-مدخلات الهواء .

_معدلات زمن الشك (المبطئات ،المسرعات)

-المواد المائعة لتسرب الماء .

في جميع الحالات ،يجب اتخاذ إجراءات عناية خاصة للحصول على مونة بدون نزف ،و متجانسة من خلطة لأخرى [8].

د) الماء :

هو المكون الحيوي في الملاط المسؤول عن تنشيط الأسمنت ، و تحقيق التماسك (الترطيب)،و توفير القوام القابل للتشغيل ، بالنسبة مثالية عادة بين 44% إلى 60%من الوزن الأسمنت (حوالي 10% من إجمالي الخليط مع الرمل). يؤدي الماء دورا مزدوجا في تسهيل التشكيل و منع التشققات الناتجة عن الجفاف السريع .[9]

- ✓ **أنواع الماء** : [10]
  - مياه الأنهار
  - مياه الآبار
  - الماء المقطر
  - المياه المعدنية
  - مياه الحنفيات
  - ماء التربة
  - البحيرات العذبة
  - المياه الجوفية
  - مياه المحيطات و البحار.
- ✓ **أهمية الماء في الملاط:** [20].
  - الماء ضروري لكي يتم التفاعل الكيمياوي بين الإسمنت والماء.
  - ضروري أيضا لكي تمتصه الحبيبات المستعملة في الملاط.
  - يعطي الماء الخليط المؤلف من الرمل و الإسمنت درجة مناسبة من الليونة تساعده على التشغيل والتشكيل .
  - بوجود الماء يمكن خلط مقدار أكبر من الحبيبات بنفس الكمية من الاسمنت.
  - يضيع جزء من الماء الموجود في الخلطة أثناء التبخر.
  - إن الماء ضروري لعمليات إيناع الملاط أثناء تصلبه.

✓ **الوظائف الأساسية للماء**:[9]

- **التشغيلية :** يمنح الخليط القوام الكريمي اللازم لتسهيل الإستعمال .
- **التماسك :** يساعد على تماسك المكونات و منع التشقق .
- **التفاعل الكيميائي :** ينشط الأسمنت لضمان التصلب و القوة .

- **تأثير زيادة الماء :** تؤدي الكميات الزائدة إلى إضعاف الملاط بشكل ملحوظ،و زيادة الإنكماش و التشقق.
- **تأثير نقص الماء :** يجعل الملاط صعب العمل و غير متجانس ،مما يعيق التشغيل اليدوي.
- **نصائح للخلط :** يفضل إضافة الخليط الجاف (الأسمنت و الرمل) إلى الماء تدريجيا لضمان التجانس و تجنب التكتل، و الوصول لقوام جيد.

ه) الإضافات الأخرى :

- المساحيق الدقيقة البوزولاتية (رماد ، دخان ، السيلكيا .....).
- ألياف ذات طبيعة مختلفة .
- ملونات .
- بوليمرات .

I-2-3- تركيبة الملاط

تعود تركيبة الملاط نتيجة لتصلب مركباته التي تعد من خليط الرمل و مواد رابطة كالجير ، الجبس (مواد تساعد على التماسك) و الماء .مع إضافة المحسنات و الملونات و عادة مواد نباتية تربط بينها . و يستعمل للربط بين عناصر البناء ، لذلك تدرس علاقة التصاقه و مقاومته ، سرعة تماسكه مع مواد البناء الأخرى و النظر في إرتباطه بهذه المواد و تأثره مع تغيرات المناخ و الزمن ، و إعداد الملاط يعتمد على قدر كافي من المواد الخاملة كالرمل ، تم تمزج مع مادة رابطة كالجير ، و إضافة الماء يكون تدريجيا بقدر كافي لجعل الخليط مثالي ، متجانس و متماسك و الحرص على عدم ترك عجين المواد الرابطة على شكل متماسكة و غير مختلطة .[4]

I-2-4- أنواع الملاط

يستخدم الملاط بشكل أساسي كموصول و مالئ لربط وحدات البناء (مثل الطوب ، الحجر...) و للإنهاء و التجصيص . تتعدد أنواعه بناء على المكونات و الغرض من الاستخدام .[11].

- ✓ **التصنيف حسب المادة الرابطة (الأساسية):**
  - ملاط الأسمنت
  - ملاط الجير
  - ملاط الأسمنت و الجير (المركب)
  - ملاط الجبس
  - ملاط الطين
- ✓ **التصنيف حسب الغرض و الوظيفة :**
  - ملاط البناء
  - ملاط التجصيص (القصارة -البلاستر)
  - ملاط الترميم
  - ملاط اللصق (للواجهات و البلاط)

I-2-5- استخدامات الملاط :



الشكل (I-2): استخدمات الملاط.

I-3- النشارة البلاستيكية

I-3-1- تعريف

تُعرف نشارة البلاستيك البولي إيثيلين عالي الكثافة (PEHD) بأنها الجزيئات أو الرايش البلاستيكي الناتج عن عمليات تشغيل أو تقطيع أو فرم خامات البولي إيثيلين، مثل القص، و الثقب، و الخراطة و الطحن، و إعادة التدوير، بحيث تكون هذه النواتج في صورة حبيبات أو رقائق أو فتات بلاستيكي يمكن إعادة استخدامها صناعيا أو تدويرها في تطبيقات مختلفة. [27]

I-3-2-أنواع النشارة البلاستيكية

تصنع النشارة البلاستيكية من أنواع مختلفة من البوليمرات ، لكل منها خصائصها ، مثل :

- **البولي إيثلين (PE)**: شفاف مرن وهو الأكثر استخداما، و يوجد في أنواع مثل :
  - البولي إيثلين عالي الكثافة (HDPE):الزجاجات و لعب الأطفال.
  - البولي إيثلين منخفض الكثافة (LDPE):للأكياس البلاستيكية و الأغلفة.
- **البولي بروبيلين (PP):** متين و مقاوم للحرارة،يستحدم في حاويات الطعام و السيارات .
- **البولي فينيل كلوريد (PVC):**صلب أو مرن، يستخدم في الأنابيب و ورق الجدران .
- **البولي إيثيلين تيرفثالات (PET):** خفيف و قوي، يستخدم في زجاجات المشروبات و الألياف .
- **البوليسترين (PS):** للأكواب و الصناديق المعزولة للحرارة ، أطباق و أدوات الطعام .[12]

I-3-3- إستخدامات النشارة البلاستيكة

تستخدم النشارة البلاستيكية في مجموعة متنوعة من التطبيقات في المجال المدني المتمثلة في :

- الخرسانة البلاستيكية .
- الطوب و البلاط البلاستيكي .
- تطبيقات التربة و الجدران الاستنادية.
- أنظمة الصرف الصحي و الصرف السطحي .
- العزل الحراري و العازل للصوت.
- رصف الطرق .
- المنتجات المركبة.
- أعمال الديكور و التشطيبات .
- مشاريع البنية التحتية الخضراء .

I-4- الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية

I-4-1-تعريف الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية

الملاط المدعم بالشارة البلاستيكية (أو الملاط البوليمري المعدل بالبلاستيك)هو نوع من الملاط الإسمنتي الذي يتم تعزيزه بإضافة نشارة بلاستيكية (مثل تلك البلاستيكية المشتقة من المعادد عصيره،مثل بولي إيثيلين أو بولي بروبيلين المعاد دراجاتها).و هذا لتعزيز خصائص الملاط مثل مقاومة التشققات و تقليل الوزن،مما يجعلها مناسبة لتطبيقات البناء الحديثة،خاصة في المناطق ذات الزلازل أو الظروف الملونة.كما أنها خالية من النفايات البلاستيكية من خلال إعادة تشغيلها.[13]

I-4-2- مكونات الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية :

- **الأسمنت البورتلاندي:**

النوع: عادة إسمنت بورتلاندي،أو إسمنت مقاوم للكبيرتات للبيئات القاسية.

النسبة: 20_40% من الوزن الإجمالي.

الدور: يوفر القوة الهيكلية الأساسية و التصلب.

يساعد في الالتصاق و المقاومة لضغط.[13]

- **الرمل أو الركام الناعم:**

النوع: رمل نهري أو سيليكا نظيف ،حجم الحبيبات 0.1-2ملم.مع تجنب الرمل الملوث بالطين أو الملح.

النسبة: 50_70 % من الوزن الإجمالي.

الدور: يملأ الفراغات و يوفر الإستقرار.

يقلل من التشققات عند الجفاف.[13]

- **الماء:**

النوع: ماء نظيف،غير مالح،مع إمكانية إضافة مواد مضادة.للتجمد في المناطق الباردة.

النسبة: 10_20% من الوزن الإجمالي.

الدور: يفعل عملية التصلب للأسمنت.

يؤثر على قابلية العمل.[13]

- **النشارة البلاستيكية:**

النوع: نشارة بلاستيكية معاد تدويرها كا البولي إيثيلين (PP)أو البولي إيثيلين (HDPE).

النسبة: 5_20 % من حجم الرمل.

الدور: مقاومة للتآكل،وتزيد المرونة.

تقلل الوزن الكلي و تحسن العزل الحراري.[13]

I-4-3- فوائد و إيجابيات الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية

- **الفوائد البيئية:**

تقليل النفايات البلاستيكية: يقلل من التلوث البيئي و يحول النفايات إلى مواد بناء مفيدة، هذا يدعم الاستدامة البيئية.

توفير الموارد الطبيعية: يقلل من الحاجة إلى الرمل و الحصى،مما يحافظ على الموارد الطبيعية و يقلل من التعدين (الحفر).

خفة الوزن: يجعل الملاط أخف وزنا بنسبة 10_20% مقارنة بالملاط التقليدي،مما يسهل النقل و التركيب.و يقلل من الحمل على الهياكل.

- **الفوائد الميكانيكية:**

زيادة المرونة و المقاومة للتشقق: يحسن مقاومة الملاط للتشققات الناتجة عن الجفاف أو الإهتزازات ، ويطيل عمر الهيكل.

تحسين العزل الحراري: يقلل من فقدان الحرارة في المباني.يقلل من تكاليف التدفئة والتبريد.

- **الفوائد الإقتصادية:**

تكلفة أقل: يكون أرخص في الإنتاج طويل الأمد بسبب استخدام مواد رخيصة و متوفرة ،مع تقليل الحاجة إلى مواد أولية باهظة.

سهولة التصنيع: يمكن إنتاجه باستخدام تقنيات بسيطة ،مما يجعله مناسبا للمشاريع الصغيرة أو في المناطق النائية. [14]

I-4-4- التطبيقات للملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية

- **أعمال البلاط و السيراميك(التلبيس):**

اللصق عالي القوة: مثالي لتركيب بلاط الأرضيات و الجدران خاصة البلاط كبير الحجم.

مقاومة الإنزلاق: يتميز بمرونة عالية تقلل من خطر تشقق الطبقة التحتية أو انفصال البلاط.

مناطق الرطوبة: يستخدم في الحمامات و المطابخ لقوة التصاقه العالية و مقاومته للماء و المواد الكيميائية.

- **إصلاح و ترميم الخرسانة :**

ترميم العناصر الإنشائية: لإصلاح الشقوق و التآكل في الأعمدة و العتبات و الكمرات الخرسانية.

طلاء و دهان وقائي: يستخدم كطبقة واقية مرنة للخرسانة لتحسين مقاومتها للعوامل الجوية و التآكل.

- **عزل الأسطح و الحوائط :**

الطبقات العازلة: يستخدم في تشكيل طبقات عازلة للماء على الأسطح و الشرفات و الحمامات و الخزانات.

مقاومة التسرب: مرونته و تماسكه يمنعان تسرب المياه حتى في وجود شقوق صغيرة.

- **أعمال الإنهاء و التشطيب:**

طبقات التسوية: لإنشاء طبقات نهائية متينة و مقاومة للإهتراء على الأرضيات الخرسانية.

ملاط الجدران: يستخدم في طبقات البياض حيث تكون هناك حاجة لمقاومة التشقق و تحسين الإلتصاق.

