الجامعة الوطنية الخاصة
Al-Wataniya Private University
كلية الهندسة المدنية

تعزيز وتحسين الرصف الصلب لمدارج المطارات باستخدام الخرسانة عالية الأداء

Enhancing and improving the rigid pavement of airport runways using high-performance concrete

تصميم الخلطة الخرسانية وفق
ACI 318
ASTM

تقييم النتائج باستخدام
FAARFIELD

إعداد الطالبة : رزان خالد الهزاز

بإشراف

د.م. نور الدين محمد خلف

ملخص

تم في هذا البحث :

- **اختيار و تقييم مواد شائعة الاستعمال في الخلطات الخرسانية في منطقتي (حمص – حماه) و إضافة نوع اسمنت تركي الصنع بديلاً عن اسمنت معمل حماه بهدف تشكيل خلطات خرسانية جيدة .**
- **استخدام المواد وطريقةِ ACI 318 لتصميم نوعين من الخلطات (خرسانة عادية – خرسانة عالية الأداء باستخدام المضافات الكيميائية (الملدنات الفائقة))**
- **تقييم و حساب المقاومة الاسطوانية و المكعبية النهائية الجافة بين الخلطتين.**
- **تقييم نتائج استخدام كل خلطة في الرصف الصلب لمطار اللاذقية من حيث التوفير في سماكة الرصف باستخدام FAARFIELD.**
- **وضع توصيات من أجل تحسينات في الخلطات الخرسانية للرصف الصلب مستقبلاً.**

مقدمة

يراد في هذا البحث تصميم خلطة خرسانية بإضافة المضافات الكيميائية لتحسين مقاومة البيتون المستخدم في مهابط الطيران على الانعطاف.

الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قدرة تحمل الرصف الصلب للمهابط واستيعاب التطور الحاصل في علم الطيران (زيادة الحمولات و السرعة و القوى الديناميكية)

يراد إذاً في هذا البحث :

- تحسين مواصفات مهابط الطيران في القطر العربي السوري لمواكبة التطور الحاصل في النقل الجوي .
- تشجيع و جذب المستثمرين للاستثمار في بيئة آمنة من طرق و بنية تحتية متطورة و خدمة جيدة تليق بالوطن الذي نسعى إلى إعادة إعماره و النهوض به .
- إن تصميم خلطة خرسانية ذات مقاومة و أداء عالي يوفر بالنسبة لخزينة الدولة تكاليف تحسين و صيانة المطارات بعد خروج بعضها عن الخدمة و الأضرار التي حصلت في الأعوام الأخيرة من الثورة السورية التي انتهت بسقوط النظام البائد في 8 كانون الأول من عام 2025 .
- شكر خاص :

د.م. عبد القادر الجندي د.م.ديالا أولاد

أ. سامح الحلبي م. عامر كف الغزال

أ.م محمد حافظ تاجو أ.م باسل جبيلي

Abstract

In this research:

Common materials used in concrete mixes in the regions of Homs and Hama were selected and evaluated, with the addition of a Turkish-made cement as an alternative to the cement produced by the Hama factory, aiming to create high-quality concrete mixes.

The materials and the ACI 318 method were used to design two types of mixes: (A) ordinary concrete and (B) high-performance concrete using chemical admixtures (superplasticizers).

The cylindrical and cubic compressive strength of both mixes was evaluated and calculated.

The results of using each mix for rigid pavement at Lattakia Airport were assessed in terms of the reduction in pavement thickness using FAARFIELD.

Recommendations were provided for future improvements in concrete mixes for rigid pavement.

Introduction

Designing a concrete mix with the addition of chemical admixtures (plasticizers) to improve the Flexural strength of the concrete used in runways. This enhancement will increase the load-bearing capacity of runways and accommodate the advancements in aviation, including increased loads, higher speeds, and dynamic forces.

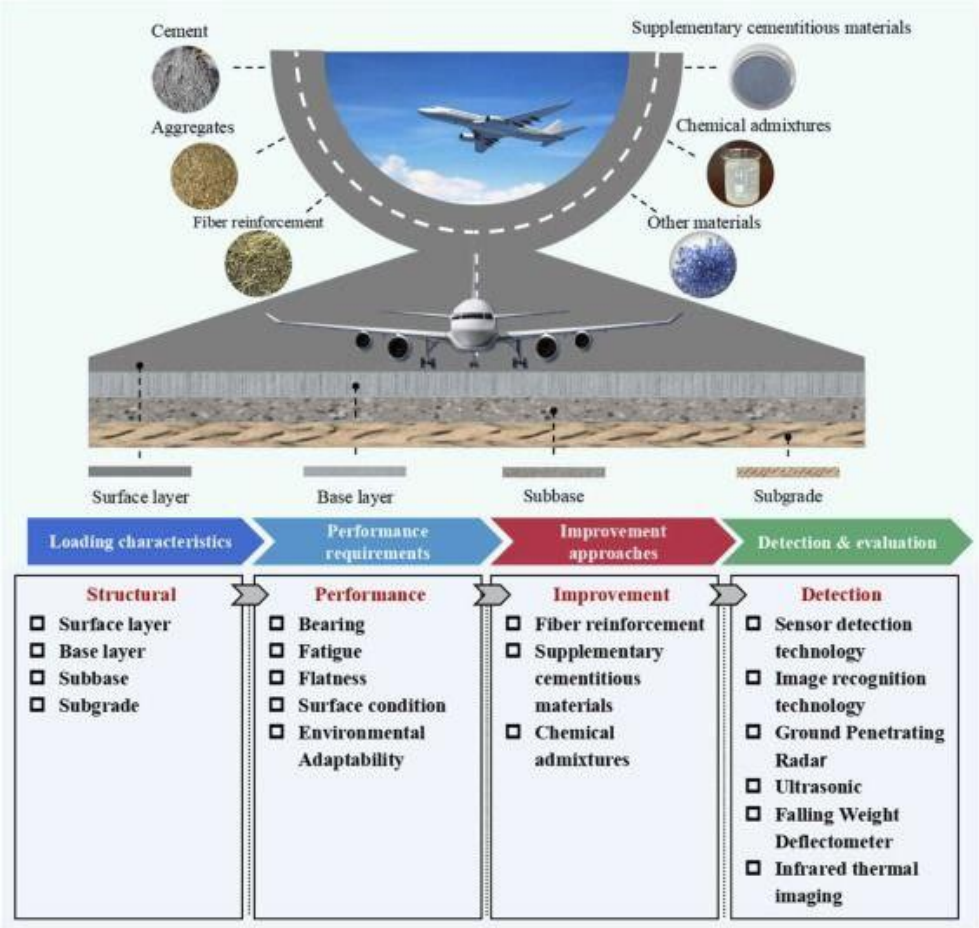
Research Objective :

