Influence of Superplasticizer on Recycled Coarse Aggregate Concrete

تأثير الملدن الفائق على خرسانة الركام الخشن المعاد تدويره

خالد حسن حاوي
المعهد التقني بابل KhalidHawi@Yahoo.com

الخلاصة : Abstract

تناول البحث دراسة تأثير استخدام الركام الخشن المعاد تدويره من خرسانة النفايات كبديل عن الركام الخشن الطبيعي المنشأ وبنسب استبدال مختلفة كانت 0% ، 20% ، 40% ، 60% ، 80% ،100% على خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة (الهطول ، الانضغاط ، الشد ، الامتصاص ، الكثافة) مع تأثير اضافة الملدن الفائق وبنسبتي 2% و3% من وزن السمنت الى الخلطات المختلفة على تلك الخواص . بينت النتائج التأثير السلبي على خواص الخرسانة عند استبدال الركام الخشن الطبيعي بالمعاد تدويره ويكون هذا التأثير قليل وبشكل غير واضح عند نسبة الاستبدال 20% ويتزايد هذا التأثير السلبي بزيادة نسبة الركام الخشن المعاد المستبدل في الخلطة . كما بينت النتائج امكانية تحسين تلك الخواص للخرسانة المنتجة بالركام الخشن المعاد تدويره بإضافة الملدن الفائق لها وبنسبتي 2% و3% من وزن السمنت المستعمل في الخلطة والحصول على خرسانة بركام خشن معاد بنسبة استبدال 80% مع 3% ملدن فائق وبخواص تشابه مثيلتها بالركام الخشن الاعتيادي وبدون ملدن .

الكلمات المفتاحية: السمنت، الركام الخشن الطبيعي، الركام الخشن المعاد تدويره، خرسانة النفايات، الملدن الفائق.

Abstract :

This research is deliberate the effect of using recycled coarse aggregate from wasted concrete as a substitute for natural coarse aggregate with different ratios 0%, 20% , 40% , 60% , 80% and 100% study the fresh and hard concrete properties (slump , compressive , tensile , absorption , density) and the effect of adding super plasticizer with 2% ,3% by weight of cement on above properties mixtures. Results show the negative effect on concrete properties when replacing natural coarse aggregate with recycled coarse aggregate. That effect was little when used 20% percentase replacing and increasing when percent replacing increasing . Results show improvement recycled coarse aggregate concrete with addition 2%,3% super plasticizer in mixture and manufacturing new concrete with 80% recycled coarse aggregate and 3% super plasticizer with same properties natural coarse aggregate concrete .

Keywords: Cement, Natural coarse aggregate, Recycled coarse aggregate, Wasted concrete, Super plasticizer

المقدمة: Introduction

الركام احد المكونات الرئيسية لإنتاج الخرسانة ويمثل الركام من 60 – 80 % من حجم الخلطة الخرسانية . وقد يكون الركام المستخدم اما طبيعيا ، وهو يمثل اكثر من 90% من الركام المستخدم في صناعة الخرسانة ، او مصنعا مثل المنتجات الثانوية بجانب الانتاج الصناعي كخبث الافران العالية والرماد المتطاير ومخلفات مواد البناء وركام الخرسانة المعاد تدويرها . ان الركام الناتج من اعادة تدوير الخرسانة يتكون الجزء الاكبر منه من الركام الاصلي مرتبطا مع مونة الاسمنت المتصلبة والجبس والذي يكون مناسبا لإعادة استخدامه مرة اخرى . اما الجزء الاصغر فيتمثل بالمونة الاسمنتية المتصلبة والجبس وتعتبر كركام صغير ولا تصلح في الاستخدام لصناعة الخرسانة الطازجة . ان تكلفة تكسير مخلفات الهدم للخرسانة تعتبر العامل الاساسي في تحديد امكانية استخدامها مرة اخرى وكذلك الاخذ بالاعتبار تدرجها الحبيبي والتحكم في فصل الاتربة والمكونات الغير مرغوبة عنها [1].

بين الباحث Neela [2] بان تستعمل الصناعة الخرسانية 12.6 بليون طن من المواد الاولية كل سنة وهي المستعمل الاكبر للمصادر الطبيعية في العالم وان التأثير البيئي لإنتاج المكونات الخام للخرسانة مثل الاسمنت والركام الخشن والناعم كبيرا مما دفع للبحث والتقصي عن مصادر اخرى للمواد الاولية للتقليل من استهلاك الطاقة والمصادر الطبيعية المتوفرة . واستنتج من خلال تجاربه العملية على خرسانة ذات ركام خشن عادي من مصادر طبيعية وأخرى ذات ركام خشن معاد تدويره بنسبة 100% بإمكانية استخدام الركام الخشن المعاد تدويره لصناعة خرسانة جديدة. ان نسبة الاستخدام الكبيرة لركام المصادر الطبيعية في انتاج الخرسانة يزيد من النقصان المستمر لهذه المادة في الطبيعة والارتفاع المتزايد في اسعارها لزيادة الطلب عليها مع التقدم العمراني الحاصل هذا بالإضافة الى ماتسببه مقالع الركام من مشاكل بيئية وأضرار في الطبيعة من انهيارات ارضية او تكون حفر كبيرة تتجمع فيها مياه الامطار وتمنع من الاستغلال الامثل لتلك المياه . لذلك اتجه الباحثون الى التفكير بشكل جدي بالبدائل للركام

الطبيعي المصدر في انتاج الخرسانة ومن احد تلك البدائل هي اعادة تدوير الخرسانة المستهلكة والناتجة من تهديم الابنية واستخدامها كركام خشن او ناعم بعد تكسيرها بكسارات خاصة لهذا الغرض وغربلتها بالأحجام المطلوبة وذلك تخلصا من تلك الكتل الخرسانية الفائضة عن الحاجة والناتجة من هدم المباني والتي تشكل الخرسانة النسبة العظمى فيها . ان التخلص من الخرسانة المهدمة بطرق عشوائية يسبب ضررا بيئيا بالغا كونها تشغل مساحات واسعة لطمرها ولمدد طويلة جدا كونها لاتتحلل بسهولة . بالإضافة الى كونها اهدار للمواد الطبيعية المتمثلة بالركام الطبيعي . وقد اجريت العديد من الدراسات والبحوث في استغلال هذه المخلفات عن طريق اعادة استخدامها في انتاج الخرسانة بدلا عن الركام الطبيعي بنسب مختلفة. وجد الباحثون Khaldoun، Buck، Hansen، González [6,5,4,3] ان استخدام الخرسانة المهمشة والناتجة من البنايات المدمرة يساعد في التقليل من كلف النقل الخاصة بنقل الركام الطبيعي الناعم او الخشن من مصدره الى مكان العمل كما انه يلغي الحاجة الى التخلص من حطام ونواتج البنايات المدمرة كما يحافظ على مساحة الارض التي تدفن بها هذه المواد الملوثة . كما قام الباحثان Kalaiarasu, Subramanian [7] بالاستفادة من الخرسانة المدمرة في استخدامها كركام ناعم وبنسبة 40% من الرمل الطبيعي المستخدم وإضافة نسب مختلفة من مادة Silica fume كبديل عن السمنت وبنسب تراوحت بين 10 – 17.5% مع تثبيت نسبة ماء الخلط وبمقدار 0.32 فوجدا ان مقاومة هذه الخرسانة للحوامض والكلوريدات تكون اعلى مايمكن عندما تكون نسبة Silica fume المستخدمة 15% . درس الباحث Rifat [8] امكانية استخدام الركام الناتج عن الخرسانة المدمرة كبديل في الخلطات الخرسانية وإنشاء الطرق باستخدامها كركام ناعم اضافة الى الرمل الطبيعي . اكد الباحث مازن القطان [9] إن إعادة استخدام مخلفات البناء في إنتاج خرسانة جديدة يحقق غايتين معًا ، الأولى هي إزالة كميات كبيرة من مصادر التلوث البيئي الناتج من هذه المخلفات ، والثانية هي توفير مصادر رخيصة لركام الخرسانة .وقد تضمنت هذه الدراسة اختبار خصائص خلطة خرسانية معدة باستخدام ركام خشن من مخلفات الخرسانة المحلية بعد إزالة قطع الحصى الكبيرة منها ، أي استخدام مونة هذه المخلفات بعد تكسيرها وتدريجها وغسلها. أوضحت النتائج أن هذا الركام المعاد استخدامه له وزن نوعي أقل وامتصاص أعلى مقارنة بالركام الاعتيادي المستخدم في العراق .كما أوضحت النتائج أن الخرسانة المعدة من هذا الركام لها مقاومة انضغاط وامتصاص مقبولين كما أن لها مقاومة انثناء جيده وكثافة جافة واطئة مقارنة بالخرسانة المعدة من الركام الاعتيادي المحلى إن هذه الخرسانة مناسبة للاستعمال في تبليط الشوارع والأرصفة والساحات والمماشي وعمل كتل البناء الخرسانية. بين الباحث Sarab [10] أن إعادة استخدام او تدوير المخلفات الإنشائية والهدم هي أحد أكبر مكونات التنمية المستدامة لما له أهمية في المحافظة على البيئة والمحافظة على موارد مصادر المواد الطبيعية من النضوب واستخدم الباحث في دراسته الركام الخرساني المدور مع إضافة برادة الحديد وذلك باستخدام مكسر الخرسانة بنسب تعويضية من الركام الخشن الطبيعي (0،25 ، 50 ،75 ، 100) % مع إضافة برادة الحديد بنسبة (6%) من حجم الخلطة الكلي وأظهرت النتائج أن تأثير استخدام مكسر الخرسانة كركام خشن في الخلطات الخرسانية أدى إلى نقصان في مقاومة الخرسانة(الانضغاط والشد الغير مباشر)ولكن عند إضافة برادة الحديد الى الخرسانة كألياف أدى الى زيادة في مقاومة الخرسانة (الانضغاط والشد الغير مباشر) كما بين الباحث Keith [11] ان خرسانة الركام المعاد الطرية تكون خشنة وجافة وذلك نسبة للشكل الزاوي وخشونة سطح الركام المعاد ولذلك تكون ميالة بشكل اكبر لفقدان الهطول للخلطة وتحتاج الى محتوى مائي عالي لنسبة الامتصاص العالية لعجينة السمنت الملامسة او المحيطة بالركام والفراغات الهوائية العالية او المحتوى الهوائي العالي بسبب المسامية العالية للركام المعاد . استنتج الباحث حيدر [12] في دراسته "بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة ذاتية الرص المستخدم فيها الخرسانة المعادة كركام " وذلك باستبدال ركام الخشن والناعم بالركام المعاد وبنسب مئوية كانت (50 ، 100)%. بعد اجراء فحوص مقاومة الانضغاط بأعمار 90,28,7 يوم. اظهرت النتائج بأن الخرسانة ذاتية الرص الحاوية على (50)% و(100)% من الركام الخشن للخرسانة المعادة نقصان في مقاومه الانضغاط بالأعمار المختلفة مقارنة بالخرسانة الاعتيادية بمقدار (5-11)%. اما الخرسانة ذاتية الرص الحاوية على (50-100)% الركام الناعم للخرسانة المعادة انخفاض في مقاومه الانضغاط في الاعمار المختلفة مقارنة مع الخرسانة الاعتيادية بمقدار (4-9)% و (7-14)% على توالي. اما بالنسبة لمقاومة الانثناء أظهرت النتائج نقصان في مقاومة الانثناء لجميع الخلطات بمقدار (6-20)% مقارنة مع الخرسانة الاعتيادية . بينت نتائج فحوصات الباحث Limbachiya [13] بأنه لا يوجد تأثير على قوة الخرسانة باستخدام الركام المعاد تدويره ولحد نسبة 30% في الخرسانة العالية القوة ذات تحمل 50 MPa وأكثر . ولكن بعد هذه النسبة تبدا القوة بالتناقص بالتدريج مع زيادة استبدال الركام المعاد تدويره .