- **تطبيقات متخصصة:**

تثبيت العوازل الحرارية : غالبا ما يستخدم الملاط البوليمري في تركيب ألواح العزل الحراري على الواجهات.

اللصق و العزل في درجات الحرارة المنخفضة: تسمح بالعمل في ظروف باردة حيث يتصلب الملاط التقليدي ببطء.

إصلاح الهياكل القديمة: مثالي لترميم المباني التراثية.[15]

I-4-5- الاعتبارات للملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية

- **الإعتبارات التطبيقية :**

تحضير السطح: يبقى نظافتها و إزالة أي مواد ضعيفة شرطا أساسيا.

الخلط: يجب خلط المسحوق و الماء بنسبة دقيقة.

زمن الصلابة: تختلف أوقات التصلب و البدء بالتجفيف حسب المنتج و الظروف البيئية.

سمك الطبقة: يمكن استخدامه غالبا في طبقات أرق أو أكثر سمكا من الملاط التقليدي حسب المنتج.

التنظيف: حيث أن التصلب السر

يع قد يجعل التنظيف صعبا.

- **الإعتبارات الإقتصادية و التخطيطية**:

التكلفة: أعلى تكلفة بشكل ملحوظ من الملاط الأسمنتي التقليدي.

الجدوى الإقتصادية: التكلفة الأعلى تبرر نفسها في المشاريع التي تتطلب أداء مميزا.

التخطيط و الشراء: يجب حساب الكمية المطلوبة بدقة لتجنب الهدر بسبب السعر المرتفع.

- **الإعتبارات البيئية و السلامة:**

المحتوى البوليمري: يحتوي على مواد كيميائية صناعية، يجب اختيار منتجات من شركات ذات سمعة جيدة تحتوي على نسبة أقل من المركبات العضوية.

السلامة اثناء الإستخدام: ارتداء قفازات و نظارات الواقية و الكمامات لتجنب استنشاق الغبار أثناء الخلط.

التخلص من النفايات: يجب التخلص من الملاط المتصلب الفائض حسب القوانين المحلية ،و عدم إلقائه في مصارف المياه.

- **إختيارات النوع المناسب للمشروع:**

ملاط ذو مرونة عالية: للأسطح ذات الحركة النسبية أو تحت التسخين.

ملاط سريع التجفيف: للإصلاحات السريعة أو في المناطق ذات الحركة المرورية العادية.

ملاط للألواح الكبيرة و الثقيلة: مصمم خصيصا لمنع الإنزلاق العمودي (التزحلق).[16]

I-5-دراسة سابقة للملاط المدعم بالبلاستيك :[28]

الجدول (I-3): النتائج الرئيسية التي توصلت إليها الدراسة.

الخاصية	النتيجة الرئيسية
قابلية التشغيل	زادت بزيادة نسبة البلاستيك، حيث تحسنت بنسبة تتراوح بين 15.88% إلى 70% مقارنة بالملاط المرجعي.
الكتلة الحجمية	إنخفضت بنسبة 7.45% إلى 22.8% مع زيادة البلاستيك
مقاومة الضغط	انخفضت بزيادة نسبة البلاستيك (انخفاض بنسبة 22%عند 10% بلاستيك،و37% عند 40% بلاستيك.
مقاومة الانحناء	انخفضت أيضا بزيادة البلاستيك (من 7.9 MPa في المرجعي إلى 4.37 MPa عند 40% بلاستيك لعمر 28 يوما)
المسامية	زادت من 8.04% (مرجعي) إلى 12.03% (عند 40% بلاستيك).
إمتصاص الماء	انخفض بنسبة 2.55% إلى 11.48% مع زيادة البلاستيك
معامل الامتصاص الشعيري	انخفض بشكل كبير (66% عند 10% بلاستيك، و62% عند 40% بلاستيك).

-الاستنتاج العام الذي خرجت به الدراسة:

- يمكن استخدام نفايات الاكياس البلاستيكية كركام ناعم في إنتاج ملاط إسمنتي خفيف الوزن.
- الإضافة تؤدي إلى تحسين قابلية التشغيل و خفض امتصاص الماء، ولكن على حساب انخفاض المقاومة الميكانيكية (الضغط و الإنحناء).
- المواد البلاستيكية تعطي المزيد من اللدونة للملاط ، مما يجعل كسر العينات صعبا أثناء اختبار الإنحناء.

I-6-خاتمة

من خلال ما تم تناوله في هذا الفصل ، يتضح أن الملاط ليس مجرد مادة رابطة ، بل هو نظام متكامل تتحكم جودته خصائص مكوناته و نسب خلطها . كما تبين أن إضافة النشارة البلاستيكية المعاد تدويرها إلى الملاط يمكن أن يحقق تحسينات ملحوظة في خصائصه الفيزيائية و الميكانيكية ، مثل تقليل الوزن ، و زيادة المرونة ، وتحسين العزل الحراري ، إضافة إلى العائد البيئي المتمثل في تقليل النفايات البلاستيكية. ومع ذلك ، فإن نجاح تطبيق هذا النوع من الملاط يعتمد على مراعاة عدة اعتبارات تطبيقية و اقتصادية و سلامة لضمان الأداء الأمثل للمنشآت . وبالتالي يعد الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية خيارا واعدا في مجالات البناء الحديث و الترميم ، خاصة في التطبيقات التي تتطلب خفة الوزن و مقاومة التشققات و العزل الحراري .

الفصل الثاني :

خصائص المواد المستعملة

II-1-مقدمة

يعد تحديد خصائص المواد المستخدمة في تكوين الملاط أمرا بالغ الاهمية بالنسبة لخصائصها وأدائها اللاحق، حيث تتأثر الخصائص الاساسية للملاط إلى حد كبير بصفات مكوناتها. وبناء على ذلك، تتم توحيد طرق الاختبار والتعريف لمكونات الملاط وفقا للموصفات القياسية المعمول بها. في هذا الفصل نعرض مختلف المواد التي سيتم استخدامها في تحضير الملاط قيد الدراسة، بالإضافة إلى الاختبارات التي ستجرى وفقا للموصفات الفرنسية و الإجراءات التشغيلية المعتمدة.

II-2- خصائص المواد المستعملة

II-2-1 الرمل

يعد استخدام رمل عالي الجودة أمرا أساسيا لنجاح خلطات الملاط. فالرمل عالي الجودة يضمن سهولة التشغيل، والقوة، والتماسك الأمثل للملاط، مع تقليل مشاكل مثل الانكماش، و التشقق و التلف.[17] ولتحقيق ذلك،تستخدم أساليب اختبار الرمل الدقيقة لقياس خصائصه المهمة، والتي تؤثر بدورها على أداء الخرسانة والملاط ومواد البناء الاخرى و الرمل المستعمل في دراستنا رمل البناء من منطقة جامعة نظرا لجودته.

تم القيام بإجراء مجموعة من التجارب على الرمل لمعرفة خصائصه التي تتمثل في:

II-2-1-1 تجربة مكافئ الرمل:

تهدف تجربة المكافئ الرملي إلى تعيين نقاوة الرمل و معرفة نسبة الشوائب فيه لتحديد مجالات إستعماله في الملاط ، تبدأ التجربة بغربلة الرمل بغربال 5مم، ثم أخذ ثلاث عينات وزن كل منها 120 غ، توضع العينات تباعا في أنابيب فيها الماء، وترج بعد ذلك على فترات، بعد غسل الرمل وتركه لمدة 20 دقيقة، يقاس إرتفاع الرمل النقي و الرمل مع الشوائب.

حيث يمثل كل من:

H1: ارتفاع الرمل الصافي .

H2: ارتفاع الكلي للرمل بالشوائب.

يعطى المكافئ الرملي بالعلاقة التالية: **ES=H1/H2**

وبعد إجراء التجارب تم الحصول على النتائج التالية:

الجدول (II-1) : نتائج تجربة مكافئ الرمل.

	التجربة 1	التجربة 2	التجربة 3	نوعية الرمل
H1	10.5	11.3	10.6	Es>80 رمل نظيف جدا
H2	9	9.3	9.3	
Es (%)	(H2/H1)*100= 85.71	(H2/H1)*100 = 82.30	(H2/H1)*100= 87.74	
معدل Esv	(1+2+3)/3=85.25			



الصورة (II-1): تجربة مكافئ الرمل .

II-2-1-2-تجربة التحليل الحبيبي :(Analyse granulométrique).

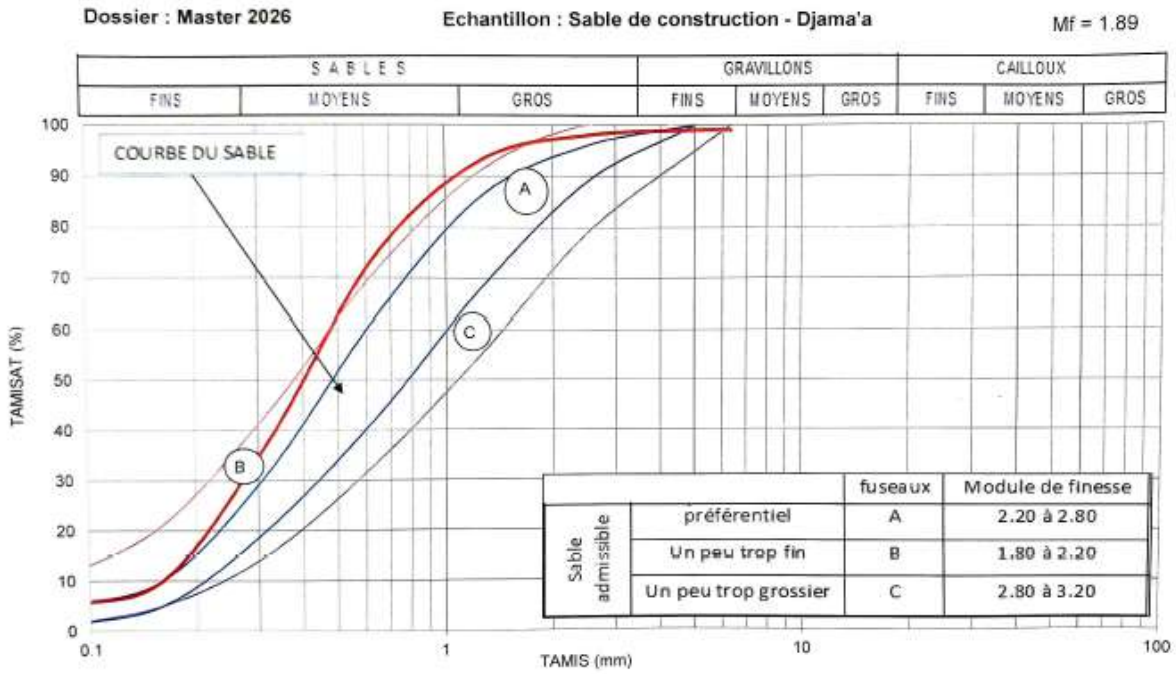
تهدف تجربة التحليل الحبيبي إلى تصنيف وتوزيع حبيبات الرمل حسب أبعادها، وذلك بفصلها إلى فئات مختلفة باستخدام مناخل ذات أقطار متدرجة، تبدأ الخطوات بتحضير عينة رمل وزنها 1200 غ، ثم إدخالها إلى الفرن لمدة 24 ساعة، حيث يصبح وزنها بعد التجفيف 1150 غ، بعد ذلك توضع العينة في جهاز الهزاز الذي يمررها عبر مناخل مرتبة تنازليا من الأكبر(6.3 مم) إلى الأصغر (0.08 مم)، ثم يوزن الرمل المتبقي على كل منخل لتحديد نسب كل فئة حبيبية.



الصورة (II-2): تجربة التحليل الحبيبي.

بعد القيام بتجربة التحليل الحبيبي تم الحصول على النتائج التالية:

الجدول (II-2): نتائج تجربة التحليل الحبيبي.



II-2-1-3-معامل النعومة: (Module de finesse).