- **Improving the specifications of aircraft runways in the Syrian Arab Republic to keep pace with advancements in air transport.**
- **Encouraging and attracting investors to invest in a safe environment with modern infrastructure, well-developed roads, and high-quality services befitting a nation we strive to rebuild and uplift.**
- **Designing a high-performance and high-strength concrete mix will reduce state expenditures on airport maintenance and upgrades, especially after some airports went out of service due to the damages sustained in recent years. These damages resulted during the Syrian revolution, which concluded with the fall of the former regime on December 8, 2025.**

Razan Hazaz 5th level Student, department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Al-Wataniya Private University, Hama, Syria, 5/3/2025

الرصف الصلب لمدرج المطار

❖الخصائص الهيكلية لرصف المطارات[1]



تتضمن هيكلية رصف المطار عادةً الطبقة السطحية ، وطبقة الأساس، وطبقة ما تحت الأساس، وطبقة تربة التأسيس و هذه البنية مصممة لتلبية المتطلبات المعقدة لإقلاع وهبوط الطائرات والسير على المدرج.

[1] A state-of-the-art assessment in developing advanced concrete materials for airport pavements Li, M., Zhang, W., Wang, F., Li, Y., Liu, Z., Meng, Q., Huo, F., Zhao, D., Jiang, J., & Zhang, J. (2024)

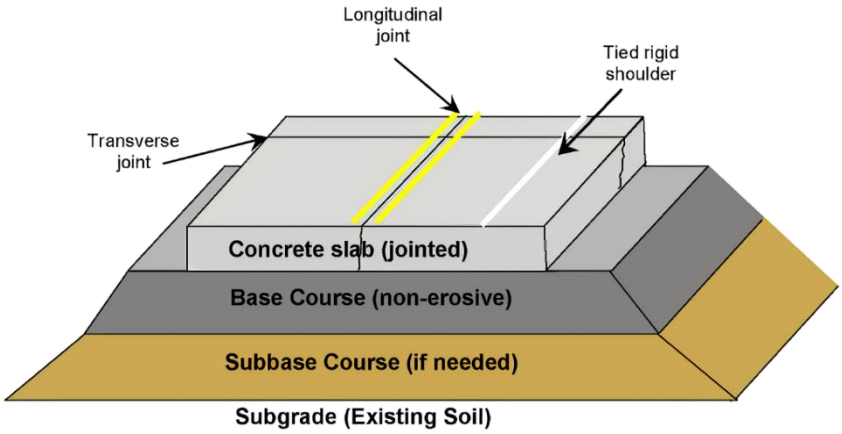
❖ الطبقة السطحية Surface Layer :

إن **الطبقة السطحية Surface Layer** تكون ملامسة مباشرة للإطارات، وبالتالي فإن خصائصها تحدد بشكل مباشر سلامة وموثوقية عمليات المطار.

تلعب الطبقة السطحية ، التي تكون في تماس مباشر مع إقلاع وهبوط الطائرات والسير على المدرج، دورًا حيويًا في هيكلية رصفة المطار. بالإضافة إلى تحمل ونقل الأحمال الناتجة عن الطائرات والمركبات الأرضية، توفر الطبقة السطحية أيضًا احتكاكًا كافيًا لعمليات هبوط عجلات الطائرات.

و بناءً على خصائص المواد في الطبقة السطحية ، **يمكن تقسيم رصف المطارات إلى رصف صلب ورصف مرن.**

الرصف الصلب يشير إلى الرصف الخرساني الذي يتمتع بقوة ومتانة ممتازة. يتم استخدامه عادةً للمطارات الدولية الكبرى والمطارات الإقليمية المحلية، ويطبق عادةً في المناطق ذات الحمولات العالية مثل المدارج الرئيسية، وممرات السير الثانوية ، والمواقف.



❖طرق تحسين الرصف الصلب :

تحسين الرصف الصلب لمدارج المطارات يتم عبر عدة طرق تساهم في تعزيز متانة الرصف الصلب وزيادة عمره الافتراضي أهمها:

1- **استخدام إضافات للخرسانة:** مثل الرماد المتطاير أو السيليكا لزيادة القوة والمقاومة للتآكل.
2- **استعمال الخرسانة عالية الأداء** و هو ما سنبحث فيه
3- **تحسين تصميم الطبقات:** بتعديل سمك طبقات الأساس والتربة الحاملة لتقليل التشققات.
4- **التحكم في التمدد الحراري:** باستخدام ألياف أو مواد تقلل من تأثير التغيرات الحرارية.
5- **زيادة مقاومة التآكل:** لتحمل العوامل الجوية والمركبات الجوية.
6- **الصيانة الدورية:** لمتابعة حالة الرصف وإصلاح أي تآكل أو تشققات.

تصميم الخلطة الخرسانية المرجعية لرصف مهبط مطار حسب الكود الأمريكي ACI 318

❖أهم العوامل المؤثرة على المقاومة حسب ACI:

1. نسبة الماء إلى الأسمنت (Water-Cement Ratio - W/C)

تعتبر أهم عامل يؤثر على مقاومة الخرسانة.

كلما انخفضت نسبة الماء إلى الأسمنت، زادت مقاومة الضغط، بشرط توفر قابلية تشغيل مناسبة. و سنستعمل الملدنات التي تخفض هذه النسبة في **الخلطة عالية الأداء (B)**

2. نوع وكمية الأسمنت (الاسمنت في الخلطة بورتلاندي)

تؤثر تركيبة الأسمنت الكيميائية وصنفه على تطور و زيادة المقاومة.

بعض الأنواع، مثل الأسمنت البوزولاني أو المقاوم للكبريتات، تؤثر على تطور المقاومة على المدى الطويل.