وجد الباحث Awchat [14] من خلال التحريات والاستطلاعات التجريبية على الركام المعاد تدويره بان قوة الانضغاط والانثناء والانشطار تزداد ولحد 10% ، 40% ، 35% على التوالي بإضافة 7.5% ملدن من وزن السمنت. وقد بين الباحث Shakir [15] بان اثبتت المنشات الخرسانية المهدمة بأنها مصدر جيد لمواد البناء ودرس فائدة استخدام أنقاض البناء المعاد تدويرها في السبيس لتحسين بعض خصائص السبيس المرصوص وتم انتاج مواد سبيس مختلفة و ذلك بخلط 0% ، 25% ، 50% ، 75% كنسبة تعويضية من السبيس الطبيعي وجد من نتائج الاختبار ان انقاض البناء المعاد تدويرها يمكن استعمالها بشكل جيد في تحسين خواص السبيس.

ونظرا لان نتائج الأبحاث السابقة أوضحت التأثير السيئ لاستخدام الركام المعاد تدويره على كلا من خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة، كما أوصت بعض الأبحاث الاخرى بعدم استخدام الخرسانة الحاوية على ركام معاد تدويره كخرسانة إنشائية. لذا فان الغرض الرئيسي من هذه الدراسة هو للوقوف على مدي تأثير استبدال نسب محدده من الركام الخشن الطبيعي بركام خشن من الخرسانة المعاد تدويرها على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلده،وإمكانية تحسين خواصها باستخدام الملدن الفائق كمضاف مع الخرسانة المحتوية على ركام خشن معاد تدويره.وتستعرض نتائج هذه الدراسة خواص الخرسانة الطازجة المتمثلة في اختبار الهطول،وخواص الخرسانة المتصلدة المتمثلة في مقاومة الضغط ومقاومة الشد الانشطاري والكثافة والامتصاص .

الجانب العملي : (Experimental program)

أولا : المواد الأولية المستعملة : (Materials used)

1- السمنت: (Cement)

تم استعمال السمنت البورتلاندي الاعتيادي (Type I) المنتج من معمل سمنت الكوفة والمطابق المواصفة القياسية العراقية رقم 5 لسنة (1984) [16]. الجدولين (1و2) يبينين التحليل الفيزياوي والكيماوي للسمنت على التوالي.

2 - الملدن : (plasticizer)

استخدم الملدن الفائق نوع Sikament-163 وهو سائل بلون بني داكن وهو ملدن فائق له تأثير مزدوج لإنتاج خرسانة ذات سيولة وانسيابية عالية وكعامل اساسي لخفض الماء وبنسبة تصل الى 20 % والمبين مواصفاته في الجدول رقم 3 ومصنف طبقا للمواصفات الأمريكية .ACI COMMITTEE 212 .

3 - الركام ألخشن : (Coarse Aggregate)

اولا : الركام الخشن الطبيعي : Natural coarse aggregate

استعمل الحصى المدور الطبيعي كركام خشن من مقالع منطقة النباعي والمطابق للمواصفة القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1984 [17] ذو مقياس أقصى له لايزيد عن 20 ملم ، ويبين الجدول رقم 4 الخصائص الفيزياوية وتدرج الركام الخشن الطبيعي المستعمل في جميع الخلطات . والشكل رقم 1 يمثل منحني التدرج الحبيبي للحصى الطبيعي والمعاد تدويره المستعمل مع بيان الحدود الدنيا والقصوى للتدرج .

ثانيا : الركام الخشن المعاد تدويره : Recycled coarse aggregate

لقد تم اختيار خرسانة نماذج الفحص المختبرية المختلفة الاشكال المكعبة منها والاسطوانية صورة رقم 1 و 2 للحصول على الركام الخشن المعاد تدويره المستخدم في الدراسة لتمثيلها الواقع الفعلي لخرسانة النفايات المهدمة كونها خليط مختلف من الخرسانة ذات النسب الخلط المختلفة بالإضافة لكونها نظيفة وخالية من الشوائب والمواد الكيميائية الاخرى وقد تم تكسيرها وغربلتها وإزالة قطع الحصى الكبيرة منها الصور رقم 3 ،4 ، 5 ، 6 ثم درجت لتكون مطابقة للمواصفة القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1984[17] ذو مقياس أقصى له لايزيد عن 20 ملم ، ويبين الجدول رقم 4 والشكل رقم 1 الخصائص الفيزياوية وتدرج الركام الخشن المعاد تدويره المستعمل في جميع الخلطات .

4 - الركام الناعم : (Fine Aggregate)

تم استعمال الرمل الطبيعي من مقالع الاخيضر كركام ناعم في عمل الخلطات الخرسانية. ويبين الجدول رقم 5 التحليل المنخلي والخصائص الفيزياوية للركام الناعم الطبيعي المستخدم والشكل رقم 2 يمثل منحني التدرج الحبيبي للرمل المستعمل مع بيان الحدود الدنيا والقصوى للتدرج وضمن منطقة التدرج الثانية وحسب المواصفات القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1984[17] .

5 - ماء الخلط : (Water mix)

تم استعمال الماء الصالح للشرب (ماء الإسالة) في عمل الخلطات الخرسانية والمعالجة .

ثانيا : الخلطات الخرسانية : (Concrete mixtures)

تم عمل احدى عشر خلطة خرسانية جميعها بنسبة خلط حجمية كانت (4:2:1) وبمحتوى اسمنت 300 كغم/ م^3 وبنسب ماء / سمنت مختلفة تراوحت بين 0.45 - 0.65 وكانت الأولى وقد رمز لها بالرمز (M_0) واستعمل فيها ركام المصادر الطبيعية أي ركام المقالع وبنوعيه الخشن والناعم وبدون استخدام اي مضاف او استبدال واعتبرت خلطة مرجعية . اما الخلطات الثانية M_{20} والثالثة M_{40} والرابعة M_{60} والخامسة M_{80} والسادسة M_{100} فقد استبدل فيها الركام الخشن الطبيعي بركام خشن معاد تدويره من خرسانة تم تكسيرها وتدريجها حسب الحجوم المطلوبة كركام خشن وبنسب استبدال مختلفة وكما مثبت ارقامها بالجانب الايمن من رمز الخلطة . اما الخلطات السابعة $2M_{20}$ والثامنة $2M_{40}$ والتاسعة $3M_{60}$ والعاشرة $3M_{80}$ والحادي عشر $3M_{100}$ فقد تم إضافة الملدن الفائق وبنسب مئوية مختلفة من وزن الاسمنت المستخدم في الخلطة وكما مثبت ارقامها بالجانب الايسر من رمز الخلطة والتي تراوحت بين 2 – 3 % من وزن الاسمنت المستخدم وكما مبين تفاصيلها في الجدول رقم 6.

ثالثا : تحضير قوالب النماذج والصب: moulds samples and mixtures preparing

استخدمت ست قوالب حديدية مكعبة الشكل بطول ضلع 15 سم لتحضير نماذج خرسانية لقياس مقاومة الانضغاط وحسب المواصفة (B. S. 1881, Part 116, 1989) [18] وبالأعمار 7 و 28 يوم ثلاثة لكل عمر وأخرى لإيجاد الامتصاص والكثافة الجافة لها وبعمر 28 يوم ، كما تم تهيئة 6 قوالب اسطوانية الشكل حديدية قياس 15 سم قطر و30 سم ارتفاع لصب نماذج فحص مقاومة الشد الانشطاري (الانفلاق) بالأعمار 7 و 28 يوم ثلاثة لكل عمر وبموجب المواصفة(ASTM C496) [19] وتم عمل النماذج أعلاه لكل خلطة خرسانية لإجراء فحوصات الانضغاط والشد والامتصاص [20] والكثافة الجافة. حيث تم تزييت القوالب وملئها بالخرسانة ورصها ميكانيكيا باستخدام الهزاز الكهربائي المنضدي للتخلص من الفراغات الهوائية داخل الخرسانة بشكل جيد وبعد تسوية وجه القوالب وإنهاء الصب تم تغطية القوالب الخرسانية بالنايلون لمدة 24 ساعة حيث تم فتح القوالب بعدها. وعولجت بأحواض حاوية على الماء الصالح للشرب (ماء انابيب الاسالة) وبدرجة حرارة المختبر(20–24) درجة مئوية بعد 24 ساعة من عملية الصب وفتح القوالب ولحين وقت الفحص بعد 7 أيام لثلاث نماذج و 28 يوم للثلاث الأخرى. كما تم فحص الهطول للخلطات الخرسانية الطرية حسب المواصفة (ASTM C143) [21].