يعد معامل النعومة أحد المؤشرات الأساسية في تصنيف درجة نعومة أو خشونة الرمل وفقا للمعيار NF P 18-304، حيث يستخدم في تصميم الخلطات الخرسانية، يحسب المعامل بجمع النسب المئوية المتبقية على المناخل (من 0.16 مم إلى 6.3 مم) باستثناء منخل 0.08 مم، ثم قسمة المجموع على 100.

بناء على القيمة الناتجة، يصنف الرمل إلى ثلاثة مجالات:

المجال B: رمل ناعم (1.8 - 2.2).

المجال A: رمل متوسط (2.2 - 2.8).

المجال C : رمل خشن (2.8-3.2).

$$\mathbf{M_f = \frac{\sum Ri}{100} = 1.90}$$

بما أن قيمة معامل نعومة لرمل مدينة جامعة والتي تساوي 1.90 وتنتمي إلى المجال B وهذا يشير إلى أن هذا رمل في الغالب ناعم الحبيبات.

II-2-1-4-تجربة الكتلة الحجمية:

تهدف تجربة الكتلة الحجمية إلى تحديد كثافة الرمل، وهي ناتج قسمة كتلة جزيئات الرمل (m) على حجمها (v): $\rho = \frac{m}{v}$، ونعبر عنها ب g/cm^3

وتنقسم إلى قسمين:

- **الكتلة الحجمية المطلقة:**

تهدف هذه التجربة إلى تحديد الكتلة الحجمية للركام، دون احتساب الفراغات بين الحبيبات. ويتم ذلك بوزن 400غ من الرمل الجاف (P_1)، ثم وزن قارورة زجاجية مملوءة بالماء (P_2=1182)، ثم وزن القارورة بالرمل و الماء بعد إزالة فقاعات الهواء (P_3=1430.5).

يحسب حجم الرمل بالعلاقة:

$$V= P_1+P_2–P_3 = 400+1182–1430$$

$$V=151,5\ cm^3$$

فتصبح الكثافة:

$$\rho = \frac{400}{151.5} = 2,64 \ g/cm^3$$



الصورة(II-3): تجربة الكتلة الحجمية المطلقة.

•الكتلة الحجمية الظاهرية:

تهدف هذه التجربة إلى تحديد الكتلة الحجمية للركام، مع الأخذ بعين الإعتبار الفراغات الموجود بين الحبيبات.

ويتم ذلك بملء إناء حجمه 1000سم^3 بالرمل و وزنه، حيث كان متوسط وزن الرمل بعد ثلاث تجارب 1590.6غ.

فتصبح الكثافة:

$$\rho = \frac{1590.6}{1000} = 1,5906 \ g/cm^3$$



الصورة(II-4): تجربة الكتلة الحجمية الظاهرية.

II-2-2-الماء

يمثل ماء الخلط أحد العناصر الهامة والأساسية في الخرسانة.

يؤخذ ماء الخلط في العادة على هيئة نسبة بين الماء و الإسمنت (E/C)، لذا فإن كمية الماء اللازمة للتفاعل الكيميائي مع الإسمنت تتراوح بين 0.25 إلى 0.30 من وزن الإسمنت.

يجب أن يكون الماء المستعمل في إنتاج الخرسانة نظيفا، وخاليا من المواد الضارة مثل الزيوت و الأحماض والقلويات والمواد العضوية. ويعتبر الماء الصالح للشرب (الذي لاطعم له ولا رائحة ولا لون) مناسبا لخلط الخرسانة، وفي حالة عدم توفره يمكن استعمال ماء لا يتعدى محتوى الأملاح فيه. [5].

•التركيب الكيميائي للماء المستعمل:

الجدول (II-3): التركيبة الكيميائية للماء المستعمل. [21].

PH	HCO_3^-	SO_4^{--}	NH_3	Cl^-	Na^+	K^+	Mg^{++}	Ca^+
6.66	159.24	1156	/	585.59	200	30	26.4	**292.58**

II-2-3-خصائص الاسمنت

II-2-3-1-الإسمنت

الإسمنت رابط مائي ضروري مصنع غير عضوي له خاصة التفاعل مع الماء وتكوين عجينة لدنة قادرة عند تصلبها على ربط الرمل والحصى والحجارة التي تخلط بها، وبذلك يتشكل الملاط والخرسانة المقاومان لتأثير العوامل الطبيعية والماء تأثيرا مديدا. يعد الإسمنت من أهم مواد البناء ويرجع تصلبه إلى

التفاعلات الكيماوية القائمة على تمييه سيليكيات الكالسيوم وألومينياته وكبريتاته التي يتركب منها. وأنواعه كثيرة وأشهرها وأكثرها انتشارا «الإسمنت البرتلندي» [22].

الإسمنت المستعمل هو من نوع CRS CEM II/A-L 42.5R متواجد في السوق المحلي.

II-2-3-2- الخصائص التقنية

الجدول (II-4): البطاقة التقنية للإسمنت المستعمل. [23]

التحاليل الكيميائية (%)	القيمة
خسارة بالإشتعال	8 –6
محتوى الكبريت (OS3)	2.9 –2.5
محتوى أكسيد المغنيزيوم (MgO)	< 3.5
محتوى الكلوريد (CL^-)	<0.08
بقايا غير قابلة للذوبان	NA

التركيب المحتمل للكلنكر (%) (وفقا لبوغ)	القيمة
C3S	65 – 60
C3A	10 –6

الخصائص الفيزيائية	القيمة
الإتساق الطبيعي (%)	26 –25.4
التمدد الساخن (مم)	< 1

زمن التماسك	القيمة
بداية التماسك	150 min
نهاية التماسك	260 min

مقاومة الضغط	القيمة
يومان (MPa)	26 –23
28 يوم (MPa)	50 –45

II-2-4-نشارة البلاستيك (أنابيب البولي إيثيلين PEHD)

تعد نشارة البلاستيك من نوع البولي إيثيلين PEHD عالي الكثافة مادة واعدة عند إعادة تدويرها و استخدامها كركام خفيف الوزن أو مادة مضافة في الملاط، و تتميز بخصائص فريدة منها: [25]

- **الكثافة:** حوالي 0.941 – 0.965 جم/سم^3 .
- **قوة الشد:** يتراوح من 20 إلى 37 ميجا باسكال.
- **مقاومة كيميائية:** مقاومة للعديد من الأحماض و الكحوليات و القواعد.
- **تأثير المقاومة:** مقاومة عالية للصدمات و التآكل. [26].

II-3-خاتمة:

في هذا الفصل تمت دراسة الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية للملاط و المراحل المختلفة للعمليات التجريبية يمكن استخلاص ما يلي :

- رمل الذي قمنا بإستعماله هو رمل منطقة جامعة وتم الحصول على نتائج مقبولة.
- الإسمنت الذي قمنا باستعماله هو إسمنت بسكرية لخرسانة عالية الاداء.
- الماء المستعمل صالح للشرب من حنفية مخبر الهندسة المدنية بالجامعة.
- نشارة البلاستيك المستعملة من نوع أنابيب الغير قابلة للاستعمال.

الفصل الثالث :

تركيبة الملاط العادي و الملاط المدعم

III-1-مقدمة

إن اختيار المواد الداخلة في تركيب الملاط و معرفة كل خصائصها مرحلة مهمة و هو ما تطرقنا اليه في الفصل السابق، و بعدها نبحث في هذا الفصل على نسبة تركيز كل مركب من المركبات المستعملة في الخلطة و ذلك من اجل تحديد التركيبة المثلى للملاط ذات التشغيلية المقبولة و المقاومة العالية.

اذ تعتبر عملية التحسين بالنشارة للملاط مرحلة مهمة و ضرورية في علم هندسة المواد و لا تقتصر العملية على اضافة نسبة من النشارة فقط بل يجب مراعاة العوامل الاخرى من اهمها التشغيلة،اذ ان اضافة هذه المادة الى الملاط يحدث في التدرج الحبيبي العام للرمل و بالتالي تأثير على التشغيلية

III-2-تجربة التشغيلية

كما سبق الذكر أن تركيبة الملاط المرجعي(الشاهد)وخاصية التشغيلية،بوصفهما عنصرين أساسيين في تقييم جودة الخلطات الإسمنتية،إذ يتكون الملاط أساسا من الإسمنت و الرمل و الماء،مع تحديد نسبة الماء اعتمادا على اختبار التشغيلية باستخدام جهاز **Maniabilimétre B** و ذلك بهدف الحصول على ملاط مرن و مناسب للاستعمال.

كما يؤكد أن التشغيلية تعد من أهم خصائص الملاط لأنها تسهل صبه ووضعه في القوالب و تقلل من التشوهات الناتجة عن الصب.

III-2-1-الهدف من هذه التجربة

تهدف هذه التجربة لقياس الوقت اللازم لسيلان كمية الماء من الملاط ثم الإستبدال بهذا الزمن على نوعية الملاط ثم الحكم على التشغيلية ومن ثم تحديد نسبة الماء المناسبة للتشغيلية المقبولة اذ ان

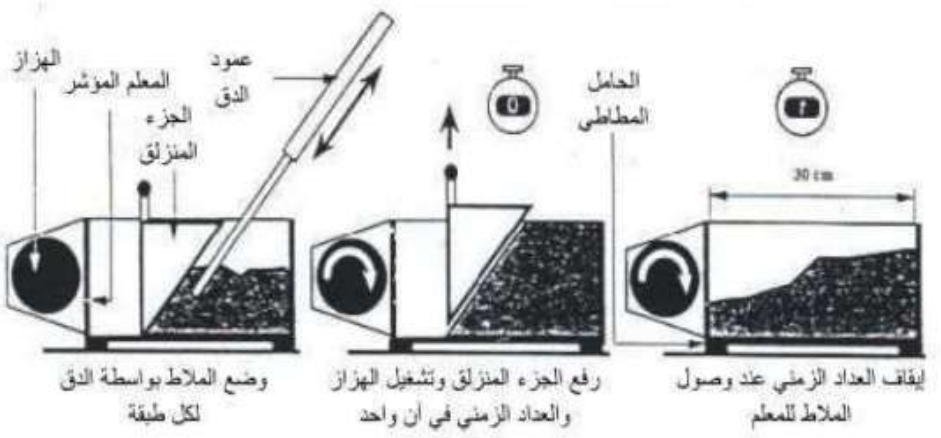
الملاط الطازج يصنف حسب التشغيلية إلى أربعة أصناف (موضحة في الجدول) :

الجدول (III-1) : أصناف الملاط حسب التشغيلية.

صنف الملاط حسب التشغيلية	المدة بالثانية
ملاط الجاف	40
ملاط مرن	$20 < t \leq 30$
ملاط مرن جدا	$10 \leq t \leq 20$
ملاط مائع	$t \leq 10$

III-2-2-الجهاز المستعمل في التجربة

و يسمى الجهاز ب Maniabilimétre B كما ذكرنا سابقا و هو موضح في الصورة ، حيث يتكون من علبة متوازية الأضلاع ذات الأبعاد (30*15*15) سم موضوعة على حوامل من المطاط ، وهو مجهز بهزاز و جزء منزلق يعطي إشارة انطلاق الهز عند سحبه



الصورة (III-1) : الجهاز الخاص بتجربة قابلية التشغيل.

III-2-3--مراحل التجربة

_تحضير خلطة الملاط حسب التركيبة المقترحة اعلاه.

_ملئ الحوض بالملاط لأربعة طبقات و القيام بعملية الدق بين كل طبقة و طبقة .

_سحب القطعة الحديدية مع تشغيل العداد الزمني في نفس لحظة السحب لتبدأ عملية الاهتزاز مما يسمح بسيلان الملاط.