نوع الاسمنت المستخدم : [2] **CEM II/ (A-P) 42.5 R** اسمنت بورتلاندي تركي أسود للاستعمالات العامة (مقاومة معتدلة للكبريتات و انتاج معتدل من الحرارة)

خليط اسمنتي بورتلاندي	CEM II/ (A-P) 42.5 R
نوع الاسمنت	اسمنت يحتوي على مواد مضافة (بوزولانا طبيعية P)
كمية الإضافات المعدنية	بوزولانا طبيعية 6-20%
نسبة الكلينكر	80-94%
نوع التصلب	تصلب سريع R و مقاومة مبكرة أعلى
المقاومة المتوقعة للموشور	40 Mpa على عمر 28 يوم[3]

جدول 1 – نوع الاسمنت المستخدم

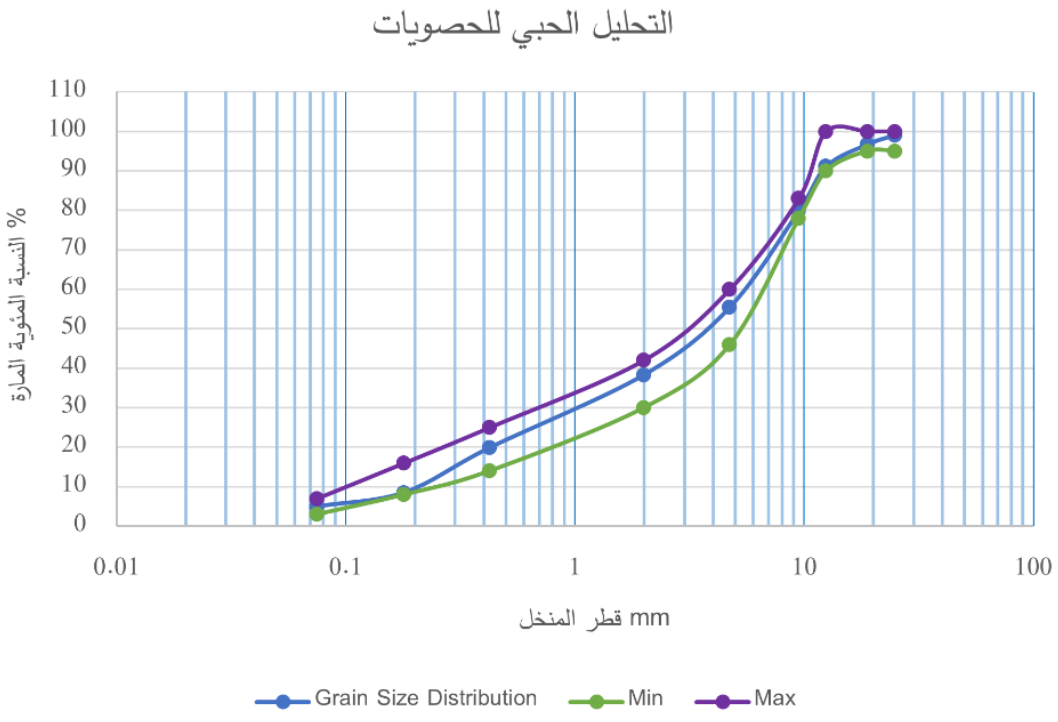
[2] ASTM C150 – 7 (American standards) , EN 197-1 (European standards), 13
[3] EN 197-1 (European standards), 22

3. نوع وخواص خليط الحصويات (Aggregates)

- يؤثر حجم، شكل، وملمس سطح الركام على قابلية التشغيل والمقاومة.
- الحصويات الخشنة جيدة التدرج حادة الزوايا (تزيد المقاومة، لكنه قد يقلل قابلية التشغيل)
- التدرج الحبي لمزيج الحصويات مطابق للمواصفات في ASTM C33[4] .
- نسبة البودرة (النواعم المارة من المنخل No.200)أقل من 5% .
- نوع الحصويات الخشنة: حجر كلسي مكسر حاد الزوايا (حصويات حسياء).

الحزمة المعتمدة في التقييم		النسبة المئوية المارة %P	النسبة المئوية المحجوزة	المحجوز المتراكم	رقم المنخل	D(mm)
Max	Min					
100	95	99.08	0.92	23	1"	25
100	95	96.76	3.24	81	3/4"	19
100	90	91.16	8.84	221	1/2"	12.5
83	78	79.92	20.08	502	3/8"	9.5
60	46	55.48	44.52	1113	No.4	4.75
42	30	38.32	61.68	1542	No.10	2
25	14	19.88	80.12	2003	No.40	0.425
16	8	8.52	91.48	2287	No.80	0.18
7	3	4.96	95.04	2376	No.200	0.075

- جدول 2 – تحليل حبي للحصويات المستخدمة بعينة وزن gr2500



[4] ASTM C33, 3 / Grading requirement for coarse aggreagates , ASTM C33 / 5 grading for fine aggreagate

- وجدت التجارب أن معامل نعومة بمقدارقريب من 3 أعطى أعلى قيمة لقابلية التشغيل و المقاومة على الضغط .
- و وجد أيضاً أن المار من المناخل No.50 و No.100 يجب أن يبقى في الحدود الدنيا ليعطي أكبر مقاومة ممكنة . [5]

4. المعالجة (Curing)

المعالجة الجيدة (بالماء أو بالبخار) تحافظ على رطوبة الخرسانة، مما يسمح باستمرار التفاعل الكيميائي للأسمنت، وبالتالي زيادة المقاومة.(يستخدم خزان لغمر العينات).

نقص المعالجة قد يسبب جفافًا مبكرًا وتشققات، مما يقلل المقاومة.

5. نسبة الخلط (Mix Proportions)

تحديد نسب الأسمنت، الركام، الماء، والمواد المضافة بشكل صحيح يضمن خرسانة ذات مقاومة عالية.

6. الإضافات الكيميائية والمعدنية (Admixtures & Pozzolans)

بعض المواد، مثل المضافات المعدنية (هباب السيليكا ، الرماد المتطاير) والمضافات الكيميائية (ملدنات، مسرعات)، تحسن المقاومة والمتانة.

- المضافات المعدنية : الاسمنت يحتوي على البوزولانا و الكلس .
- المضافات الكيميائية : الخلطة A لا تحتوي على إضافات كيميائية بينما تحتوي الخلطة B على ملدن فائق Superplasticizer

7. طريقة الصب والدمك

الصب بطريقة صحيحة يضمن توزيعًا متجانسًا للخرسانة ، أما الدمك الجيد يقلل الفراغات الهوائية، مما يحسن المقاومة. (تم استخدام خلاط آلي كهربائي).

[5] ACI 363R – 8 High strength concrete , 6 - 7

8. درجة الحرارة وظروف المعالجة

درجات الحرارة العالية تسرع التفاعل ولكن قد تسبب تشققات.

في الطقس البارد، تحتاج الخرسانة إلى حماية لمنع التجمّد قبل اكتساب مقاومة كافية.

- تم صب العينات المختبرة في درجة حرارة 15 درجة مئوية .

9. عمر الخرسانة

المقاومة تزداد مع الوقت بسبب استمرار التفاعل بين الأسمنت والماء، خاصة في الأسابيع الأولى.