رابعا : الفحوصات . Tests

1 - فحص مقاومة الانضغاط : Compressive Strength Test

تم إجراء الفحص ألمختبري على 3 نماذج وبالعمرين 7 و 28 يوم لجميع الخلطات الخرسانية لمعرفة قوة الانضغاط وهي رطبة حال إخراجها من ماء المعالجة وبموجب المواصفة (B.S.1881, Part 116, 1989) [18] باستخدام جهاز فحص الانضغاط .

2- فحص مقاومة الشد الانشطاري : Splitting Tensile Strength

اجري الفحص على النماذج الاسطوانية لجميع الخلطات الخرسانية ست نماذج لكل خلطة 3 نماذج لكل عمر 7 و 28 يوم لمعرفة مقاومة الشد الغير مباشر وبموجب المواصفة(ASTM C 496) [19]. وحساب مقاومة الشد الانشطاري حسب المعادلة التالية. $Fct = 2\,p / \pi\, d\, L$ ---- 1

Fct = مقاومة الانفلاق (نيوتن/ ملم^2) ، P = أعلى قوة مسلطة على الجهاز (نيوتن)

L = طول النموذج الاسطواني (ملم) ، d = قطر النموذج الاسطواني (ملم)

3 - فحص الهطول : Slump Test

تم إجراء فحص الهطول للخلطات الخرسانية الطرية حسب المواصفة (ASTM C143) [21] .

4 - فحص امتصاص الخرسانة للماء ، والكثافة : Water Absorption test & Density

تم إجراء فحص الامتصاص طبقا للمواصفة BS. 1881 part 122 – 1989 [20]. بعد تجفيف العينات الخرسانية بعمر 28 يوم في فرن كهربائي درجة حرارته 100-105 درجة مئوية ولمدة 24 ساعة ثم بردت في مجفف ووزنت بميزان الكتروني وثبت وزن العينات وهي جافة (W_1) ثم غمرت العينات مباشرة في ماء درجة حرارته 15 – 20 درجة مئوية لمدة 24 ساعة وأخرجت بعد ذلك وجفف سطحها بقطعة من القماش تم وزنت النماذج لتثبيت وزنها وهي رطبة (W_2) وتم احتساب النسبة المئوية للامتصاص كما يلي [20]. :

$$\text{Water Absorption \%} = (W_2 - W_1 / W_1) \times 100 \quad \text{----------2}$$

تم تعيين الكثافة الجافة للنماذج الخرسانية بوزنها وهي جافة بميزان الكتروني وقياس ابعاد النموذج الخرساني بالملمتر وأوجدت الكثافة كغم/ م^3 كما يلي :

الكثافة = الوزن كغم / الحجم م^3 ------- 3

النتائج والمناقشة: Results and discussion

يبين الجدول رقم 6 والأشكال البيانية من (3-7) والمخططات من (1 – 5) نتائج الفحوصات المختبرية للخرسانة الطرية والمتصلبة لجميع الخلطات البالغ عددها احدى عشر خلطة ومدى تأثير استبدال الركام الخشن الطبيعي المنشأ بالركام الخشن المعاد تدويره وبنسب استبدال مختلفة كانت 0 %، 20%،40%،60%،80%،100% وكذلك تأثير إضافة الملدن وبنسبتين 2% و 3% الى الخلطات الخرسانية المختلفة التي استبدل فيها الركام الخشن الطبيعي بالركام الخشن المعاد تدويره الطرية منها والمتصلبة كما يلي :

أولا : الخلطات الخرسانية الطرية :

1 - نتائج فحص الهطول للخلطات الخرسانية الطرية .

يبين الجدول رقم 6، الشكل البياني رقم 3 ومخطط رقم 3 نتائج فحص الهطول للخلطات الخرسانية الطرية المختلفة حيث تتناقص نسبة الهطول للخلطات مع زيادة نسبة استبدال الركام الخشن الطبيعي بالركام الخشن المعاد تدويره حتى تصل نسبة الفقدان في الهطول الى (14.3%) للخلطة الخرسانية المستبدل فيها الركام الخشن الطبيعي بالركام الخشن المعاد تدويره بنسبة 100% (M_{100}) مما يبين تناقص قابلية التشغيل للخلطات بزيادة نسبة استبدال الركام الخشن المعاد تدويره ويصل هذا الانخفاض في قابلية التشغيل اقصاه عند الاستبدال الكلي بالركام الخشن المعاد تدويره في الخلطة مقارنة بهطول الخلطة المرجعية M_0 المستخدم فيها الركام الخشن الطبيعي فقط . ولغرض الحصول على قابلية تشغيل مقبولة تم زيادة نسبة ماء الخلط (w/ c) للخلطات وبشكل متزايد طرديا مع زيادة نسبة استبدال الركام الخشن المعاد تدويره في الخلطة حيث كانت نسبة ماء الخلط (w/ c) للخلطة M_0 المرجعية 0.48 بينما في الخلطة M_{100} كانت 0.65 المستبدل فيها الركام الخشن بنسبة 100% أي بنسبة زيادة 35.4 % في ماء الخلط . وقد يرجع سبب ذلك الى ان خرسانة الركام المعاد تدويره الطرية تكون خشنة وذلك نسبة الى الشكل الزاوي وخشونة سطح الركام المعاد والمونة السمنتية المتبقية على سطحه ولذلك تكون ميالة بشكل اكبر لفقدان الهطول في الخلطة مما يلزم زيادة المحتوى المائي للخلطة للحصول على قابلية تشغيل جيدة او مقبولة كما ان زيادة نسبة الامتصاص لحبيبات الركام الخشنة المعاد تدويرها البالغة 2.4 % اكبر بمقدار 4.28 مرة مقارنة بنسبة امتصاص الماء لحبيبات الركام الخشن الطبيعي البالغة 0.56 % يكون احد اسباب الحاجة الى زيادة المحتوى المائي للخلطة للمسامية العالية وطبيعة السطح الاسفنجي لهذا النوع من الركام بسبب وجود مخلفات من مونة السمنت حول حبيبات الركام والملتصقة بها مما يزيد من استيعابها لكمية اكبر من الماء في مساماتها مقارنة بالركام الخشن الطبيعي . ان نسبة المحتوى المائي للخلطة (w/ c) الملائمة واللازم استعمالها لإعطاء قابلية تشغيل مقبولة ، بجانب القوام ، والشكل الزاوي للركام المعاد تدويره تعتبر عوامل مؤثرة على قابلية تشغيل للخلطة الخرسانية ذات الركام الخشن المعاد تدويره ان عدم انتظام سطح الركام المعاد يشارك في التقليل من قابلية التشغيل لهذا النوع من الخرسانة ، ان اضافة الملدن

الفائق وبنسبتي 2% ، 3 % كان له الاثر الكبير في خفض وتقليل نسبة ماء الخلط مع الحصول على قابلية تشغيل جيدة او مقبولة للخلطات وحسب ماتشير اليه نسب الهطول في الجدول رقم 6 حيث يزيد من امكانية زيادة نسبة استبدال الركام الخشن في الخلطة مع تقليل نسبة ماء الخلط والحصول على هطول مشابه او مقارب لمثيلاتها الخالية من الملدن او الخلطة المرجعية ، ان اضافة الملدن الفائق وبنسبة 2% من وزن السمنت المستعمل في كل من الخلطتين ($2M_{20}$ ، $2M_{40}$) ادى الى تقليل نسبة ماء الخلط بنسبتي 10% ، 9.5% على التوالي مقارنة بمثيلاتها الخالية من الملدن(M_{20} ، M_{40}) واقل بمقدار 6.3% للخلطة $2M_{20}$ ومساوية لماء خلط الخلطة المرجعية للخلطة $2M_{40}$ مع الحصول على هطول متقارب للخلطات . اما عند اضافة 3% من الملدن الفائق في الخلطات $3M_{60}$ ، $3M_{80}$ ، $3M_{100}$ فانها تقلل من نسبة ماء الخلط بمقدار 13.8% ، 16.13% ، 15.38% على التوالي مقارنة بمثيلاتها M_{60} ، M_{80} ، M_{100} الخالية من الملدن ولكنها تزيد عن نسبة ماء الخلط للخلطة المرجعية . كما نلاحظ تقارب هطول الخلطات الخرسانية وبمقدار 65 ± 5 ملم للخلطات وذلك من خلال التحكم بنسبة ماء الخلط (w/ c) للخلطات بالإضافة الى استخدام الملدن الفائق والذي له الاثر الكبير في تخفيض نسبة ماء الخلط للخلطات مع الحفاظ على هطول متقارب وقابلية تشغيل متشابه للخلطات .