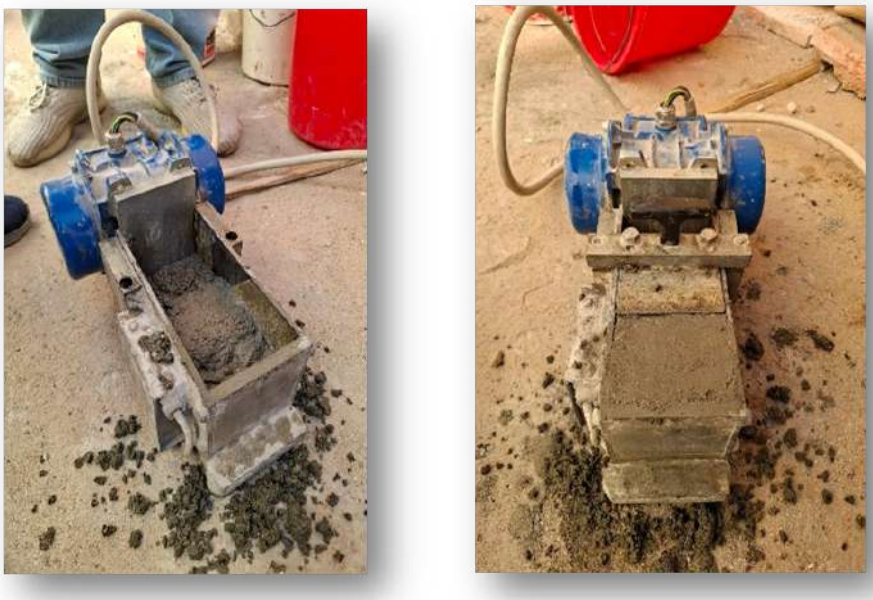
_القيام بقياس زمن وصول الملاط للخط المرجعي الموجود بالجهاز.

يوضح الجول التالي النتائج المتحصل عليها بعد إجراء تجربة التشغيلية على الملاط المرجعي (الشاهد).

جدول (III-2): تركيبة الملاط المرجعي (الشاهد).

E/C	الزمن (s)	الإسمنت(g)	الرمل(g)	الماء (ml)
0.504	**16**	**450**	**1350**	227
0.50	**22**	**450**	**1350**	225
0.44	**45**	**450**	**1350**	200

اذن و بعد اجراء تجربة التشغيلية تم تحديد نسبة الماء ب **E/C=0.50** .



الصورة (III-2): تجربة التشغيلية.

III-3-تحديد تركيبة الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية

استعملنا نشارة البلاستيكية بنسبة من الخلطة،حيث ننقص كتلة النشارة البلاستيكية من الرمل المستعمل لأنها تدخل ضمن حبيبات اي تعوض الرمل المستعمل.

ملاحظة : استعملنا الرموز التالية في هذه الدراسة.

MT : هو الملاط الإسمنتي المرجعي و الذي لا يحتوي على النشارة البلاستيكية.

MP1% : هو الملاط الإسمنتي الذي يحتوي على النشارة البلاستيكية بنسبة 1%.

MP2% : هو الملاط الإسمنتي الذي يحتوي على النشارة البلاستيكية بنسبة 2%.

MP3%: هو الملاط الإسمنتي الذي يحتوي على النشارة البلاستيكية بنسبة 3%.

الجدول التالي يحوي على جميع التركيبات المستعملة في تحضير الملاط :

الجدول(III-3): المركبات المستعملة في تحضير الملاط.

نوع الملاط	الرمل	النشارة البلاستيكية	الإسمنت	الماء
ملاط المرجعي	1350	0	450	225
ملاط مدعم بنشارة البلاستيك	1330	21	450	248
ملاط مدعم بنشارة البلاستيك	1310	41	450	290
ملاط مدعم بنشارة البلاستيك	1290	61	450	300

III-4- تحضير العينات

لتحضير العينات اللازمة تم استعمال القوالب ذات الأبعاد (4×4×16سم) و هذا بعد الحصول على التركيبة المثلى للملاط المرجعي و المدعم بالنشارة البلاستيكية حيث قمنا بتحضيرخلطة الملاط بالخلاط الكهربائي ثم صب العينات، حيث كانت طريقة تحضير الخلطة كتالي :

- **بالنسبة للملاط المرجعي :**

_وزن المواد الداخلة في التركيبة بدقة.

_خلط الرمل (دقيقة)، ثم الإسمنت (دقيقتان)،ثم الماء تدريجيا.

_ملء القوالب على طبقتين مع هز كل طبقة (30هزة).

_نزع القوالب بعد 24 ساعة من البقاء في الهواء.

_6 عينات لكل عمر (7،14،21،28 يوما).

- **بالنسبة للملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية :**

_خلط الرمل و النشارة البلاستيكية(دقيقتان)،ثم الإسمنت(دقيقتان).

_إضافة الماء تدريجيا و الخلط (دقيقتان).

_ ملء القوالب تكون عبر طبقتين مع الهز كما فعلنا سابقا.



تحضير المكونات



مزج المكونات



ملئ القوالب و وضعها في الهزاز



ترك العينات تجف لمدة 24 ساعة



نزع العينات وتركها تتصلب في الماء



تركها تتصلب في الهواء

الصورة (III-3) : تحضير العينات

III-5-خلاصة

ركز هذا الفصل على الجانب التجريبي لضبط التركيبة المثلى للملاط المرجعي و دراسة سلوك الملاط المضاف إليه النشارة البلاستيكية، و تتلخص أهم النتائج فيما يلي :

- **تحديد التركيبة المثلى للملاط المرجعي (الشاهد):**

_تم تحديد التركيبة الأساسية للملاط بنسبة جزء واحد من الإسمنت إلى ثلاثة أجزاء من الرمل.

و معامل مائي ($\mathbf{0.5\frac{E}{C}}$) لتحقيق ملاط مرن و سهل الصب.

- **تأثير النشارة البلاستيكية في الخليط :**

_ تمت دراسة تأثير إضافة النشارة البلاستيكية كبديل جزئي للرمل لتعزيز الملاط.

_شملت الدراسة أربع تركيبات مختلفة: .**(Mp-1%،Mp-2%،Mp-3%.MT)**

_لوحظت علاقة طردية مع زيادة نسبة النشارة، تم رفع كمية الماء المضافة للحفاظ على مستوى التشغيلية المطلوب (من 225 مل للمرجعي وصولا إلى 300 مل).

- **أهمية خاصية التشغيلية :**

_تعتبر التشغيلية خاصية حيوية لأنها تسهل عملية وضع الملاط في القوالب و تمنع التشوهات الناتجة عن الصب، مما يوفر الوقت و الجهد.

_تعتمد جودة الملاط على الزمن اللازم لسيلانه وصولا إلى الخط المرجعي في جهاز القياس.

- **منهجية تحضير العينات :**

_استخدمت قوالب بأبعاد (16*4*4 سم) لتحصير العينات.

_تم ملء القوالب على طبقتين مع استخدام الهزاز (بمعدل 30 هزة لكل طبقة) لضمان التراص الجيد و طرد الفقاعات الهوائية.

_حددت فترات زمنية لاختبار مقاومة العينات بعد صبها وهي : 7،14،21،28 يوما .

و في الاخير نستخلص ان هذا الفصل ركز على الجانب التجريبي لإيجاد التوازن الدقيق بين نسب المكونات (إسمنت،رمل،ماء،نشارة بلاستيكية) لضمان الحصول على الملاط يجمع بين سهولة التشغيل و المقاومة العالية.

الفصل الرابع :

دراسة الخصائص الميكانيكية للملاط البلاستيكية

IV-1-مقدمة

بعد دراسة المواد المستعملة في تحضير الملاط و تحديد خصائصها الفيزيائية و الكيميائية، ثم ضبط التركيبات المختلفة للملاط المرجعي و الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية، تأتي مرحلة تقييم السلوك الميكانيكي لهذه الخلطات بإعتبارها المرحلة الحاسمة للحكم على مدى صلاحية هذا النوع من الملاط للاستعمال في مجال البنائي. و تتمثل أهمية هذا الفصل في دراسة تطور مقاومة الضغط لمختلف الخلطات المحضرة، و المتمثلة في الملاط المرجعي MT، و الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية بنسب 1%و 2%و 3%، و ذلك عند أعمار 7 و14 و21 و28 يوم. كما قمنا بتجربة الانحناء و الضغط في مخبر الهندسة المدنية و الري .

IV-2-تجارب على العينات

IV-2-1-اختبار الكتلة الحجمية

يتم تحديد الكتلة الحجمية من خلال وزن عينات ذات الأبعاد (4*4*16) سم^3 و تعطى ب غ/سم^3 .



الصورة(IV-1): توضح وزن عينات.

الجدول (IV-1): يوضح قيم الكتل الحجمية للملاط في 28 يوم.

	MT	MP1%	MP2%	MP3%
هواء الطلق	2.07	2.06	1.99	1.80
الماء	2.19	2.18	2.11	2.07

- يتضح من نتائج الجدول الخاص بقيم الكتلة الحجمية للملاط بعمر 28 يوما أن ظروف المعالجة كان لها تأثير واضح في القيم المسجلة، إذا حققت جميع النماذج المعالجة بالماء قيما أعلى مقارنة بالنماذج المعالجة في الهواء الطلق. وقد سجلت العينة المرجعية MT أعلى قيمة للكتلة الحجمية في حين أظهرت عينة MP3% أدنى القيم، و تسير هذه النتائج إلى أن المعالجة المائية تساهم في تحسين الكتلة الحجمية للملاط، كما توضح أن زيادة نسبة الإضافة ترتبط بإنخفاض تدريجي في الكتلة الحجمية مقارنة بالعينة المرجعية، وهو ما قد يعكس تأثير هذه الإضافة في البنية الداخلية و كثافة المادة.

2-IV-2- اختبار مقاومة الانحناء

أنجز اختبار مقاومة الانحناء على العينات الموشورية وفق المبدأ المعتمد في معيار EN 196-1 والذي يحدد طريقة قياس مقاومة الانحناء و الضغط للملاط باستعمال عينات موشورية بأبعاد (4*4*16) سم^3 و البعد بين المسندين 12 سم كما يتم تنفيذ هذه العملية بواسطة آلة الانحناء، المزودة بمسندين متحركين من الاسفل تستند عليهما العينة ويتم هذا الاختبار بتسليط حمل مركزي تدريجي على العينة إلى غاية الكسر، ومن خلال قيمة الحمل الأعظمي التي تم قراءتها من الجهاز ومنه يتم حساب مقاومة الانحناء. و كما قمنا بتجربة الانحناء و الضغط في مخبر الهندسة المدنية والري بالجامعة، حيث تمت التجارب على أربع مركبات من الملاط محفوظة في وسطين مختلفين وذلك لاختيار أفضل النتائج من بينها.

AL : يرمز لعينات الملاط المحفوظ في هواء الطلق.

E : يرمز لعينات الملاط المحفوظة في الماء.

التجربة تجرى بواسطة آلة التحطيم الخاصة بتجربة الانحناء لعينة من الملاط ذات أبعاد (4*4*16) سم^3

وتحسب مقاومة الانحناء بالعلاقة التالية:

$$R_f = \frac{l \times 1{,}5 \times F_f}{b^3}$$

حيث:

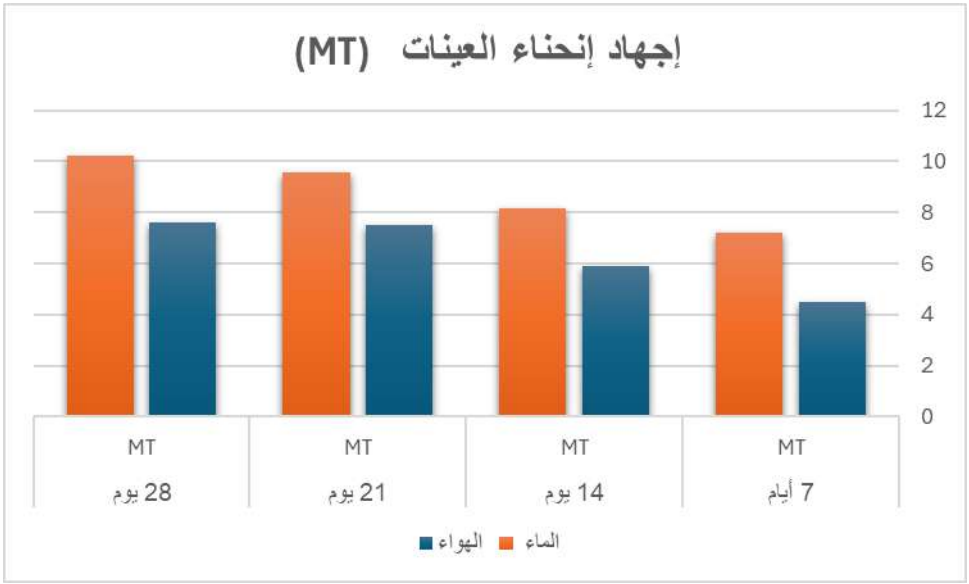
- R_f: مقاومة الانحناء (MPa).
- F_f: قوة التحطيم (N).
- l: المسافة بين المساند (mm).
- b: ضلع المقطع المربع للعينة (mm).