تزيد المقاومة بنسبة أقل و لكن بمقدار أكبر للخرسانة عالية المقاومة . حسب **شميدت و هوفمان**[6] فإنه على عمر 90 يوماً فإن خرسانة بمقاومة Mpa 50.3 على عمر 7 يوماً تزداد مقاومتها بنسبة 37% أي تزيد بمقدار Mpa 18.6 . بينما أن خرسانة بمقاومة Mpa 17.2 على عمر 7 أيام تزيد بنسبة 68% لكن بما يعادل Mpa11.7 فقط .

10. طريقة الفحص والاختبار

اختبار المكعبات أو الأسطوانات وفق ACI 318 أو ASTM C39 يؤثر على القيم المقاسة لمقاومة الضغط.

[6] ACI 363R – 8 High strength concrete .

❖ طريقة اختيار نسب الخلط وفق الكود ACI 318[7]

طبقاً للكود (عند عدم توفر خبرة مسبقة أو خلطات تجريبية أو كلاهما) فإنه :

تحديد نوع التعرض للعوامل الجوية :

باعتبار الخرسانة لرصف مدرج مطار في منطقة لا تتعرض للصقيع كمطار اللاذقية أي أن الحرارة تتراوح سنويا بشكل وسطي بين(4 – 40) درجة بين الصيف و الشتاء أي لا يوجد تعرض للصقيع و فعل الجليد [8]:

من الجدول 4.2.1 [9] نجد أن تعرض الخرسانة للعوامل الجوية يقابل Class F0 .

من الجدول 4.3.1 [10] نجد أن $f'_c > 17$ لهذا الصنف .

[7] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019), 71.

[8] محاكاة بيانات المناخ والطقس التاريخية ل جبلة - meteoblue

[9] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019), 58.

[10] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019), 60.

الخطوة الأولى : اختيار المقاومة الوسطية المطلوبة على الضغط :[11]

من الجدول 5.3.22 باعتبار المقاومة على الضغط الوسطية في ظل عدم وجود معلومات كافية لإنشاء انحراف معياري و عدم توافر معلومات إحصائية .

نأخذ المقاومة المتوقعة 21 Mpa إذاً $21 \leq f'_c \leq 35$

$$f'_{cr} = f'_c + 8.3 \text{ Mpa} = 29.3 \text{ Mpa}$$

TABLE 5.3.2.2 — REQUIRED AVERAGE COMPRESSIVE STRENGTH WHEN DATA ARE NOT AVAILABLE TO ESTABLISH A SAMPLE STANDARD DEVIATION

Specified compressive strength, MPa	Required average compressive strength, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

جدول 3 – المقاومة الوسطية المطلوبة

نتابع الخطوات ضمن ACI 211.1[12]

الخطوة الثانية : اختيار الهبوط لمخروط ابرامز :

TABLE A1.5.3.1 — RECOMMENDED SLUMPS FOR VARIOUS TYPES OF CONSTRUCTION (SI)

Types of construction	Slump, mm	
	Maximum*	Minimum
Reinforced foundation walls and footings	75	25
Plain footings, caissons, and substructure walls	75	25
Beams and reinforced walls	100	25
Building columns	100	25
Pavements and slabs	75	25
Mass concrete	75	25

*May be increased 25 mm for methods of consolidation other than vibration

جدول 4 – اختيار هبوط ابرامز

تتراوح القيم للرصف الصلب للمطار بين (50 إلى 100 مم) و يكون الهبوط المقترح في حالة رصف المطار لتحقيق قابلية تشغيل عالية : 75 مم أو 7.5 سم

[11] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019), 70

[12] ACI Committee 211, Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete—Guide (ACI PRC-211.1-22) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2022), 21

الخطوة الثالثة :

اختيار القطر الاسمي الأعظمي للحصويات (Nominal maximum size of aggregate) :

طبقاً لـ ASTM C125 [13]

حسب تجربة التحليل الحبي التي أجريت على الحصويات المستخدمة في الخلطة الخرسانية نجد أن القطر الاسمي الأعظمي هو 12.5 (النسبة المحجوزة عليه هي 8.84 < 10 % (مقبول))

الخطوة الرابعة : تقدير كمية ماء الخلط :[14]

Slump, mm	Water, Kg/m³ of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate							
	9.5*	12.5*	19*	25*	37.5*	50†*	75†‡	150†‡
	Non-air-entrained concrete							
25 to 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 to 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 to 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	Air-entrained concrete							
25 to 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 to 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 to 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Recommended average§total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5**††	1.0**††
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5**††	3.0**††
Extreme exposure‡‡	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5**††	4.0**††

جدول 5 – تقدير كمية ماء الخلط

نعتمد حسب الجدول كمية الماء هي 216 كغ في المتر المكعب و محتوى الهواء 2.5 %

الخطوة الخامسة : تحديد نسبة الاسمنت إلى الماء : W/C

TABLE A1.5.3.4(a) — RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

جدول 6 – تحديد نسبة الماء للاسمنت

[13] ASTM C125 (American Society for Testing and Materials), 4

[14] ACI Committee 211, Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete—Guide (ACI PRC-211.1-22) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2022), 22

من الجدول [15]: بأخذ المقاومة Mpa 29.3 و باعتبار أن الجدول في المرجع يكافئ القطر الاسمي من (25 إلى 19) ، و باعتبار أن المقاومة المكافئة لنسبة معينة من W/C تزداد بنقصان القطر الاسمي ، فإننا نأخذ النسبة 0.5 و هي تعادل أكبر نسبة مسموحة محددة بالجدول A1.5.3(b)[16] أيضاً فيما لو كان المطار معرضاً للصقيع .

الخطوة السادسة : حساب وزن الاسمنت : هو كمية الماء المقدرة على نسبة W/C

بتقسيم وزن الماء على نسبة W/C نجد أن وزن الاسمنت 432 kg في المتر المكعب.

الخطوة السابعة :

تقدير كمية الحصويات الخشنة : كنسبة حجمية بواحدة الحجم Coarse Aggregate:

1) تحديد معامل النعومة (الحصويات الناعمة Fine aggregates):

لتحديد معامل النعومة[17] للحصويات الناعمة (الرمل و النحاتة) نحدد معامل النعومة لكل منهما على حدة ثم نضرب بنسب الخلط لكل منهما (المقترحة) :

	الرمل	النحاتة (الرمل الخشن)
نسبة الخلط المقترحة	0.58	0.42
معامل النعومة	1.504	3.987
معامل النعومة الوسطي للمزيج	2.546	

جدول 7 – تحديد معامل النعومة

تم تحديد معامل النعومة بعد إجراء تجربة التحليل الحبي بالمناخل لكل من الرمل و النحاتة (الرمل الخشن) و أخذ النسب المئوية المحجوزة على المناخل ASTM :

(No.100 , No.50 , No.30 , No.16 , No.8, No.4) [18]

و تقسيمها على 100 .