ثانيا : الخرسانة المتصلبة :

1 – الامتصاص :

يبين الجدول رقم 6 الشكل رقم 6 ومخطط رقم 4 نتائج فحص الامتصاص للخرسانية المتصلبة وبعمر 28 يوم المختلفة حيث تتزايد نسبة الامتصاص للخرسانة مع زيادة نسبة استبدال الركام الخشن المعاد تدويره في الخرسانة لنسبة الامتصاص العالية لعجينة السمنت الملامسة او المحيطة بالركام الخشن المعاد تدويره والفراغات الهوائية العالية او المحتوى الهوائي العالي بسبب المسامية العالية للركام المعاد . حيث كانت نسبة الزيادة في الامتصاص للخلطات M_{20} ، M_{40} ، M_{60} ، M_{80} و M_{100} هي 14.5%، 29% ، 45.6% ، 56.12 %، 73.78 % ،على التوالي مقارنة بامتصاص مثيلتها المرجعية M_0 وعند اضافة الملدن في الخلطة $2M_{20}$ بنسبة 2% من وزن السمنت نلاحظ التناقص الكبير الذي يحدث في نسبة الامتصاص للخرسانة حيث تكون اقل من نسبة امتصاص الخلطة المرجعية بنسبة 2% واقل من امتصاص مثيلتها M_{20} الخالية من الملدن بنسبة 14.42% ويستمر هذا التناقص في نسبة الامتصاص مع زيادة نسبة الملدن المضاف بالرغم من زيادة نسبة استبدال الركام الخشن المعاد تدويره في الخرسانة كما في الخلطة $3M_{100}$ باضافة 3% ملدن مع نسبة استبدال 100% بالركام الخشن المعاد فقد سجلت نسبة انخفاض في الامتصاص بمقدار 11.47% عن مثيلتها M_{100} الخالية من الملدن ولكنها تبقى اعلى من نسبة امتصاص الخلطة المرجعية M_0 بنسبة 53.84% .

2 – الكثافة الجافة :

الجدول رقم 6 الشكل رقم 7 ومخطط رقم 5 تبين النتائج التناقص المتزايد في الكثافة الجافة للخرسانة المتصلبة وبعمر 28 يوم المختلفة مع زيادة نسبة استبدال الركام الخشن المعاد تدويره في الخرسانة حيث تناقصت الكثافة الجافة للخلطات M_{20} ، M_{40} ، M_{60} ، M_{80} و M_{100} بنسب 1.83% ،3.67% ،4.55% ، 6% ، 8.22% ، على التوالي مقارنة بكثافة الخلطة المرجعية M_0 ولكن عند اضافة الملدن بنسبة 2% في الخلطة $2M_{20}$ تزداد كثافة الخلطة وتصبح مقاربة لكثافة الخلطة المرجعية وتزداد بنسبة 1.74% عن كثافة الخلطة M_{20} الخالية من الملدن وهكذا بالنسبة للخلطة $3M_{100}$ حيث ازدادت فيها الكثافة بنسبة 3.27% عن مثيلتها M_{100} الخالية من الملدن وذلك بإضافة الملدن بنسبة 3% لها . وقد يرجع سبب نقصان كثافة الخرسانة الى قلة كثافة الركام المعاد المستخدم وذلك لاحتواء سطحه على كمية من مونة السمنت الملتصقة به وهي اقل كثافة من الركام الخشن الطبيعي . لذلك فان نسبة النقصان في الكثافة تزداد بزيادة نسبة الركام الخشن المعاد المستبدل في الخلطة .

3 – قوى الانضغاط والشد للخرسانة :

يبين الجدول رقم 6 الشكل رقم 4 و5 ومخطط رقم 1و 2 نتائج قوتي الانضغاط والشد الانشطاري للنماذج الخرسانية للخلطات المختلفة حيث سجلت انخفاضا تدريجيا في تحملها لقوتي الانضغاط والشد وبعمري 7 و 28 يوم ويزداد هذا الانخفاض مع زيادة نسبة استبدال الركام الخشن المعاد تدويره حيث كانت نسبة النقصان في قوة الانضغاط للنماذج الخرسانية المختلفة M_{20} ، M_{40} ، M_{60} ، M_{80} و M_{100} هي 5% ، 11% ، 16% ، 20.8% ، 24.62% والنقصان في تحمل قوة الشد للخلطات المذكورة كانت 1% ، 2.76% ، 7.83% ، 12.44% ، 16.59% على التوالي مقارنة بمثيلاتها للخلطة المرجعية M_0 بعمر 28 يوم ،نلاحظ ان نسبة استبدال الركام الخشن المعاد تدويره 20% ذات تأثير قليل على قوة الانضغاط وبنسبة انخفاض 5% عنه في الخلطة المرجعية ويكون هذا التأثير اقل على قوة الشد حيث كان النقصان فيه بمقدار 1% من قوة شد الخرسانة المرجعية . وعند استخدام الملدن بنسبة 2% من وزن السمنت في الخلطتين $2M_{20}$ ، $2M_{40}$ نلاحظ حصول زيادة كبيرة في تحمل الخرسانة لقوتي الانضغاط والشد بعمر 28 يوم مقارنة بمثيلاتها الخلطة المرجعية M_0 والخلطات الخالية من الملدن (M_{20} ، M_{40}) حيث ازدادت قوتي الانضغاط والشد للخلطتين $2M_{20}$ ، $2M_{40}$ بنسبة 19% ، 6.46% للانضغاط و 35.94% ، 24.42% ، للشد نسبة لمثيلاتها المرجعية M_0 الخالية من الاستبدال والمضاف وان نسب الزيادة في قوتي الانضغاط والشد تكون اكبر عند مقارنتها بمثيلتها M_{20} ، M_{40} الخالية من المضاف . ان لإضافة الملدن للخلطتين $2M_{20}$ ، $2M_{40}$ تأثير ايجابي على قوة الشد اكبر منه على قوة الانضغاط للخرسانة . اما عند اضافة ملدن بنسبة 3% من وزن السمنت في الخلطات $3M_{60}$ ، $3M_{80}$ ، $3M_{100}$ فانه يعطي قوة انضغاط وشد اعلى من مثيلتها المرجعية M_0 بالنسبة للخلطة $3M_{60}$ وبنسبة زيادة 5.24% للانضغاط و28.11 % للشد بينما تقل قوة انضغاط الخلطتين $3M_{80}$ ، $3M_{100}$ وبنسب 4.27% ، 11% على التوالي مقارنة بمثيلاتها المرجعية . في حين

تبقى قوة الشد لهما اكبر من مثيلاتها المرجعية وبنسب 17% ، 7.37% على التوالي مما يدل على تأثير اضافة الملدن بالشكل الايجابي وبشكل اكبر على قوة الشد للخرسانة اكبر منه في قوة الانضغاط بعمر 28 يوم وذلك بسبب فعاليته في تقليل ماء الخلط والتي تصل الى نسبة 15.38% للخلطة $3M_{100}$ مقارنة بمثيلتها M_{100} الخالية من الملدن مع الحفاظ على قابلية تشغيل للخلطات .

الاستنتاجات : Conclusions

1 – يمكن استخدام الركام الخشن المعاد تدويره في انتاج خرسانة جديدة ولحد نسبة 20% بدون تأثير سلبي واضح او كبير على خواص الخرسانة (هطول ، انضغاط ، شد ، امتصاص ، كثافة) .

2 _ تزايد التأثير السلبي على خواص الخرسانة بزيادة نسبة استبدال الركام الخشن المعاد في الخرسانة ليصل قوة انضغاط الخرسانة بركام خشن معاد بنسبة 100% مايقارب ثلاثة ارباع قوة انضغاط الخرسانة بركام طبيعي المنشأ .

3 – يمكن الحصول على خرسانة ذات ركام خشن معاد مستبدل ولحد نسبة 60% ذات خواص وبمواصفات اعلى من مثيلتها ذات الركام الخشن الطبيعي فقط باستخدام الملدن الفائق بنسبتي اضافة 2% أو3% وبخواص مقاربة او اقل منها بقليل عند نسبتي استبدال 80% و100% للركام الخشن .

4 – يمكن الحصول على خرسانة ذات ركام خشن معاد مستبدل بنسبة 100% ذات كثافة جافة اقل من مثيلتها بالركام الخشن الطبيعي بنسبة 5.22 % مع نقصان في قوة الانضغاط بمقدار 11% باضافة ملدن فائق بنسبة 3% في الخلطة .

5 – تتناقص قابلية تشغيل الخلطات الخرسانية ذات الركام الخشن المعاد بزيادة نسبة الركام الخشن المعاد في الخلطة وتتحسن قابلية التشغيل للخلطات بإضافة الملدن الفائق لها ولكنها تبقى اقل مما في خرسانة الركام الاعتيادي .

6 – استبدال الركام الخشن المعاد في الخلطة يتطلب زيادة كمية ماء الخلط وبشكل متزايد يتناسب مع زيادة النسبة المستبدلة للركام ويمكن التقليل من نسبة ماء الخلط باستخدام الملدن الفائق .

الجداول والصور والأشكال البيانية والمخططات :

جدول رقم 1 : الخواص الفيزياوية للسمنت المستعمل

نوع الفحص	نتائج فحص الاسمنت	حدود المواصفة رقم 5 لسنة 1984
وقت التماسك ا – الابتدائي (دقيقة) ب – النهائي (ساعة)	 108 4.2	 ≤ عن 45 دقيقة ≥ عن 10 ساعة
تحمل الضغط MPa بعمر 3 أيام بعمر 7 أيام	 20.7 29.2	 ≤ 15 ≤ 23

جدول رقم 2 : التحليل الكيماوي للسمنت المستعمل

مركبات الاكاسيد	محتوى الاكاسيد%	حدود م.ع.ق. رقم 5 لسنة 1984
CaO	60.9	-----
SiO_2	21.1	-----
Fe_2O_3	4.2	-----
Al_2O_3	4.9	-----
MgO	3. 2	≤ 5
SO_3	2.21	≤ 2.8
الفقدان عند الحرق	2.5	≤ 4
المواد غير القابلة للذوبان	0.97	≤ 1.5
عامل الإشباع الجيري	0.89	1.02 – 0.66
C_3S	38. 7	-----
C_2S	29.5	-----
C_3A	8.8	-----
C_4AF	10. 94	-----

جدول رقم 3 خصائص الملدن الفائق المستعمل نوع (سيكامنت) Sikament-163 طبقا للمواصفة الأمريكية ACI COMMITTEE 212.