الصورة (IV-2): تجربة الانحناء.

1-IV-2-2-تحليل و مناقشة نتائج الإنحناء للعينات

الشكل (IV-1) : نتائج إجهاد تجربة الإنحناء للملاط المرجعي (MT) .



تحليل السلوك :

_تأثير نوع الوسط البيئي (الماء ضد الهواء):

تفوق مستمر وملحوظ للعينات المحفوظة في الماء على العينات المحفوظة في الهواء في جميع الفترات الزمنية دون استثناء.

عند 28يوماً، سجلت عينات الماء أعلى قيمة إجهاد انحناء (10.2)، بينما سجلت عينات الهواء بقيمة أقل بكثير (7.6)

هذا يدل على أن وجود المادة في بيئة مائية (أو معالجتها بالماء) يساهم بشكل فعال في زيادة متانتها ومقاومتها لإجهاد الانحناء مقارنة بتركها في الهواء الجاف.

_تأثير العامل الزمني (النمو والتطور):

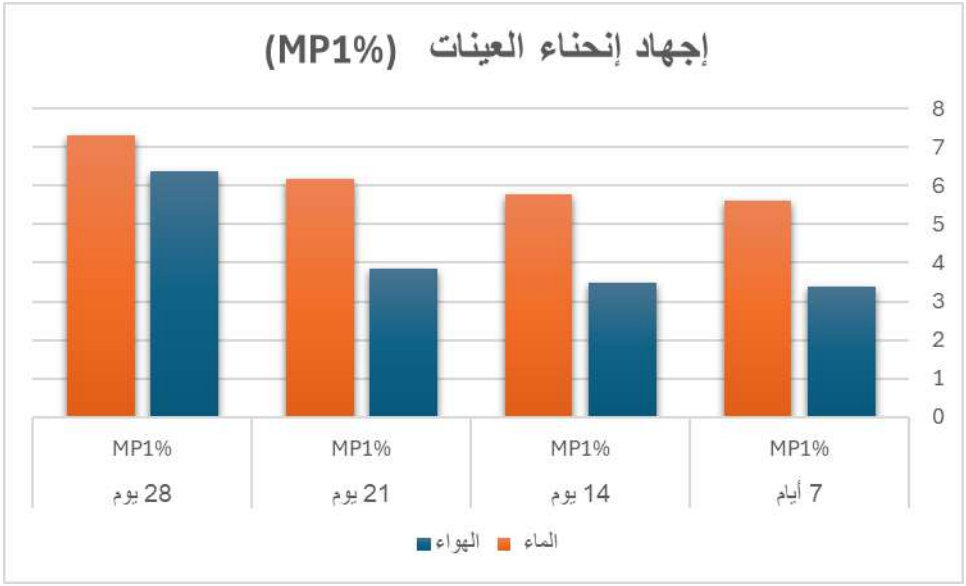
العينات في الماء : تظهر الأعمدة صعود ثابت و مستقر بمرور الوقت،حيث يرتفع الإجهاد من 7.2(عند 7 أيام) ليصل إلى ذروته 10.2 (عند 28 يوما).

العينات في الهواء : تظهر أيضا تحسنا مع الوقت ،حيث ترتفع من 4.5 (عند 7 أيام) إلى 7.5 (عند 21 يوما)،لكنها تصل إلى مرحلة الإستقرار أو الثبات الصغير جدا بين اليوم 21 و اليوم 28 (ارتفاع طفيف جدا من 7.5 إلى 7.6).

الإستنتاج :

تكتسب العينات (MT) مقاومة أعلى لإجهاد الإنحناء بمرور الوقت بشكل عام.ومع ذلك ، فإن الوسط المائي يوفر بيئة مثالية تمنح المادة صلابة و مقاومة أكبر بنسبة تتراوح بين 25% إلى 60% مقارنة بالوسط الهوائي ، كما أن عملية تحسن الخواص الميكانيكية تستمر لفترة أطول في الماء بينما تبدأ في التباطؤ أو الثبات المبكر في الهواء بعد الأسبوع الثالث.

الشكل (IV-2) : نتائج إجهاد تجربة الإنحناء للملاط (MP1%) .



تحليل السلوك :

تأثير نوع الوسط البيئي (الماء ضد الهواء):

تفوق مستمر للماء: تُظهر العينات المحفوظة في الماء متانة ومقاومة أعلى لإجهاد الانحناء في جميع الفترات الزمنية مقارنة بالهواء.

سلوك الفارق البيئي: يظل الفارق كبيراً وثابتاً تقريباً لصالح الماء خلال الأسابيع الثلاثة الأولى (بفارق يتراوح بين 2.2 إلى 2.4). ولكن عند اليوم 28، يتقلص هذا الفارق بشكل ملحوظ ليصل إلى (0.9) نتيجة القفزة الكبيرة التي حققتها عينات الهواء.

تأثير العامل الزمني وتطور المقاومة:

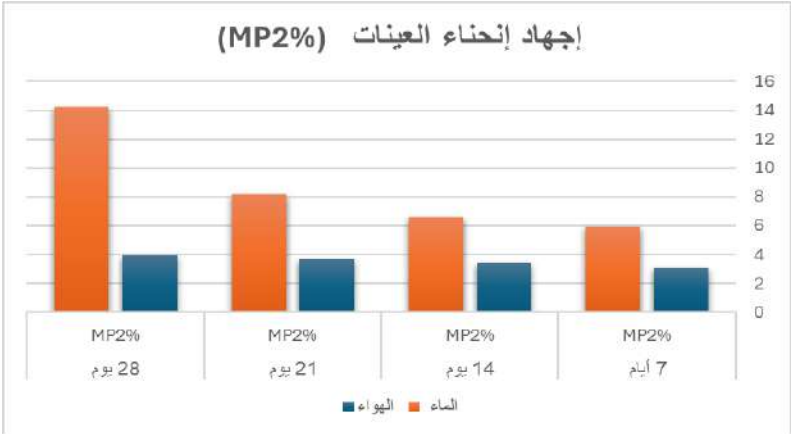
العينات في الماء: تسير وفق نمو تدريجي بطيء في البداية؛ حيث ترتفع المقاومة طفيفاً من 5.6 (عند 7 أيام) إلى 6.2 (عند 21 يوماً)، تليها قفزة نمو واضحة في الأسبوع الأخير لتصل إلى ذروتها عند 7.3 (عند 28 يوماً).

العينات في الهواء: تدخل في مرحلة ثبات شبه تام بين اليوم 7 واليوم 14 (حيث استقرت المقاومة حول 3.4 - 3.5)، تليها زيادة طفيفة عند اليوم 21، ثم طفرة مفاجئة وكبيرة جداً عند اليوم 28 لتصل إلى 6.4.

الإستنتاج :

إضافة نسبة (MP1%) جعلت المادة تحتاج إلى فترة حضانة أطول (حوالي 21 يوماً) لإظهار قفزة ميكانيكية حقيقية في مقاومة الانحناء، سواء في الماء أو الهواء. وظل الوسط المائي هو الأفضل والأكثر استقراراً لمنح العينات صلابة مبكرة ومستمرة، في حين أن عينات الهواء تأخرت استجابتها بشكل واضح ولم تحقق نمواً ملموساً إلا بعد مرور 28 يوماً.

الشكل (IV-3) : نتائج إجهاد تجربة الإنحناء للملاط (MP2%) .



تحليل السلوك :

تأثير نوع الوسط البيئي (الماء ضد الهواء):

تفوق ساحق و غير مسبوق للماء : تظهر العينات المحفوظة في الماء تفوقا هائلا على عينات الهواء.

اتساع فجوة بمرور الوقت : الفارق بين الوسطين يبدأ ب 2.7 عن اليوم السابع ، و يتسع تدريجيا ليصل إلى فجوة ضخمة جدا عند اليوم 28 بفارق يقدر 10.2 درجات لصالح الماء.هذا يعني أن تأثير الوسط المائي تضاعف بشكل حاد مع زيادة نسبة الإضافة على 2%.

تأثير العامل الزمني و تطور المقاومة :

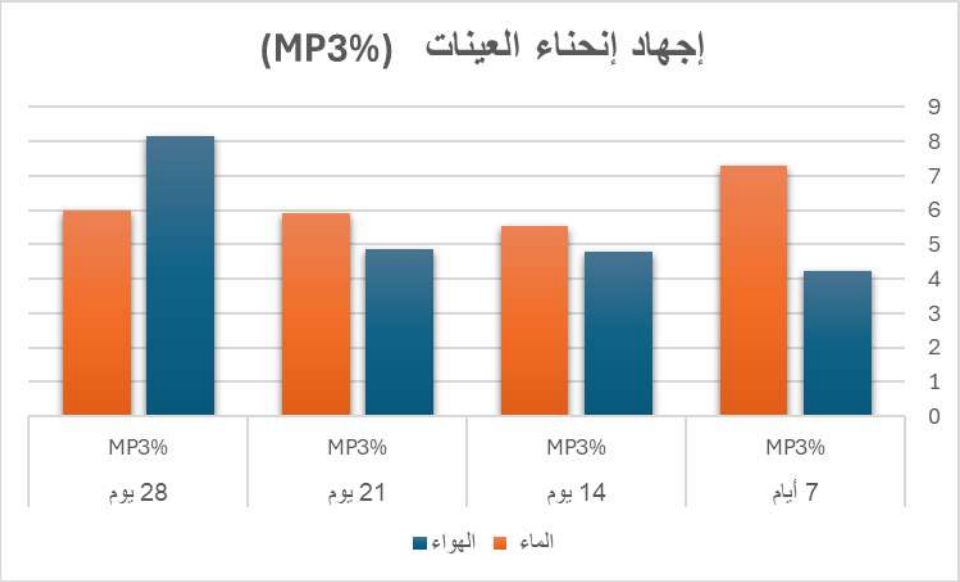
العينات في الماء : تسير المقاومة في نمو تصاعدي مستمر و متسارع.يبدأ من 5.8 عند اليوم السابع ثم يرتفع إلى 8.1 عند اليوم 21 ، لينفجر حرفيا في الأسبوع الأخير محققا قفزة هائلة تصل إلى 14.2 عند اليوم 28.

العينات في الهواء : على العكس تماما ، تعاني العينات في الهواء من حالة ركود حاد و ثبات شبه تام ، حيث بقيت القيم ضعيفة جدا و محصورة بين (3.1 و 4) طوال ال28 يوما دون أي طفرة.

الإستنتاج :

تظهر هذه النتائج أن إضافة نسبة (MP2%) أحدثت استجابة ميكانيكية قوية جدا مشروطة بالكامل بوجود الماء. الوسط المائي حفز التفاعلات الداخلية للمادة بشكل ممتاز، مما أدى إلى تضاعف مقاومة الإنحناء لتصل إلى أعلى مستوياتها مقارنة بالمنحنيات السابقة (MTوMP1%)في المقابل ، تبين أن الهواء الجاف يحرم هذه الإضافة (2%) من الرطوبة اللزمة للتفاعل ، مما جعلها تفقد فاعليتها و تظل في أدنى مستويات إجهاد الإنحناء طوال فترة الإختبار.

الشكل (IV-4) : نتائج إجهاد تجربة الإنحناء للملاط (MP3%).