[15] ACI Committee 211, Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete—Guide (ACI PRC-211.1-22) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2022), 22
[16] ACI Committee 211, Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete—Guide (ACI PRC-211.1-22) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2022), 22
[17] Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). Concrete Technology (2nd ed.). Pearson Education Ltd , 61
[18] ASTM C33

ملاحظة :

❖ وجدنا في الحصويات الناعمة وجود نسبة مواد ناعمة أكبر من الموصى بها حسب ASTM C33 أي أن نسبة المار من المنخل No. 200 أكبر من 5-3% . مما قد يؤثر سلباً وفق الاتي :

- احتياج كمية أكبر من الماء
- خفض مقاومة الخرسانة
- زيادة تأثر الخرسانة بالعوامل الجوية و انخفاض الديمومة .

و في هذه الحالة سيتم زيادة نسبة الماء في الخلطة ، أو غربلة المواد الناعمة قبل الخلط .

❖ يجب أن تكون قيمة معامل النعومة بين 2.3 – 3.1 [19](محققة)

2) استخراج قيمة حجم الحصويات الخشنة (Coarse Aggreagate):

TABLE A1.5.3.6 — VOLUME OF COARSE AGGREGATE PER UNIT OF VOLUME OF CONCRETE (SI)

Nominal maximum size of aggregate, mm	Volume of dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness modulit of fine aggregate			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

*Volumes are based on aggregates in dry-rodded condition as described in ASTM C 29.

جدول 8 – تحديد قيمة حجم الحصويات الخشنة

بأخذ معامل نعومة **FM= 2.546** للحصويات الناعمة ، من الجدول[20] : تصبح نسبة البحص (الحصويات الخشنة) : **0.58**

ثم نضرب بكثافة الحصويات الجافة المكسرة [21]

[19] ASTM C33 , p 5
[20] ACI Committee 211, Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete—Guide (ACI PRC-211.1-22) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2022), 23
[21] ASTM C29 – Bulk density]

✓ بعد إجراء تجارب لتحديد الوزن الحجمي للحصويات الخشنة أي البحص و الزرادة و أخذ وسطي حسب نسب الخلط المقترحة ، و لذلك لتقدير وزن الحصويات .

- **الوزن الحجمي للبحص (مناخل 1''to 3/8'') :gr/cm^3**

الوزن الكلي مع القالب	13350	13320	13315
وزن القالب	7733	7733	7733
وزن المواد	5617	5587	5582
حجم القالب	4171.51	4171.51	4171.51
الوزن الحجمي	1.35	1.34	1.34
الوسطي	1.34		

جدول 9 – الوزن الحجمي الوسطي للبحص

- **الوزن الحجمي للزرادة (مناخل No.16 to 1/2''):gr/cm3**

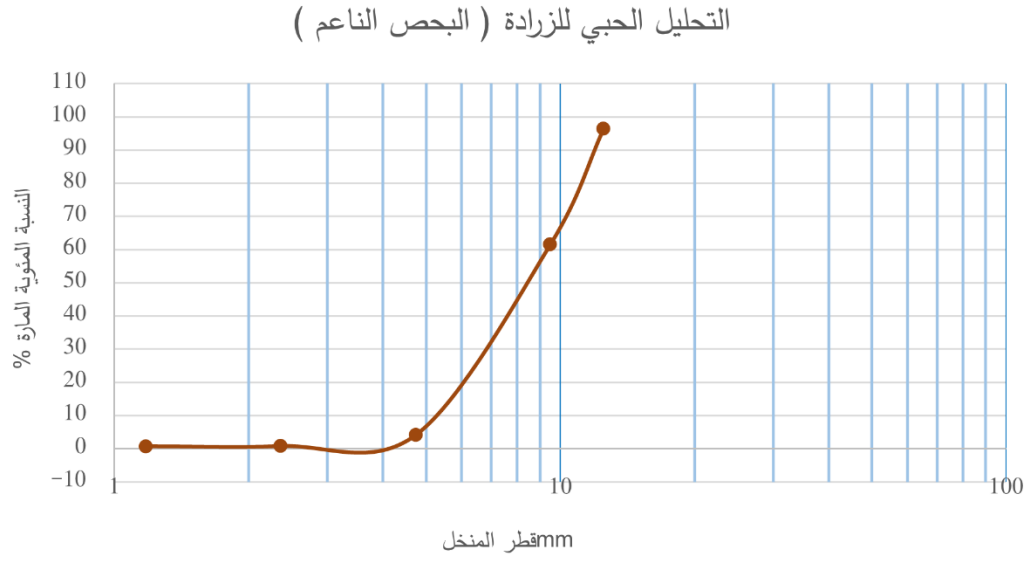
الوزن الكلي مع القالب	13450	13390	13370
وزن القالب	7733	7733	7733
وزن المواد	5717	5657	5637
حجم القالب	4171.51	4171.51	4171.51
الوزن الحجمي	1.37	1.36	1.35
الوسطي	1.36		