Property	Result
Type	Naphthalene formaldehyde sulphonate
Color	Dark brown
Density	1.2 kg/l
Storage	Sikament-63 must be stored free from frost
Shelf life	18 months from date of production if stored properly in original unopened packing
Dosage	0.8 – 3% by weight of cement
Packaging	5 kg and 20 kg pails, 250 drums

جدول رقم 4 تدرج وبعض خواص الركام الخشن الطبيعي والمعاد تدويره المستخدم

مقياس المنخل ملم	نسبة المواد المارة % للنموذج		حدود م.ق.ع. 45 لسنة 1984 %المقياس الاسمي للركام 20 - 5 ملم
	الركام المعاد تدويره	الركام الطبيعي	
37.5	100	100	100
20	95	98	95 - 100
10	32	41	30 - 60
5	3	5	0 - 10
2.36	0	0	0
الخاصية	نتيجة فحص النموذج		حدود م.ق.ع. 45 لسنة 1984
الوزن النوعي للحصى specific gravity	2.46	2.65	------
نسبة الأملاح SO_3 %	0.08	0.05	0.1 %≥
امتصاص الماء%	2.4	0.56	----

جدول رقم 5 تدرج وبعض خواص الركام الناعم الطبيعي (الرمل)

مقياس المنخل ملم	نسبة المواد المارة للنموذج %	م . ق . ع . 45 لسنة 1984 منطقة التدرج رقم 2
10	100	100
4.75	95.2	90-100
2.36	76.7	75-100
1.18	63.3	55-90
0.600	45.8	35-59
0.300	15.7	8-30
0.150	4.1	0-10
الخاصية	نتيجة فحص النموذج	حدود المواصفة
الوزن النوعي للرملspecific gravity	2.63	------
نسبة الأملاح SO_3	0.38 %	0.5 %≥
امتصاص الماء Water absorption	1.1%	----

جدول رقم 6 يبين أنواع الخلطات ورموزها ونتائج فحوصات الخرسانة الطرية والمتصلبة للخلطات المستخدمة * .

نسبة الخلط	رمز الخلطة	نسبة % الركام الخشن المستبدل	نسبة الملدن %	نسبة الماء / السمنت	الهطول 65 ±5 ملم	الانضغاط 28 يوم* MPa	الانضغاط 7 يوم* MPa	الشد28 يوم* MPa	الشد 7 يوم* MPa	الامتصاص 28 يوم* %	الكثافة الجافة كغم / م^3 28 يوم*
Mix. 1:2:4	M_0	0	0	0.48	70	22.90	15.34	2.17	1.41	3.51	2395
	M_{20}	20	0	0.50	68	21.75	14.29	2.15	1.52	4.02	2351
	M_{40}	40	0	0.53	65	20.38	13.15	2.11	1.39	4.53	2307
	M_{60}	60	0	0.58	63	19.23	12.32	2.00	1.33	5.11	2286
	M_{80}	80	0	0.62	62	18.13	11.46	1.90	1.27	5.48	2250
	M_{100}	100	0	0.65	60	17.26	10.66	1.81	1.23	6.10	2198
	$2M_{20}$	20	2	0.45	66	27.25	19.07	2.95	1.94	3.44	2392
	$2M_{40}$	40	2	0.48	62	24.38	16.58	2.70	1.80	3.96	2357
	$3M_{60}$	60	3	0.50	65	24.10	17.14	2.78	1.86	4.40	2368
	$3M_{80}$	80	3	0.52	68	21.92	15.28	2.54	1.67	4.77	2328
	$3M_{100}$	100	3	0.55	65	20.38	13.78	2.33	1.55	5.40	2270