تحليل السلوك :

تأثير نوع الوسط البيئي (الماء ضد الهواء):

في الأيام الأولى (7 إلى 21 يوما): استمر الوسط المائي في تفوقه المعتاد على الهواء، حيث بدأ بفارق كبير عند اليوم السابع (7.3 مقابل 4.3).

في اليوم 28(نقطت انقلاب): حدثت مفاجأة في المنحنى الميكانيكي، حيث تفوق الهواء بشكل ملحوظ على الماء لأول مرة في هذه السلسة من التجارب، مسجلا قيمة 8.2 بينما تراجعت عينات الماء و استقرت عند 6.

تأثير العامل الزمني و تطور المقاومة :

العينات في الماء : على عكس كل الحالات السابقة (MT.MP1%.MP2%)، عانت العينات في الماء هنا من تراجع حاد في المقاومة، حيث بدأت قوية جدا عند اليوم السابع (7.3) ثم انخفضت بشكل حاد عند اليوم 14(5.6) وظلت شبه مستقرة حول قيمة 6 حتى اليوم 28.

العينات في الهواء : أظهرت العينات في الهواء سلوكا إيجابيا و مستقرا، حيث ارتفعت تدريجيا و ببطء من اليوم السابع إلى 21، ثم حققت طفرة قوية جدا عند اليوم 28 لتصل إلى أعلى قيمة لها (8.2).

الاستنتاج :

تشير هذه النتائج إلى ظاهرة علمية معروفة وهي (Over-dosage effect).

في الماء : يبدو أن زيادة النسبة إلى 3% مع وجود الماء لفترة طويلة (أكثر من 7 أيام) أدت إلى تفاعلات كيميائية زائدة عن الحد ، مما تسبب في إضعاف البنية الداخلية للمادة و تراجع إجهاد الانحناء لديها.

في الهواء: غياب الرطوبة المباشرة حمى العينات من هذا التحلل المائي المبكر، و سمح للرطوبة الجوية البسيطة بإنضاج المادة ببطء شديد مما فجر طاقتها الكامنة في اليوم 28 ليتفوق الهواء تماما على الماء.

IV-2-3-اختبار مقاومة الضغط

بعد الانتهاء من اختبار الانحناء، يتم الحصول على نصفين من كل عينة موشورية، ويستفاد منهما في إجراء اختبار مقاومة الضغط ويطبق الحمل تدريجيا على السطح الجانبي لكل نصف عينة إلى غاية الانهيار، ثم تحسب مقاومة الضغط انطلاقاً من الحمل الأعظمي و المساحة المضغوطة. وتندرج هذه الطريقة كذلك ضمن المقتضيات المنهجية للمعيار EN 196-1.

وتحسب مقاومة الضغط بالعلاقة:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

حيث:

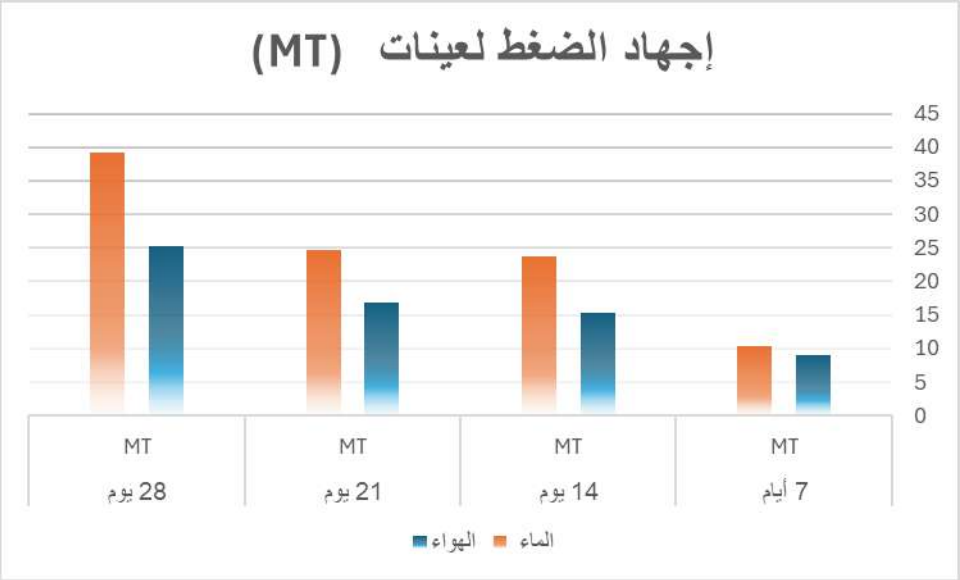
- R_c: مقاومة الضغط (Mpa).
- F_c: حمل الكسر (N).
- 1600 mm^2: مساحة المقطع المضغوط ($\times$ 44).



الصورة(IV-3): تجربة الضغط.

IV-2-3-1-تحليل و مناقشة نتائج الضغط للعينات

الشكل (IV-5) : نتائج إجهاد تجربة الضغط للملاط المرجعي (MT).



تحليل السلوك :

تأثير نوع الوسط البيئي (الماء ضد الهواء):

تفوق مستمرللماء : تظهر العينات المعالجة في الماء تفوقا ثابتا وواضحا في مقاومة إجهاد الضغط مقارنة بالعينات المتروكة في الهواء عند جميع محطات القياس الزمنية.

تضاعف الفجوة : يبدأ الفارق بين الوسطين بسيط جدا عند اليوم السابع (1.5) لكنه يتسع بشكل ملحوظ في منتصف التجربة حول (8.5)، و ينفجر في نهاية التجربة عند اليوم 28 ليحقق تفوقا ضخما لصالح الماء بفارق يقدر ب 14 درجة.

تأثير العامل الزمني و تطور المقاومة :

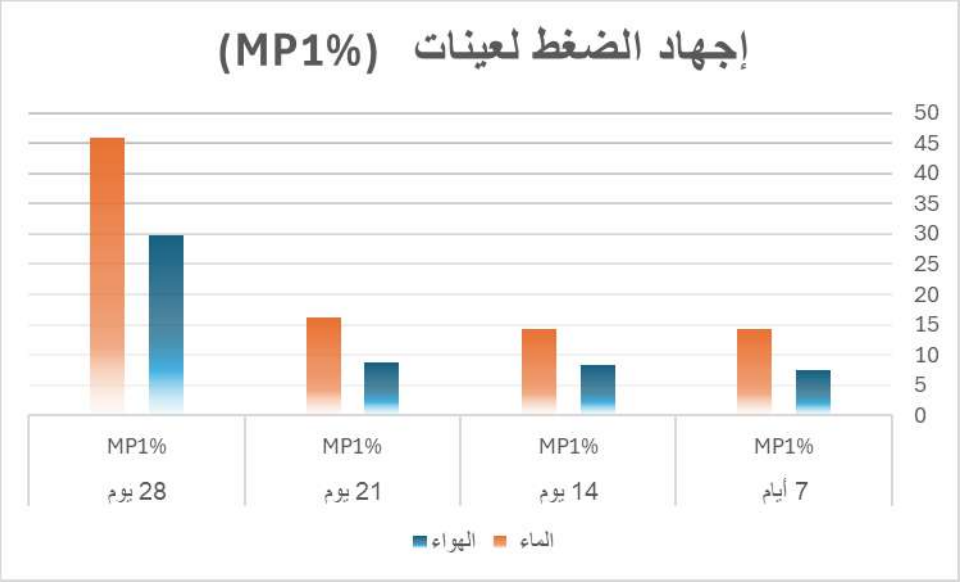
العينات في الماء : حققت قفزة هائلة في الأسبوع الأول (من اليوم السابع إلى 14)حيث تضاعفت القيمة من 10.5 إلى 23.5. دخلت في مرحلة استقرار و ثبات نسبي طفيف بين اليوم 14 و اليوم 21 (من 23.5 إلى 24.5)،تلتها قفزة قوية ثانية في الأسبوع الأخير لتصل إلى ذروتها 39.

العينات في الهواء : تسير عينات الهواء بمنحنى صعود تدريجي هادئ، ترتفع من 9 (عند 7 أيام) وتنمو ببطء حتى تصل إلى 25 (عند اليوم 28)، دون تسجيل أي طفرات مفاجئة، مما يوضح ضعف كفاءة الإنضاج الجاف في مقاومة الضغط.

الاستنتاج :

الوسط المائي هو العامل الحاسم و الضروري لبناء الهيكل الخرساني أو الكتلي للعينات لمقاومة الأحمال و الضغط. فبينما يمنح الماء العينة نموا هائلا على قفزتين ليصل بيها إلى كفاءة تشغيلية عالية 39، فإن الهواء يحرمها من الرطوبة اللازمة لإكمال التفاعلات الداخلية، مما يجعل مقاومتها للضغط متأخرة و ضعيفة طوال فترة الـ 28يوما.

الشكل (IV-6) : نتائج إجهاد تجربة الضغط للملاط (MP1%).



تحليل السلوك :

تأثير نوع الوسط البيئي (الماء ضد الهواء):

تفوق مستمر للماء : تظهر العينات المحفوظة في الماء تفوقا دائما و ثابتا في مقاومة إجهاد الضغط على العينات المحفوظة في الهواء عند كافة المحطات الزمنية.

الفجوة النهائية الكبرى : يظل الفارق محدودا و مستقرا نسبيا خلال الأسابيع الثلاثة الأولى (يتراوح بين 5.5 و 7 درجات) و لكنه يتسع بشكل ضخم جدا عند المحطة 28 يوما ليصل إلى فارق يقدر ب 16 درجة كاملة لصالح الماء.

تأثير العامل الزمني و تطور المقاومة :

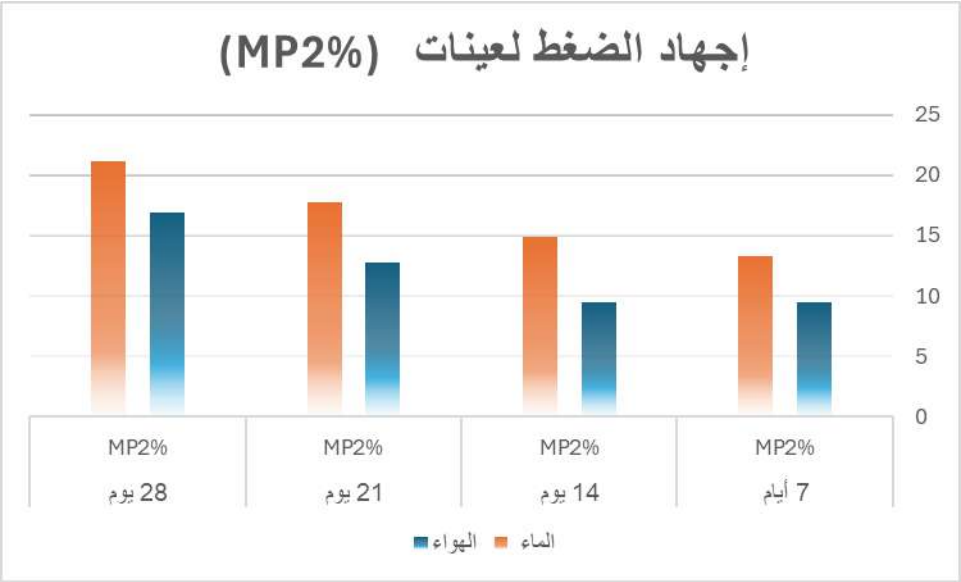
العينات في الماء : تدخل العينات في مرحلة ثبات ممتدة بين اليوم 7 و اليوم 14 حيث استقرت القيمة تماما عند 14 تليها زيادة طفيفة جدا عند اليوم 21(16)، لتنفجر فجأة في الأسبوع الأخير محققة قفزة هائلة تصل ذروتها (46) في اليوم 28.

العينات في الهواء : تسير بنمط مشابه جدا من حيث الكمون حيث تظهر نموا بطيئا للغاية خلال اول ثلاثة اسابيع (تتراوح بين 7.5 و 9)، ثم تحقق طفرة قاوية و متأخرة عند اليوم 28 لتصل إلى 30.