جدول 10 – الوزن الحجمي الوسطي للزرادة

- **نسب الخلط المقترحة :** 0.73 للبحص و 0.27 للزرادة

يصبح **وزن الحصويات الخشنة** في كامل الخلطة : $1345 \times 0.58 =$ **kg 780**

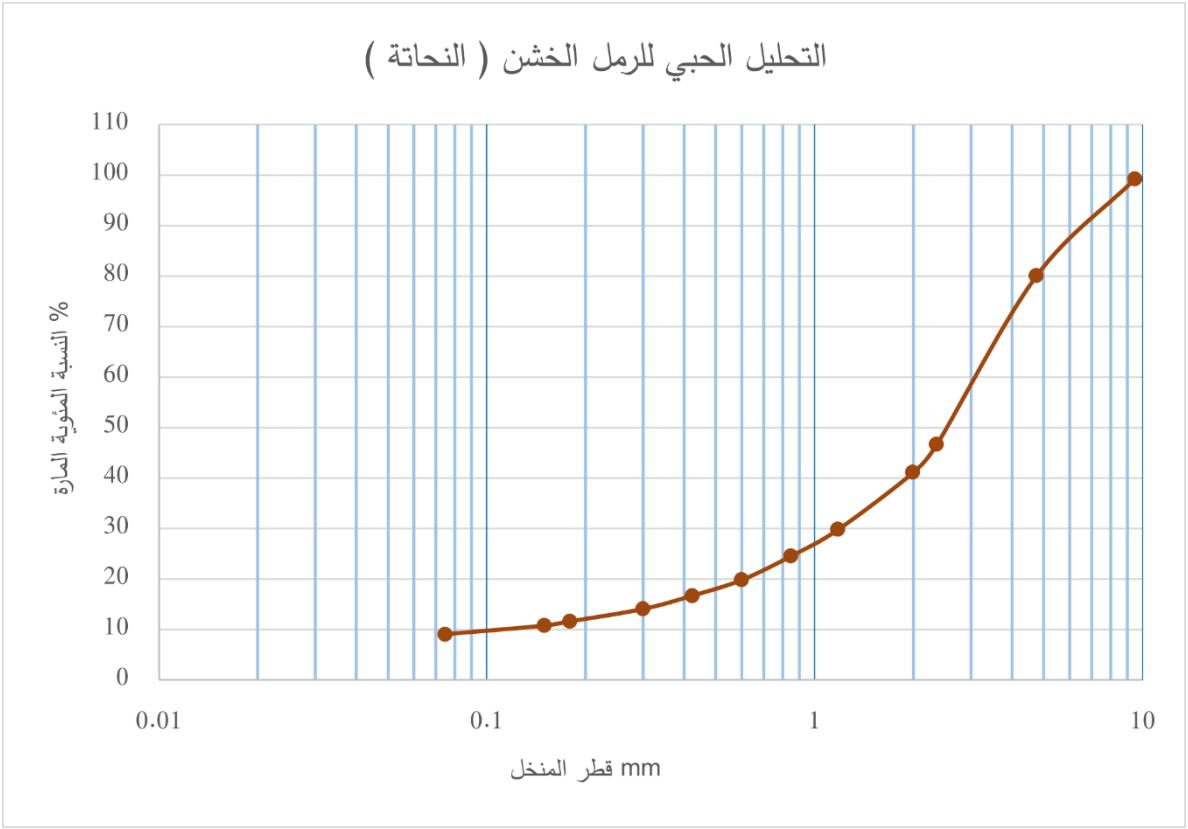
- **التحليل الحبي للزرادة (gr 1525):**



- **التحليل الحبي للنحاتة (750 gr) :**

النسبة المئوية المارة %P	النسبة المئوية المحجوزة	المحجوز المتراكم	المحجوز	رقم المنخل	D(mm)
99.27	0.73	5.5	5.5	3/8"	9.5
80.03	19.97	149.8	144.3	No.4	4.75
46.67	53.33	400	250.2	No.8	2.36
41.12	58.88	441.6	41.6	No.10	2
29.83	70.17	526.3	84.7	No.16	1.18
24.61	75.39	565.4	39.1	No.20	0.85
19.85	80.15	601.1	35.7	No.30	0.6
16.77	83.23	624.2	23.1	No.40	0.425
14.11	85.89	644.2	20	No.50	0.3
11.67	88.33	662.5	18.3	No.80	0.18
10.83	89.17	668.8	6.3	No.100	0.15
9.12	90.88	681.6	12.8	No.200	0.075

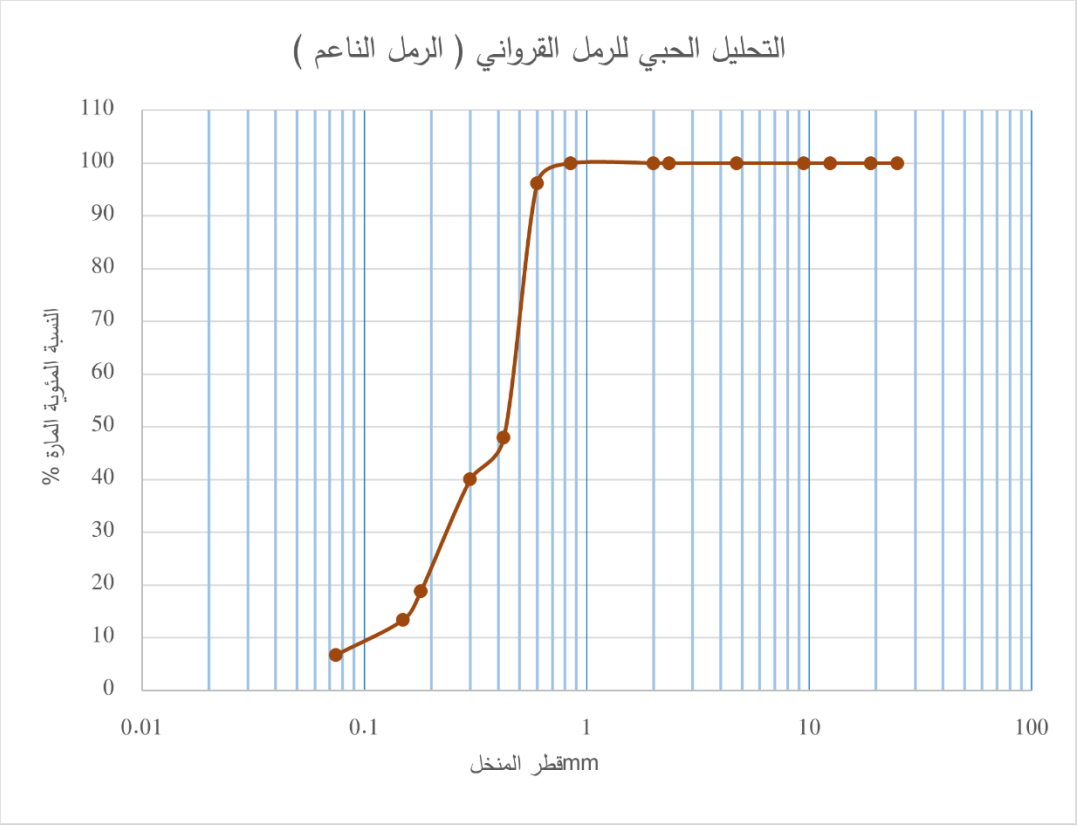
جدول 11 – التحليل الحبي للنحاتة



- **التحليل الحبي للرمل القروانى (700 gr) :**

D(mm)	رقم المنخل	المحجوز	المحجوز المتراكم	النسبة المئوية المحجوزة	النسبة المئوية المارة %P
25	1"	0	0	100	100
19	3/4"	0	0	100	100
12.5	1/2"	0	0	100	100
9.5	3/8"	0	0	100	100
4.75	No.4	0	0	100	100
2.36	No.8	0	0	100	100
2	No.10	0	0	100	100
0.85	No.20	0.3	0.3	0.04	99.96
0.6	No.30	26.5	26.2	3.79	96.21
0.425	No.40	364.2	337.7	52.03	47.97
0.3	No.50	419.9	55.7	59.99	40.01
0.18	No.80	568.5	148.6	81.31	18.79
0.15	No.100	606.1	37.6	86.59	13.41
0.075	No.200	652.1	46.6	93.24	6.76