* القراءة تمثل معدل فحص ثلاث نماذج

صورة رقم 1 نماذج مكعبات مفحوصة وتالفة

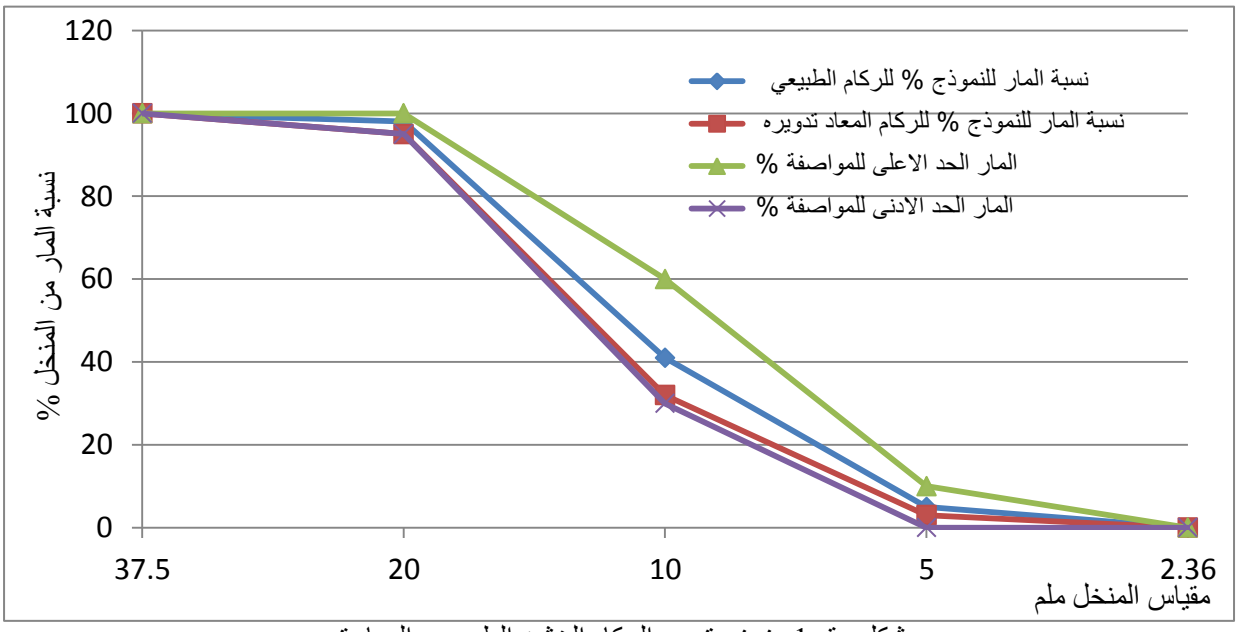
صورة رقم 2 مراحل تكسير خرسانة المكعبات

صورة رقم 3 مراحل تكسير خرسانة المكعبات

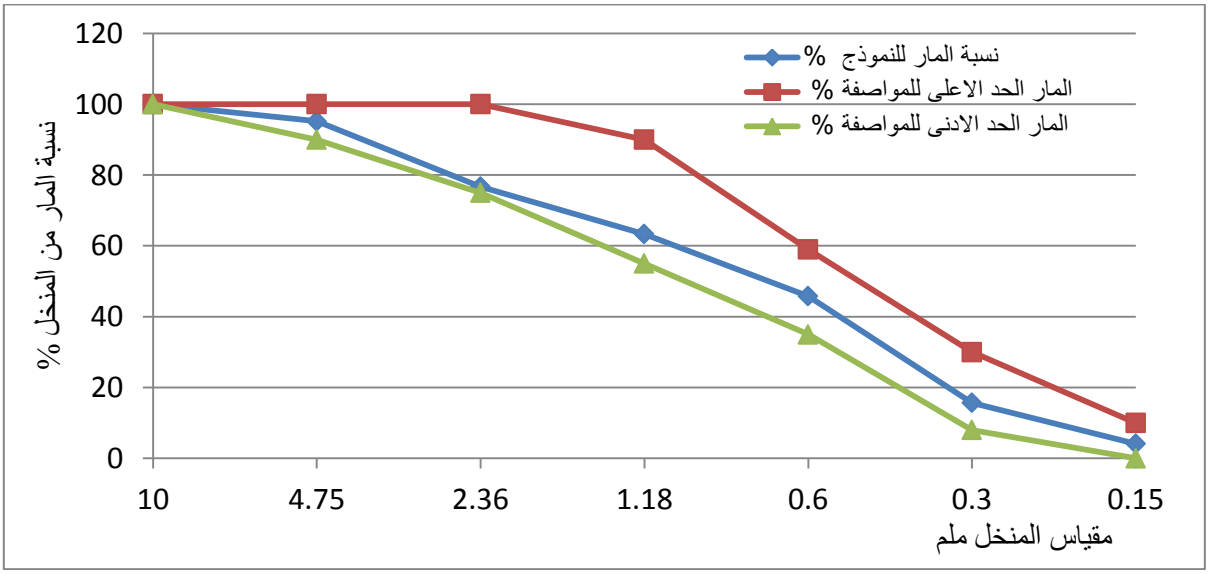
صورة رقم 4 مراحل تكسير خرسانة المكعبات

صورة رقم 5 ركام خشن معاد تدويره

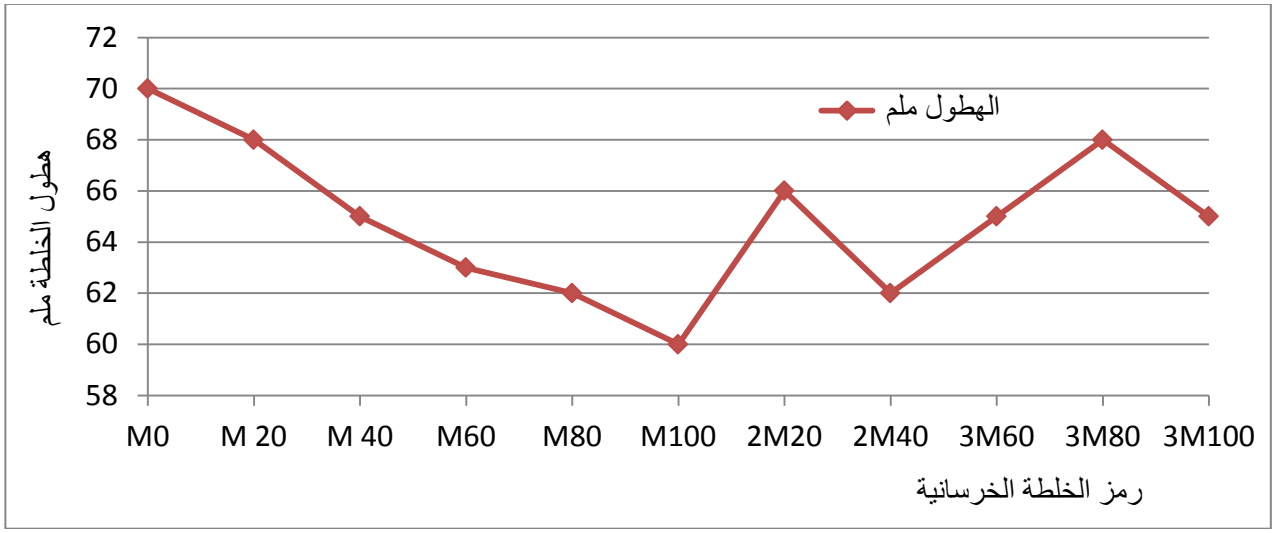
صورة رقم 6 ركام خشن معاد تدويره



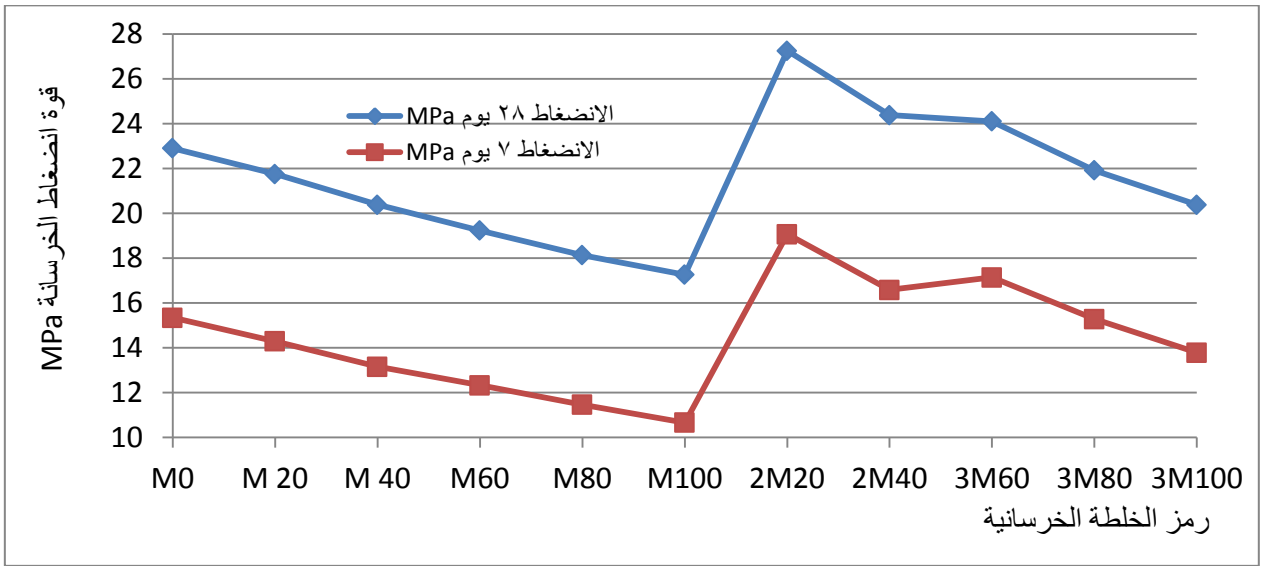
شكل رقم 1 منحني تدرج الركام الخشن الطبيعي والمعاد تدويره



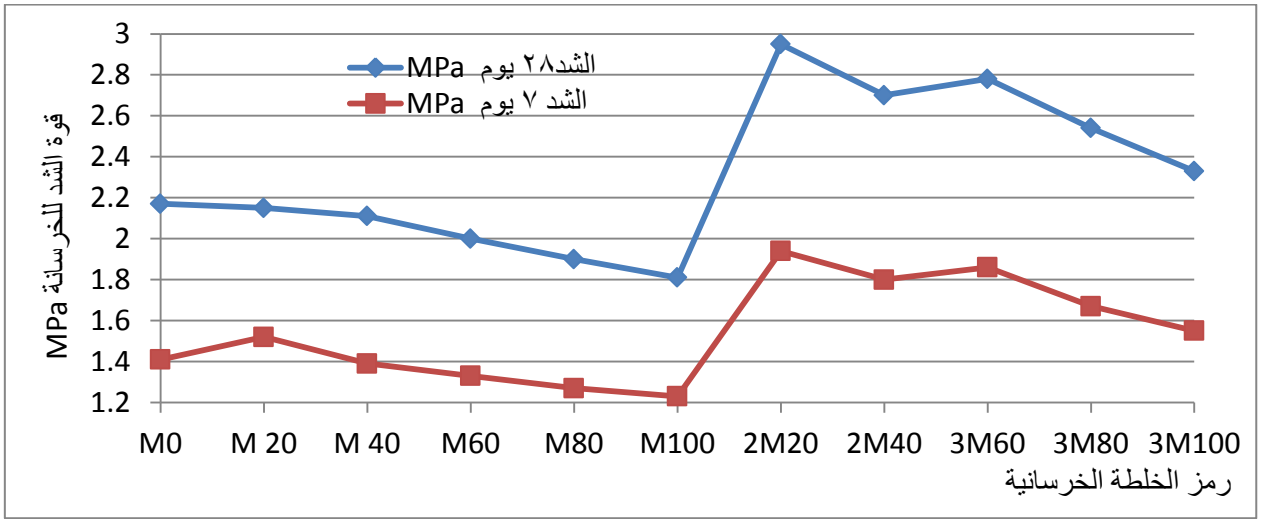
شكل رقم 2 منحني تدرج الركام الناعم الطبيعي



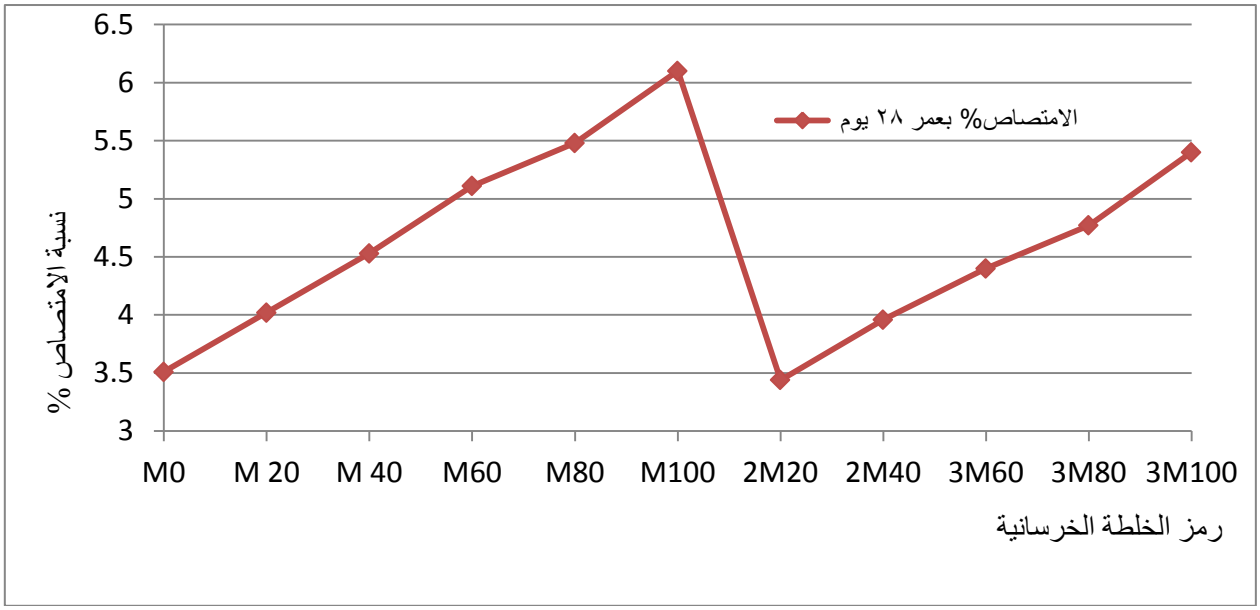
شكل رقم 3 الهطول للخلطات الخرسانية ملم



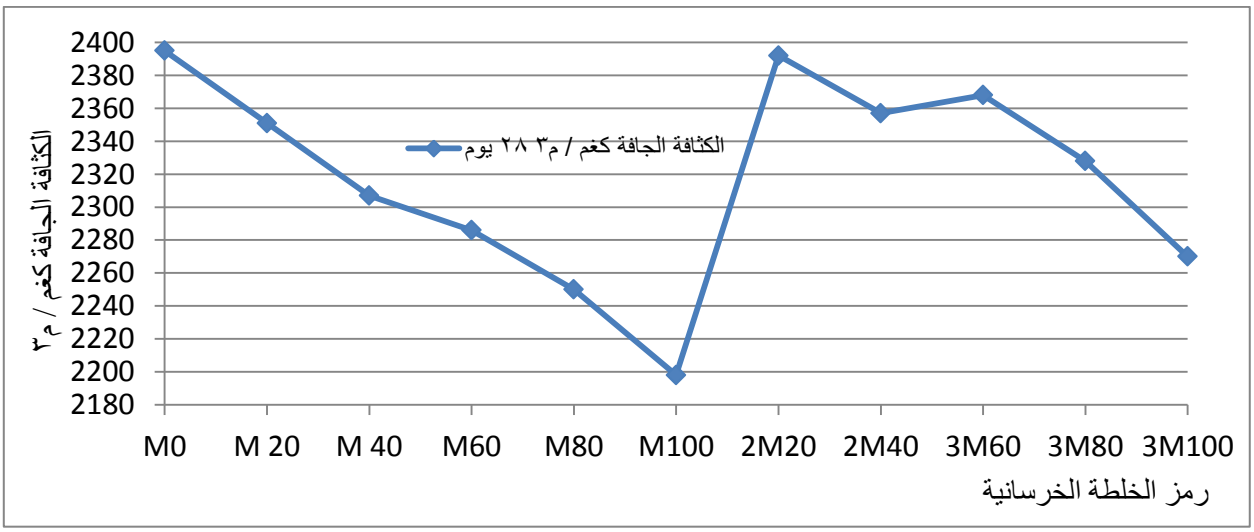
شكل رقم 4 قوة انضغاط الخرسانة بعمري 7 و 28 يوم