الاستنتاج :

تشير هذه النتائج إلى أن إضافة نسبة (MP1%) خلقت سلوكا ميكانيكيا يعتمد على فترة الحضانة الطويلة و القفزة المتأخرة الحادة في مقاومة الضغط. غياب الرطوبة المباشرة في وسط الهواء أخر هذه القفزة وجعلها تقف عند 30.بينما حفز الوسط المائي تفاعلات المركب الكيميائية و البلوري بكفاءة قصوى في الأسبوع الأخير ، مما أدى إلى تحقيق متانة ضغط فائقة بلغت 46، وهي قيمة تتجاوز ما حققته العينات المرجعية (MT) في الماء.

الشكل (IV-7) : نتائج إجهاد تجربة الضغط للملاط (MP2%).



تحليل السلوك :

تأثير نوع الوسط البيئي (الماء ضد الهواء):

استمرار تفوق الماء : تحافظ العينات المحفوظة في الماء على تفوقها المستمر في مقاومة إجهاد الضغط مقارنة بالهواء عند جميع محطات الفحص الزمنية.

ثبات نسبي في الفارق: على عكس الحالات السابقة ، يلاحظ أن فجوة بين الوسط المائي و الهوائي ظلت مستقرة و متقاربة جدا طوال فترة التجربة، حيث تراوح الفرق بين 4في البداية ووصل إلى 4.4 عند اليوم 28،مما يدل على نمو متواز للوسطين دون طفرات حادة لأحدهما على الأخر.

تأثير العامل الزمني و تطور المقاومة :

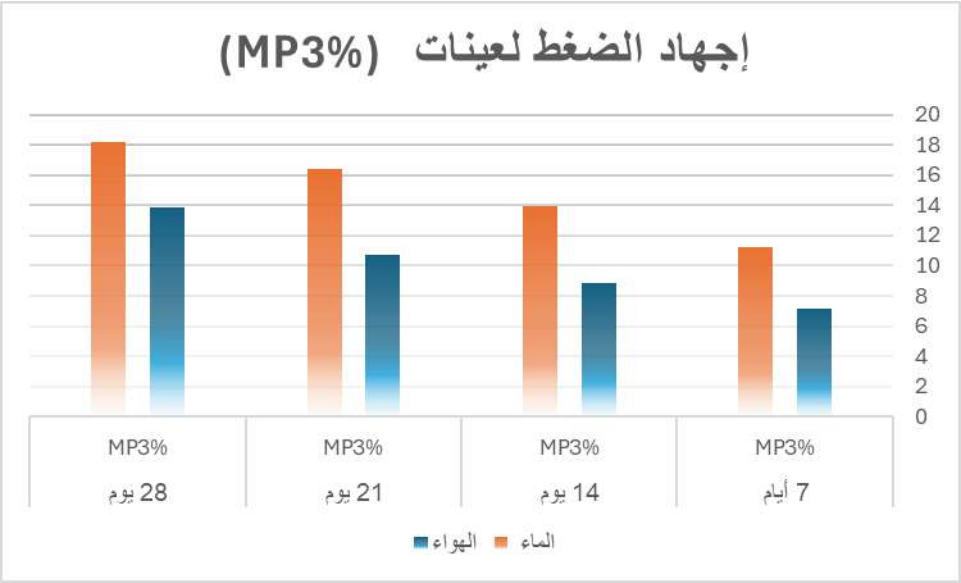
العينات في الماء: تسير المقاومة بنمط صعود تدريجي و منتظم عبر فترة التجربة ، حيث تبدأ من 13.5 (عند 7 أيام) ، وترتفع ببطء إلى 14.8 ثم 17.5 لتصل ذروتها 21.2 في اليوم 28.

العينات في الهواء : أظهرت العينات ثباتا بين اليوم 7 و اليوم 14 عند القيمة 9.5 ، تلاها صعود تدريجي متواضع خلال الأسبوعين الأخيرين لتنتهي عند القيمة 16.8 في اليوم 28.

الاستنتاج :

تسببت نسبة (MP2%) في انفجار ميكانيكي هائل لمقاومة الانحناء سابقا، نجد هنا أنها حدثت تراجعا ملحوظا في كفاءة مقاومة الضغط للعينات في الوسطين مقارنة بالحالات السابقة (MTوMP1% التي قاربت قيمها 40 و 46) هذا يشير إلى ان زيادة نسبة الاضافة 2% بدأت تؤثر سلبا على تراص البنية الداخلية ومقاومتها ، على الرغم من أن الوسط المائي ظل أفضل نسبيا و أكثر قدرة على دعم للمادة مقارنة بالوسط الهوائي.

الشكل (IV-8) : نتائج إجهاد تجربة الضغط للملاط (MP3%).



تحليل السلوك :

تأثير نوع الوسط البيئي (الماء ضد الهواء):

استمرار ثبات الوسط المائي : تحافظ العينات المعالجة في الماء على تفوقها المستمر و الكامل فوق العينات المتروكة في الهواء عند كافة المحطات الزمنية دون أي انقلاب في النتائج (على عكس ما حدث في تجربة الانحناء لنفس النسبة).

سلوك الفارق البيئي : يلاحظ أن الفجوة بين المنحنيين ظلت مستقرة و محصورة في نطاق ضيق يتراوح بين 4 و 5.7 مما يعكس نموا متوازيا و متقاربا في الكفاءة بين بيئة الغمر المائي و بيئة الجفاف الهوائي.

تأثير العامل الزمني و تطور المقاومة :

العينات في الماء : تسير المقاومة وفق صعود تدريجي منتظم ، حيث تبدأ من 11.2(عند 7 أيام)، وترتفع بانتظام لتسجل 14 ثم 16.5، وصولا إلى ذروتها القصوى عند 18.2 في اليوم 28.

العينات في الهواء: تتبع عينات الهواء نفس النمط الصعودي التدريجي الهادئ ، إذ تبدأ من 7.2 و تتطور تدريجيا لتنتهي عند القيمة 13.8 في اليوم 28.

الاستنتاج :

زيادة نسبة الإضافة إلى (MP3%) أدت إلى تدهور إضافي و مستمر في قيم إجهاد الضغط للوسطين، حيث سجلت العينات هنا أدنى مستويات مقاومة للضغط في التجربة كاملة (الذروة في الماء وصلت إلى 18.2 فقط مقارنة ب 46 في العينة MP1%)

الخواص الميكانيكية للمادة تحت تأثير "إجهاد الضغط" لا تعاني من ظاهرة الانقلاب العكسي عند النسبة العالية (3%) كما حدث في إجهاد الانحناء؛ فالماء ظل هو الوسط الأفضل دائماً والأكثر دعماً لترابط البنية الجزيئية للمادة ضد الأحمال الرأسية، حتى وإن كانت الإضافة مفرطة وتسببت في إضعاف القوة الإجمالية للقوالب.

الاستنتاج العام المقارن :

يُظهر الاستنتاج العام المقارن للخواص الميكانيكية للمادة أن هناك تباينًا جوهريًا في سلوك الاستجابة الهيكلية بين إجهادي الضغط والانحناء تبعًا لنسب الإضافة والوسط البيئي عبر الزمن؛ حيث تختلف *النسبة المثالية* لتحقيق الكفاءة القصوى تمامًا باختلاف نوع الإجهاد، إذ سجلت نسبة (MP2%) المعالجة بالماء* الذروة الميكانيكية في مقاومة الانحناء بقيمة (14.2)، في حين شكلت نسبة (MP1%) المعالجة بالماء* الحد الحرج والأمثل لتحقيق أعلى مقاومة للضغط بقيمة قاربت (46)، يليها تدهور حاد ومتسارع في متانة الضغط بنسبة تتجاوز 50% عند رفع الإضافة إلى 2% و3%. ومن ناحية أخرى، كشفت المقارنة البيئية عن ثبات وتفوق مطلق ودائم للوسط المائي في جميع تجارب الضغط دون التأثر بزيادة الإضافات، على عكس سلوك الانحناء الذي شهد ظاهرة انقلاب ميكانيكي عكسي عند نسبة (MP3%)تفوق فيها الهواء لأول مرة نتيجة التحلل المائي الناتج عن الإفراط في الإضافة.

وبناءً على هذه المعطيات، فإن *أحسن نسبة عامة للاستخدام تدمج بين الكفاءة الاقتصادية والميكانيكية هي نسبة (MP1%) مع المعالجة المائية المستمرة* كونه يحقق طفرة هائلة وغير مسبوقة في مقاومة الضغط (التي تمثل عماد الهياكل الإنشائية) مع الحفاظ على مستوى متزّن ومقبول من مقاومة الانحناء بينما يُوصى بـنسبة (MP2%) كأحسن نسبة للاستخدام حصرياً في التطبيقات التي تشكّل فيها مقاومة التشققات والانحناء الأولوية القصوى* للهيكل المصمم، مع ضرورة الالتزام التام بالمعالجة المائية المستمرة لفترة 28 يوماً كشرط أساسي لإنضاج البنية الجزيئية في الحالتين.

IV-3-خلاصة

في ختام هذا الفصل، يتضح أن الخصائص الميكانيكية للملاط المدعّم بالنشارة البلاستيكية تتأثر بشكل مباشر بكلٍّ من نسبة الإضافة، ووسط المعالجة، وعمر العينة. وقد بينت النتائج أن المعالجة بالماء تُعد العامل الأكثر فاعلية في تحسين كل من إجهاد الانحناء وإجهاد الضغط، نظرًا لدورها في تعزيز تفاعلات الإماهة وتحسين التماسك الداخلي للبنية المجهرية للملاط، مما ينعكس إيجابًا على مقاومته الميكانيكية مقارنة بالعينات المعالجة في الهواء. كما أظهرت الدراسة أن مقاومة الضغط تتسم بسلوك أكثر استقرارًا وتدرجًا مع الزمن، في حين أن مقاومة الانحناء بدت أكثر حساسية لتغير نسب الإضافة البلاستيكية وظروف الحفظ.

ومن خلال التحليل المقارن للنتائج، تبين أن نسبة 2% من النشارة البلاستيكية (MP2%) تمثل النسبة المثلى إجمالاً، لما وفرته من توازن واضح بين تحسين مقاومة الانحناء والحفاظ على أداء ميكانيكي مقبول في الضغط، خاصة تحت ظروف المعالجة المائية. ورغم أن نسبة 1 (MP1%) %أظهرت أفضلية عددية في بعض نتائج مقاومة الضغط ضمن الخلطات المحتوية على النشارة البلاستيكية، فإن نسبة 2% بدت الأكثر ملاءمة من الناحية التطبيقية والإنشائية عند تقييم الأداء العام للملاط. وفي المقابل، أكدت النتائج أن الزيادة المفرطة في نسبة الإضافة، كما في حالة 3%، قد تؤدي إلى تراجع بعض الخصائص الميكانيكية، وهو ما يبرز أهمية الضبط الدقيق لنسبة النشارة البلاستيكية بما يحقق أفضل توازن بين تخفيف الوزن وتحسين الكفاءة الإنشائية .

وبناءً على ما سبق، يمكن اعتبار الملاط المحتوي على النشارة البلاستيكية مادة واعدة في مجال مواد البناء الحديثة، شريطة اختيار نسبة الإضافة المناسبة واعتماد شروط معالجة فعالة، بما يضمن تحقيق أداء ميكانيكي ملائم ومتطلبات إنشائية مقبولة. وعليه، فإن نتائج هذا الفصل تشكل أساسًا مهمًا لتقييم جدوى توظيف النشارة البلاستيكية كمادة مضافة في الملاط، وفتح المجال أمام دراسات لاحقة تهدف إلى تطوير هذا النوع من المواد وتحسين خصائصه في تطبيقات البناء المختلفة.