جدول 12 – التحليل الحبي للرمل القروانى



الخطوة الثامنة :كمية الحصويات الناعمة Fine Aggregate :

a. تقدير كثافة الخرسانة حديثة الصب:

من جدول A1.5.3.7.1[22] نختار أول تقدير لكثافة الخرسانة 2310 (يسمح بالتعديل حسب الكود)

TABLE A1 .5.3.7.1 — FIRST ESTIMATE OF MASS OF FRESH CONCRETE (SI)

Nominal maximum size of aggregate, mm	First estimate of concrete unit mass, kg/m 3*	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37.5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

جدول 13 – تقدير كثافة الخرسانة حديثة الصب

b. وزن الحصويات الناعمة حسب الطريقة الوزنية Mass Basis:

2310 –(216 + 780 + 432) = 882 kg

c. تصبح نسب الخلط كما يلي حسب الكود الأمريكي :

	الوزن Kg/m^3
اسمنت	432
رمل	882
بحص	780
ماء	216

جدول 14 – نسب الخلط حسب الكود الأمريكي

الخطوة التاسعة : تعديل نسب الخلط :

- تم تعديل النسب و زيادة البحص لزيادة المقاومة و التلاحم و التقليل من التشققات .
- تم تقليل كمية الاسمنت مقارنة مع باقي المكونات و ذلك لتقليل حرارة الاماهة و تقليل الانكماش و التشقق (باعتبار الرصف بلاطات بمساحة كبيرة)
- تم تقليل نسبة الرمل بالنسبة للمكونات لوجود مواد ناعمة أكبر من المسموح به .

[22] ACI Committee 211, Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete—Guide (ACI PRC-211.1-22) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2022), 23

✓ مقارنة مع نسب الخلط المقترحة المعدلة :

	النسب حسب الكود	النسب المقترحة
اسمنت	432	405
رمل	882	929
بحص	780	855
ماء	216	239
المجموع	2310	2428

جدول 15 – نسب الخلط حسب الكود الأمريكي و المقترحة

- **و تصبح النسب النهائية (اسمنت ، بحص ، رمل) :**

2.3 : 2.1 : 1

- **تعديل نسبة الماء :** حسب نسبة الامتصاص للحصويات و نزيد كمية الماء للخلطة (باعتبار الحصويات جافة).

و كمية الماء الصافية باعتبار أن نسبة تشرب الحصويات الخشنة 0.5% و نسبة تشرب الحصويات الناعمة 0.5% هي

$(\%1.5\times 929 + \%1\times 855) + 216 =$ **239 kg**

و تصبح **W/C = 0.59** المصححة **(بدون ملدن)**

الخطوة العاشرة : تحويل النسب إلى مكعبات 15*15*15

➢ إعداد نسب الخلطة المرجعية النهائية :

➢ **حجم المكعب 3375 سم^3 أي0.003375 م^3**

النوع	الوزن في المتر المكعب	الوزن في المكعب 15*15*15	الوزن للمكعبات الثلاثة kg	1.15* kg
اسمنت	405	1.366875	4.100625	**4.72**
رمل	929	3.135375	9.406125	**10.82**
بحص	855	2.885625	8.656875	**9.96**
ماء	239	0.806625	2.419875	**2.77**
المجموع	**2428**	**8.1945**	**24.5835**	**28.27**

جدول 16 – نسب وزنية الخلط للمكعبات الثلاثة

➢ **حصلنا على النسب الآتية للخلطة المرجعية :**

المادة	النوع	مجال تقريبي للأقطارmm	النسبة الجزئية	النسبة من كامل الخلطة	الوزن لكامل الخلطة kg
اسمنت	-	-	-	0.167	**4.42**
رمل	رمل (ناعم)	75µ -0.6	0.58	0.222	**6.28**
	نحاتة (خشن)	0.6-4.75	0.42	0.1607	**4.54**
بحص	زرادة (ناعم)	19-9.5	0.27	0.0951	**2.69**
	بحص (خشن)	12.7-25.4	0.73	0.2572	**7.27**
ماء	ماء شرب	-	-	0.098	**2.77**
المجموع	-	-	-	1	**28.27**

جدول 17 – نسب و أوزان الخلط للمكونات الجزئية

➢ **نستخدم مكونات هذه الخلطة مرتين مع إجراء التعديلات المناسبة :**

1- بدون استعمال إضافات كيميائية : **الخلطة A**

2- و باستعمال مضافات كيميائية (ملدنات) **الخلطة B**

الخلطة A بدون مضافات كيميائية

➢ تجهيز المكعبات لاختبار الخرسانة على الضغط Concrete Compression Test

اختبار ضغط الخرسانة باستخدام مكعبات 15*15*15 سم يقيم مقاومة الضغط للخرسانة ويشمل الخطوات التالية:

1. تحضير المكعبات:

- توزن الكميات اللازمة من الأسمنت والحصويات الناعم (الرمل) والركام الخشن (الحصويات) والماء ، ويراعى عند حساب الوزن أن تزيد كمية الخرسانة المخلوطة عن الخرسانة اللازمة لملئ القوالب بحوالي 15% وذلك لتعويض أي فقد قد يحدث أثناء الإختبار.
- يُعد قالب الاختبار وتُغطى أوجه القالب الداخلية بطبقة رقيقة من الزيت الخفيف.
- تخلط مكونات الخرسانة بالخلاطة الآلية خلطاً جيداً حتى يصبح لونها متجانس.

2. مخروط ابرامز :[23] بمجرد الإنتهاء من الخلط تُجرى اختبارات القوام (الهبوط)

❖ سجلت قيمة الهبوط للخلطة A: 8.5 سم

[23] ASTM C143/143M

3. **الصب و الرص :** بعد إختبارات الخرسانة الطازجة يُملأ القالب مباشرة بالخرسانة على 3 طبقات وتدك كل طبقة يدوياً حتى ترص الخرسانة رصاً تاماً دون حدوث إنفصال حبيبي.

4. **التصلب :** تغطى القوالب بعد صبها مباشرة وتوضع في مكان درجة حرارته 15 إلى 20 درجة مئوية لفترة 24 ساعة ويلاحظ أن لا تتعرض لأي إهتزازات.