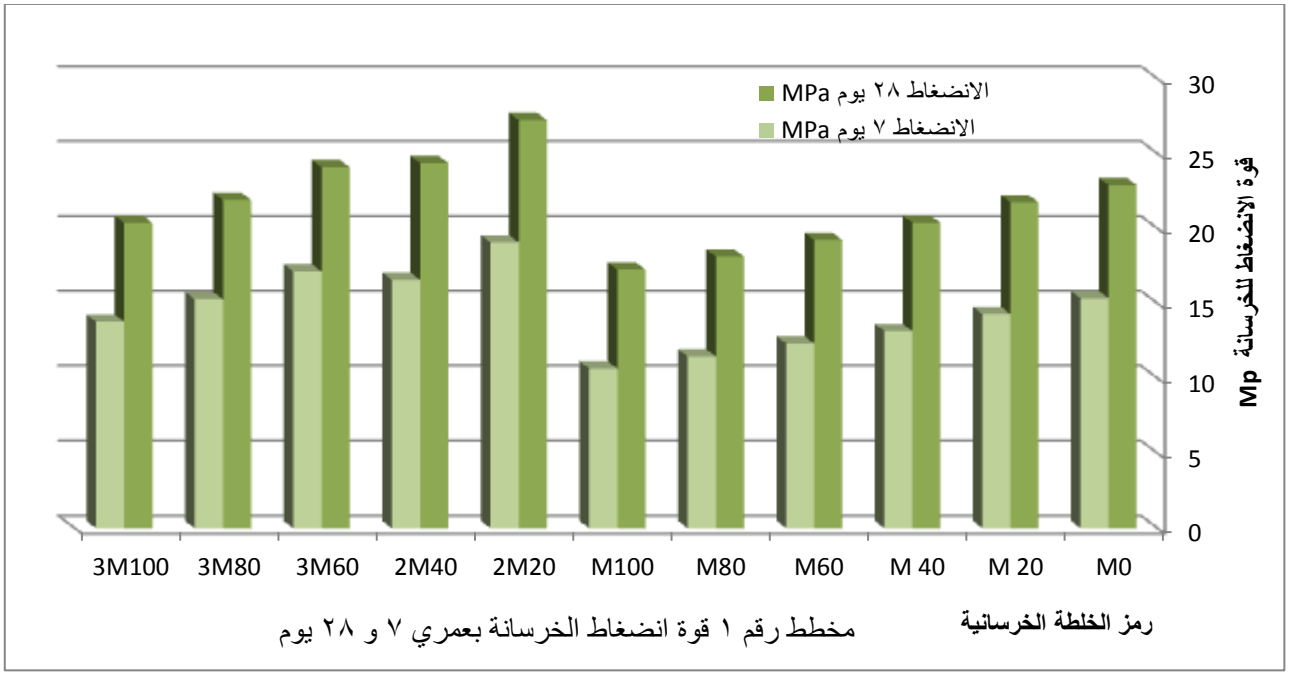
شكل رقم 5 قوة الشد الانشطاري للخرسانة بعمري 7 و 28 يوم



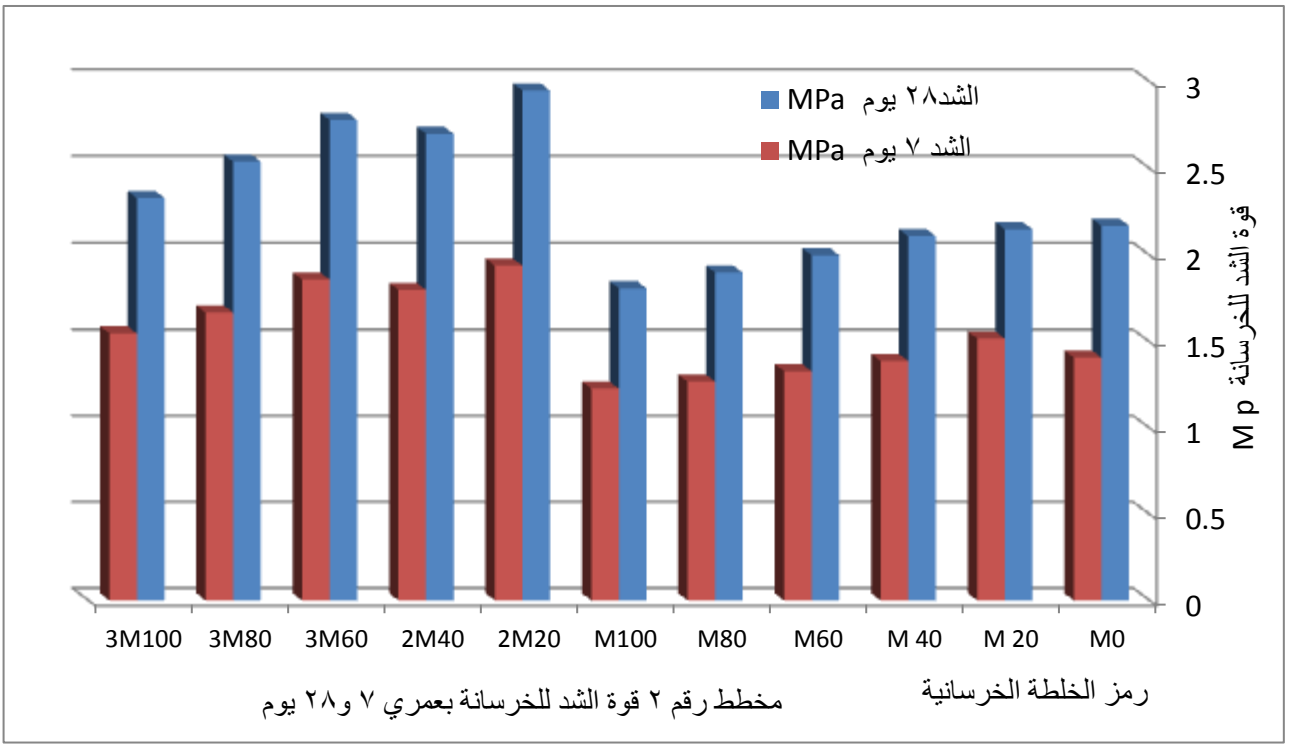
شكل رقم 6 نسبة الامتصاص % للخرسانة بعمر 28 يوم



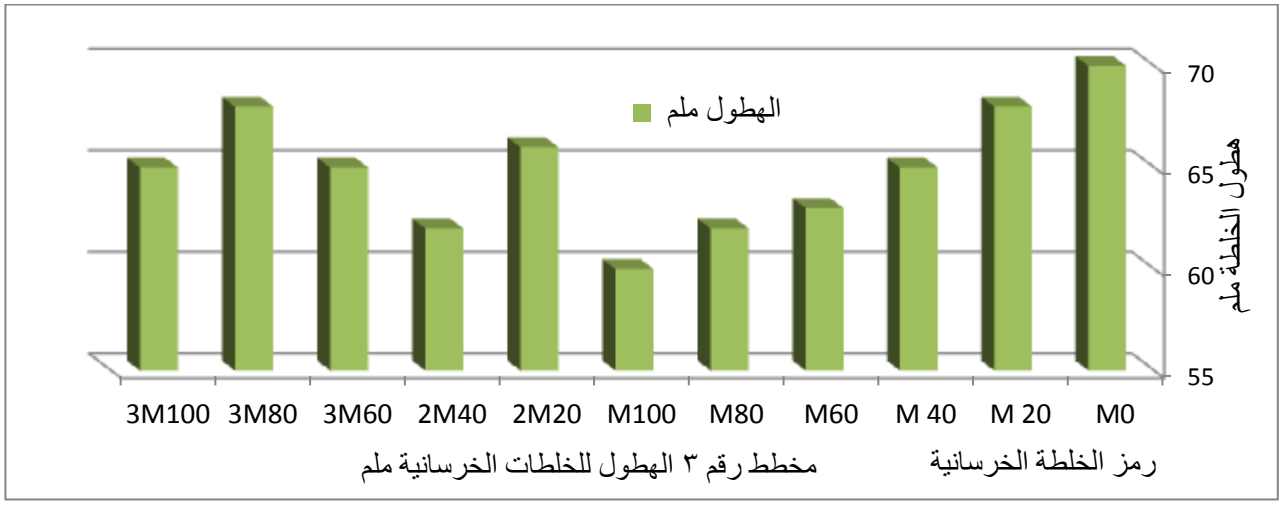
شكل رقم 7 الكثافة الجافة كغم / م^3 للخرسانة بعمر 28 يوم