الفصل الخامس:

خلاصة عامة و التوصيات

خلاصة عامة

تأتي هذه الدراسة في إطار البحث عن حلول هندسية مبتكرة ومستدامة تدمج بين تلبية المتطلبات التقنية الحديثة للبناء والالتزام بالمسؤولية البيئية تجاه كوكب الأرض. ومن خلال المسار البحثي والتجريبي الذي سلكته هذه المذكرة، تبرز الأهمية البالغة لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية في قطاع الهندسة المدنية كخيار استراتيجي واعد. وقد أثبت البحث في شقه النظري والعملي أن الملاط ليس مجرد مادة رابطة تقليدية، بل هو نظام متكامل تتوقف جودته وأداؤه على خصائص مكوناته ونسب خلطها بدقة. وأظهرت النتائج أن تدعيم الملاط الإسمنتي بالنشارة البلاستيكية المعاد تدويرها (خاصة من نوع البولي إيثيلين عالي الكثافة PEHD) يسهم بشكل مباشر في تحسين ملموس لبعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية. وتتجلى أهم هذه المكاسب في إنتاج ملاط خفيف الوزن، ذي مقاومة عالية، ومقاوم للتشققات الناتجة عن الجفاف أو الاهتزازات ، ومع ذلك، فإن هذا التوجه يتطلب التزاماً صارماً ببروتوكولات مخبرية واعتبارات تطبيقية واقتصادية وبيئية محددة. فالأمر لا يقتصر على إدراج النفايات البلاستيكية في الخلطة، بل يتعداه إلى ضبط نسب الإضافة بدقة لضمان عدم تأثر تشغيلية الملاط وسلوكه الإنشائي العام.

ففي الفصل الأول والذي خصص للمدخل لعام ركز على المحاور التالية :

- **الملاط المرجعي** : تعريفه، ووظائفه الإنشائية والجمالية، ومكوناته الأساسية (الإسمنت، الرمل، الماء، والإضافات الكيميائية الأخرى) بتركيبتها الفيزوكيميائية وأنواعها المختلفة.
- **النشارة البلاستيكية** : التعريف بها بالتركيز على نوع البولي إيثيلين عالي الكثافة (PEHD)، وتصنيف أنواع البوليمرات الأخرى واستخداماتها المدنية المتعددة.
- **الملاط المدعم بالنشارة البلاستيكية** : تعريفه ومكوناته، واستعراض فوائده البيئية (تقليل النفايات وحماية الموارد)، والميكانيكية (المرونة والعزل)، والاقتصادية.
- **التطبيقات والاعتبارات** : المجالات المدنية المقترحة لاستخدامه (كالتلبيس والترميم والعزل)، مع توضيح اعتبارات السلامة والخلط والتطبيق لضمان نجاحه.

أما **الفصل الثاني** فقد خصص لخصائص المواد المستعملة (الجانب التجريبي الأول) وقد اهتم بالتعريف بمصدر و هوية المواد المحلية المستعملة في المختبر و إجراء التجارب المعيارية عليها للتحقق من جودتها و مطابقتها للمواصفات :

- **الرمل** : دراسة رمل منطقة "جامعة" عبر اختبار المكافئ الرملي للتأكد من نقاوته، وإجراء التحليل الحبيبي لتحديد توزيع الحبيبات، وحساب معيار النعومة (الذي أثبت أنه رمل ناعم) بالإضافة لتعيين كتلته الحجمية المطلقة والظاهرية.
- **الماء**: استخدام ماء حنفية المخبر الصالح للشرب واستعراض تركيبته الكيميائية.
- **الإسمنت**: استخدام إسمنت مؤسسة "البسكرية للإسمنت" من نوع (CEM II/A-L 42.5R) واستعراض بطاقته التقنية وخصائصه الفيزيائية ومقاومته الميكانيكية للضغط وزمن التماسك.
- **نشارة البلاستيك**: استخدام نشارة أنابيب (PEHD) غير الصالحة للاستعمال بعد فرزها، وتحديد خصائصها التقنية كالكثافة وقوة الشد والمقاومة الكيميائية.

وفي **الفصل الثالث** تم عرض تركيبة الملاط العادي و الملاط المدعم (تحديد نسب الخلط و التشغيلية)،حيث ركز هذا الفصل على :

- **تحديد التركيبة المثلى** : دراسة نسب تركيز كل مركب (الإسمنت، الرمل، الماء) للوصول إلى خلطة مرجعية (شاهد) توازن بين المقاومة العالية والتشغيلية المقبولة.
- **دراسة تجربة التشغيلية :** قياس القوام اللدن للملاط باستخدام جهاز خاص (Maniabilimétre B)، وبحث تأثير إضافة النشارة البلاستيكية على التدرج الحبيبي العام للرمل وسلوك سيلان الملاط وسهولة صبه في القوالب.

فإن **الفصل الرابع** هو الفصل المحوري و النهائي في الجانب التجريبي تم فيه عرض و مناقشة النتائج الميكانيكية و الفيزيائية للملاط

- ركز على عرض و مناقشة الخواص الفيزيائية للملاط المتصلب (كالكتلة الحجمية و الإنكماش) و الخواص الميكانيكية (مقاومة الضغط و الشد بالإنحناء) عند الأعمار القياسية، وتحديد النسبة المثلى للإضافة و مجالات التطبيق الفعلي.

و في الختام، يوصى بفتح آفاق بحثية جديدة للتعمق في الخصائص الفيزيائية للملاط (كالإنكماش و الإمتصاص)، والتوسع في دراسة أنواع أخرى من البوليمرات، مع إعطاء الأولوية حاليا لاستغلال هذا النوع من الملاط في مجالات الترميم،التلبيس،وعزل المباني،سعيا للانتقال من البحث الأكاديمي إلى التطبيق الميداني الفعلي.

التوصيات

- ✓ ضرورة مواصلة البحث التجريبي قصد تحديد النسبة المثلى لإدماج النشارة البلاستيكية في الملاط، بما يضمن تحقيق التوازن بين قابلية التشغيل و الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية الموجودة.
- ✓ إجراء اختبارات ميكانيكية موسعة تشمل مقاومة الضغط، و مقاومة الإنحناء، من أجل بناء تصور علمي أدق حول مدى كفاءة الملاط المدعم و إمكانات اعتماده في التطبيقات المختلفة.
- ✓ أهمية التعمق في دراسة الخصائص الفيزيائية للملاط المدعم، مثل الكثافة و الإمتصاص والإنكماش، و العزل الحراري و الصوتي،لما لهذه الخصائص من دور حاسم في تقييم الأداء الوظيفي للمادة.
- ✓ ضرورة اعتماد بروتوكول مخبري صارم وموحد في إعداد العينات،يشمل ترتيب مراحل الخلط ومدى المزج، و كيفية الصب و الإهتزاز،و ظروف المعالجة، بما يضمن موثوقية النتائج و قابليتها للمقارنة العلمية.
- ✓ اختبار أنواع متعددة من البلاستيك المعاد تدويره و عدم الإكتفاء بنوع واحد، لأن اختلاف طبيعة البوليمرات قد ينعكس بصورة واضحة على خصائص الملاط و سلوكه أثناء الإستعمال.
- ✓ عدم التوسع في تعميم هذا النوع من الملاط في التطبيقات الإنشائية الحساسة قبل استكمال التقييم الشامل لخواصه، مع إعطاء الأولوية حاليا لمجالات الترميم، و التلبيس و العزل، و بعض التطبيقات غير الإنشائية أو شبه الإنشائية.
- ✓ أهمية إدراج البعد الإقتصادي و البيئي ضمن تقييم هذا النوع من الملاط، من خلال دراسة جدواه من حيث الكلفة، و سهولة التطبيق، و العائد البيئي الناتج عن تثمين النفايات البلاستيكية وتقليل استنزاف الموارد الطبيعية.
- ✓ تعزيز الصلة بين البحث الأكاديمي و التطبيق الميداني عبرتشجيع التجارب التطبيقية في ظروف الاستعمال الحقيقية، حتى يتم التحقق من سلوك الملاط المدعم خارج الإطار المخبري.
- ✓ دراسة سلوك الملاط المدعم على المدى الطويل تحت تأثير العوامل البيئية المختلفة، مثل الرطوبة و الحرارة، و دورات الجفاف و البلل، و التغيرات المناخية،من أجل تقييم متانته و استقراره عبر الزمن.
- ✓ الدراسات الإقتصادية و البيئية تسمح بتقدير المردود الحقيقي لاستخدام النشارة البلاستيكية في الملاط، ليس فقط من حيث الأداء التقني،بل أيضا من حيث الجدوى العملية و الإستدامة بعيدة المدى.

المراجع

[1]www.jove .com_21 :35_2026/01/20

[2] Ben Boudjemaa، Djerroud، Mousaoui. Influence des fibres métalliques (issues de l'unité BCR) sur le comportement mécanique et physico-chimique des mortiers. Université Bejaia.2013.

[3] BOUALATI.A، KEMASSI.W، 2018. Etude des caractéristiques mécaniques de béton de sable de dune renforcé par de fibres issues de déchets industriels، Mémoire de master. Université Kasdi Merbah d'Ouargla.

[4]رزيق عبد الرحمان وحمزة محمد شريف. الملاط في صيانة وترميم الفسيفساء، مجلة الدراسات الأثرية 19 ديسمبر2021

[5] تخصص التقنية المدنية 'خواص و اختبارات المواد 104 مدن 'طبعة 1469هجري .

[6] KETTAB M2007.

[7] ASTM C33 / C33M .

[8] Goubi.Fetni.Contribution a l'ètude des caractèristiques mècaniques des mortiers renforcèes par les fibres de polypropylène (issues des dèchets industriels) Universitè Kasdi Merbah d'Ouargla.

[9] Science Direct (2025) ___ NIH-PMC (2020).

[10] احمد طرطار، براجي صباح. المياه وإشكالية الاستدامة. مداخلة مقدمة إلى الملتقى الوطني حول اقتصاديات المياه. بسكرة: جامعة محمد خيضر بسكرة، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية والتسيير.

[11] مواد البناء_للمهندس فؤاد الصادق و للمهندس أحمد الدمياطي .

[12] opcleansweep.org

[13] "UNEP2020 " Single-use plastics :Aroadmap for sustainability.

[14] American Concrete Institute(ACI)-Committee 555R-(2001).
Construction and Building Materials (2018).

[15] "Polymers in Concrete"
"Polymers-Modifed Concrete Mortars"

[16] ANSI A118.4-"مواصفات الملاط الأسمنتي المحسن بالبوليمرات للبلاط الحزفي"

[17] WWW-ahs—ltd-co-uk-translate.goog.

[18] NF P 18-98. Octobre1991.

[19] CHERAIT. Y ،NAFA.Z. Eléments de matériaux de construction et essais، Collection: le liver de génie civil، Direction de la publication universitaire de Guelma.2007.

[20] ماني محمد. المساهمة في تحسين خصائص خرسانة رمل الكثبان بواسطة التصحيح الحبيبي و التعزيز بالالياف المعدنية.[مذكرة الماجيستير] جامعة قاصدي مرباح ورقلة كلية العلوم وعلوم مادة .2010

[21] CHEREFEDDINE. N ،MELOUAH. S.Etudede l'influence de l'ajoute de poudre de verre sur le comportement thermo-mecanique des timchemt. [Mémoire de magister] Algérie : université de Ouargla .2020.

[22] مريقة إبراهيم .رحماني كمال. المساهمة في تحسين خصائص خرسانة رمل المحاجر بواسطة التصحيح الحبيبي. [مذكرة ماستر] الوادي جامعة الشهيد حمى لخضر.2019.

[23] البطاقة التقنية لاسمنت مصنع بسكرة.

[24] باهي نوفل ،بروبة نذير، باهي أحمد.تأثير رمل الكثبان المسحوق على متانة وخصائص الملاط في المياه الصاعدة.[مذكرة الماستر] الوادي جامعة الشهيد حمى لخضر2021.

[25] ar.pedredgepipe.com_14:31_2026/05/09.

[26] www. machining-custom.com_14:18_2026/05/09.

[27] Britannica MatWeb APR_21:50_2026/05/09.

[28] CHENCHOUNA.H Caractérisation et modélisation d'un mortier léger à base des granulats des déchets plastiques (Mémoire de master).Université Mohamed khider de Biskra.2020