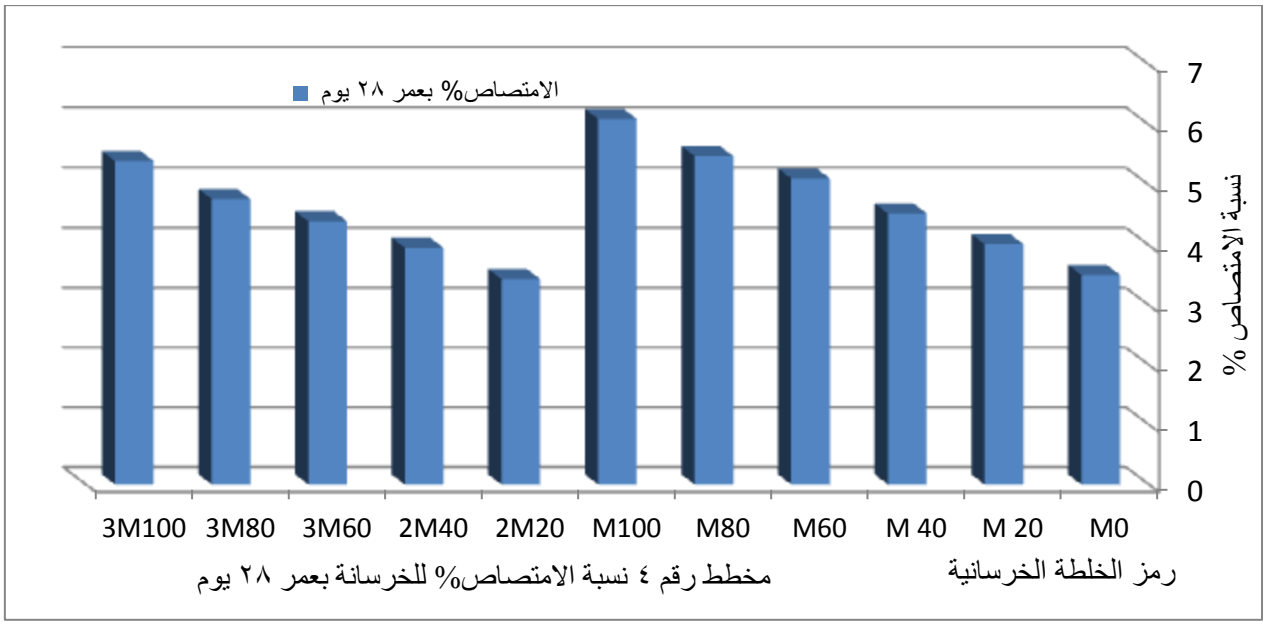
مخطط رقم ١ قوة انضغاط الخرسانة بعمري ٧ و ٢٨ يوم



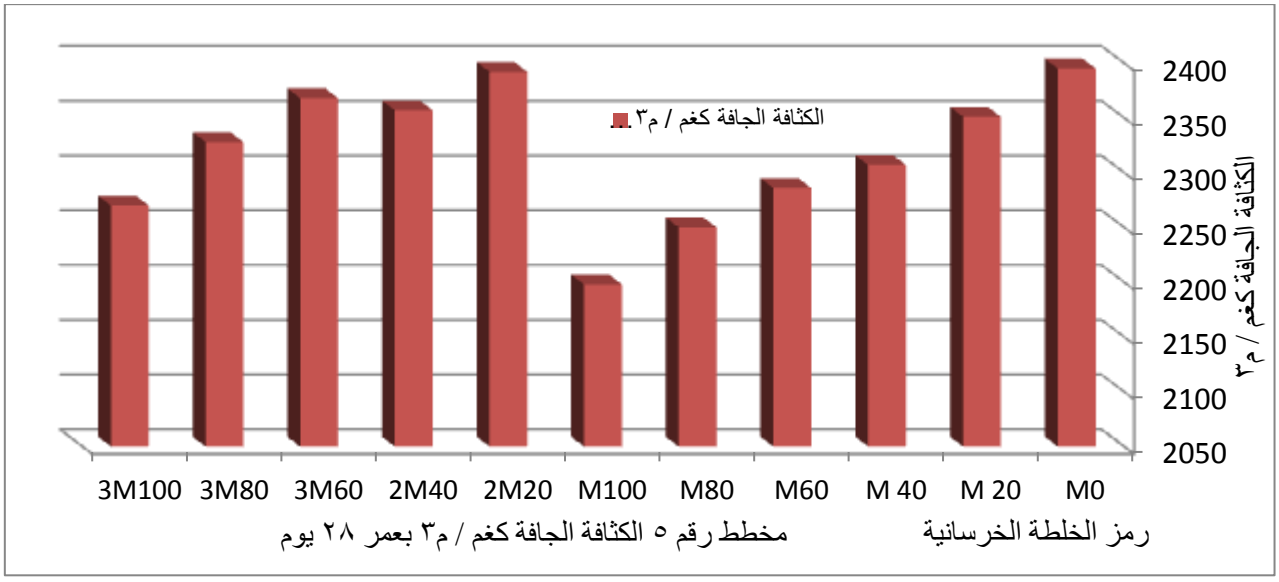
مخطط رقم ٢ قوة الشد للخرسانة بعمري ٧ و٢٨ يوم



مخطط رقم ٣ الهطول للخلطات الخرسانية ملم



مخطط رقم ٤ نسبة الامتصاص% للخرسانة بعمر ٢٨ يوم



مخطط رقم ٥ الكثافة الجافة كغم / م٣ بعمر ٢٨ يوم

المصادر : References

1 - محمود امام ، محمد امين ، 2006 " خواص المواد واختباراتها ، الجزء الثاني ، الركام ، الركام من اعادة تدوير الخرسانة ، الباب الرابع 83،92 . p p

2 - Neela Deshpande , S. S. Kulkarni , Nikhil Patil , 2011," Effectiveness of using Coarse Recycled Concrete Aggregate in Concrete " International Journal of Earth Sciences and Engineering , ISSN 0974-5904, Volume 04, No 06 SPL, October 2011, pp 913-919 .

3 – Khaldoun Rahal, 2007, "Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate", Building and Environment, Volume 42, Issue 1, January 2007, Pages 407-415.

4 - Buck. A.D., 1977 , "Recycled concrete as a source of aggregate", ACI Journal 74 (1977) (5), pp.212–219 .

5 - Hansen, T.C. and Hedegard ,S.E., 1984 "Properties of recycled aggregate concrete as affected by admixtures in original concretes", ACI Journal 81 (1984) (1), pp. 21–26.

6 - González-Fonteboa, B. and Martínez-Abella. F., 2008, " Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. Materials and mechanical properties", Building and Environment, Volume 43, Issue 4, April 2008, Pages 429-437.

7 - Kalaiarasu, S.M, and Subramanian, K., 2006 "Properties of Recycled Aggregate Concrete with Silica Fume", Journal of pplied Sciences 6(14) 2006 pp. 2956-2958.

8 - Rifat,R.,Salah,T., Ali B., and Hani, B., 2007, "Properties of Recycled Aggregate in Concrete and Road pavement applications" The Islamic University Journal, Vol.15, No. 2,2007, pp 247-264.

9 - مازن طه حامد القطان ، ايمان عبدالرحمن قاسم ، حسان عصام محمود ، 2012 " استخدام مخلفات البناء في الخلطات الخرسانية " مجلة التقني ، المجلد 25 ، العدد 3 ، 27- 20 .pp .

10 - Sarab A. Hameed, 2013, " Mechanical Properties of Fiberous Recycled Aggregate Concrete" Tikrit Journal of Engineering Sciences/Vol.20/No.4/ March 2013, pp (42-52)

11 - Keith W. Anderson, Jeff S. Uhlmeyer, and Mark Russell , 2009 , " Use of Recycled Concrete Aggregate in PCCP: Literature Search" REPORT NO. WA-RD 726.1
Special Report , Washington State Department of Transportation Materials Laboratory, MS-47365 Olympia, WA 98504-7365

12- حيدرعباس جبار ، 2013 ،"بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة ذاتية الرص المستخدم فيها الخرسانة المعادة كركام " رسالة الماجستير ، الجامعة المستنصرية .

13 – M.C. Limbachiya , T. Leelawat and R. K. Dhir , 2000 " Use of recycled concrete aggregate in high- strength concrete" Materials and Structures , Vol. 33 , November 2000 , pp 574 – 580

14 – G. D. Awchat , N. M. Kanhe , 2008 , " Some studies on recycled aggregate concrete with and without polymer" Liu, Deng and Chu (eds) © 2008 Science Press Beijing and Springer – Verlag GmbH Berlin Heidelberg Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation .

15 - Dr. Shakir A. AL-Mashhadani , Dr.Shatha Sadiq , 2013 " Using Recycled Construction Rubbles to Improve the Properties of Subbase " 1st International Conference for Geotechnical Engineering and Transportation ICGTE in24-15/4/2013 , Eng. & Tech. Journal , Vol.31,Part (A) , No. 21 , 2013

16 - المواصفة القياسية العراقية رقم (5) لسنة (1984) " الأسمنت البورتلاندي" الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية

17 - المواصفة القياسية العراقية رقم(45) لسنة (1984) "ركام المصادر الطبيعية المستعمل في الخرسانة والبناء" الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية - بغداد

18 - British Standards Institute, (1989) British Standards B. S. 1881, Part 116" Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes ", 3 pp,

19- Annual Book of ASTM(1996) Standards American Society for Testing and Materials, ASTM C 496 – 96 "Standard Test Method for Splitting Tensile of Cylindrical Concrete Specimens" Vol.o4 – o2,

20- British Standards Institute, (1989) British Standards B. S. 1881, Part 122" Method for Determination of water Absorption" 2pp

21- ASTM C143 " Slump of hydraulic cement concrete" Amercan Society for Testing and Materials Vol . 14 -02