5. **التخزين و الغمر :** تؤشر العينات الخرسانية بعد ذلك ثم تفك من القوالب وتُغمر في الحال في ماء نقي درجة حرارته حوالي 20 درجة مئوية وتُترك حتى وقت الإختبار ويُفضل ترك مسافات بين المكعبات في أحواض المعالجة كما يُنصح بعدم وضع المكعبات فوق بعضها.

6. **وزن العينات** لتحديد رطوبة و تشبع العينات بالماء : (عينات الخلطة A)

العينة	الوزن عند الصب Kg	الوزن عند الكسر kg	
1	8316	8311	نقصان في الوزن و العينات رطبة
2	8228	8221	
3	8126	8120	

جدول 18 – وزن العينات للخلطة A

7. الكسر :

تختبر العينة بوضعها بجهاز الإختبار حيث يلزم أن يكون وجهي العينة الملامسين لسطحي رأس الجهاز هما الوجهين المقابلين للسطح الداخلي للقالب المعدني لضمان استوائهما وتوازيهما .

- **كسر 3 عينات على عمر 28 يوماً**

- **الشكل النموذجي للكسر :**[24]

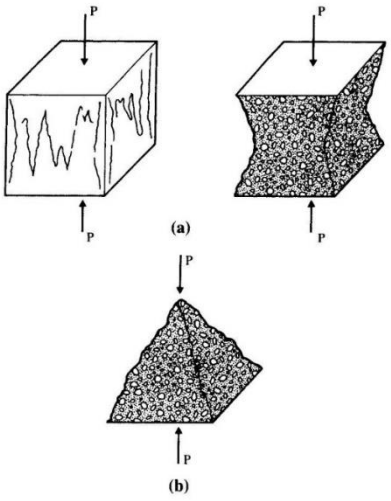


Fig. 16.1: Typical satisfactory failure modes of test cubes according to BS EN 12390–3: 2002: (a) non-explosive, and (b) explosive

[24] Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). Concrete Technology (2nd ed.). Pearson Education Ltd , 300

8. تسجيل النتائج:

تُحسب قوة الضغط بقسمة القوة على المساحة (150 سم²)، وتُعبر النتيجة بوحدات ميغاباسكال (MPa). و حسب المطلوب تحول المقاومة المكعبية لاسطوانية بعوامل التحويل .

المقاومة الاسطوانية = المقاومة المكعبية × 0.8

8. تفسير النتائج:

تُقارن القيم المسجلة بالمعايير المطلوبة لضمان جودة الخرسانة.

هذا الاختبار أساسي لضمان سلامة المشروع (الرصف الصلب للمدرج).

الخلطة الخرسانية Concerte mix (A)					
نوع العينات	W/C	عدد العينات	الهبوط	تاريخ الصب	تاريخ الكسر
بدون ملدن	0.59	3	8.5 سم	pm 12:00 2025/1/14	2025/2/11

جدول 19 – الخلطة A

- **نتائج الكسر :**

الخلطة الخرسانية Concerte mix (A)			
رقم العينة	1	2	3
المقاومة الرطبة Mpa	33.1	32	32.3
نسبة انخفاض المقاومة في حالة رطبة أكثر من SSD : 17%			
المقاومة المكعبية	38.72	37.4	37.8
المقاومة الاسطوانية	31	29.95	30.2
المقاومة الوسطية	Mpa 30.38		

جدول 20 – نتائج كسر الخلطة A

✓ **النتائج مناسبة لنسب الخلط التجريبية 1:2.3:2.1، و عيار الاسمنت 400 kg/m3 ونسبة الاسمنت للماء المأخوذة 0.59 .**

الخلطة الخرسانية عالية الأداء B

➢ الخرسانة عالية الأداء HPC :[25]

تم تعريف **الخرسانة عالية الأداء (HPC)** على أنها الخرسانة التي تتمتع بقابلية تشغيل عالية وقوة عالية ومتانة عالية. وقد عرّفها معهد الخرسانة الأمريكي (ACI) بأنها الخرسانة التي يتم تطوير خصائص معينة لها لتناسب تطبيقًا معينًا وبيئة محددة. كما يعرف ACI[26] **الخرسانة عالية المقاومة HSC** بأنها الخرسانة التي تمتلك مقاومة ضغط مصممة تساوي 6000 رطل لكل بوصة مربعة (**41 ميجا باسكال**) أو أكثر.

تتأثر نسب الخلط للخرسانة عالية الأداء (HPC) بالعديد من العوامل، بما في ذلك الخصائص المطلوبة للأداء، والمواد المتاحة محليًا، والخبرة المحلية، والتفضيلات الشخصية، والتكلفة. ومع تطور التكنولوجيا اليوم، هناك العديد من المنتجات المتاحة التي يمكن استخدامها مع الخرسانة لتعزيز خصائصها.

يتمثل التطبيق الأساسي للخرسانة عالية الأداء في الهياكل التي تتطلب عمر خدمة طويل، مثل منصات حفر النفط والجسور ذات الفتحات الطويلة ومواقف السيارات .

➢ الملدنات الفائقة Superplasticizers :

أهم المضافات الكيميائية التي تستخدم في الخرسانة عالية الأداء تشمل الملدنات الفائقة **(Superplasticizers)** التي تعمل على تحسين قابلية التشغيل وتقليل نسبة الماء إلى الأسمنت، مما يزيد من كثافة الخرسانة ويعزز مقاومتها للضغط.

من أجل إنتاج خرسانة أقوى، يتم تقليل كمية المياه المضافة دون أن نجعل خليط الخرسانة أقل قابلية للتشغيل ويصعب خلطه ، يُعد هذا الأسلوب في تصميم الخلطات شائعًا بشكل خاص عند إنتاج الخرسانة عالية المقاومة والخرسانة المسلحة بالألياف.

عادةً ما يكون من الكافي إضافة **1-2%** من الملدن لكل واحدة وزن من الأسمنت. ومع ذلك، فإن إضافة كمية زائدة من الملدن تؤدي إلى انفصال لمكونات الخرسانة. وأيضاً فإنه بناءً على نوع المادة الكيميائية المستخدمة، قد يؤدي الاستخدام المفرط للملدن إلى تقليل زمن التصلب.

---

[25] Shanagonda, A., & Kolla, A. C. (2017). High Performance Concrete. International Journal of Science and Research (IJSR), 6(1), 366-368

[26] ACI 363R-92 Report on High-Strength Concrete

استخدم في **الخلطة (B)** الملدن **HRW-3500** **بالمواصفات التالية :**

❖ميزاته:

- زيادة قابلية الخلطة الخرسانية للتشغيل لسهولة الصب.
- ضمان ملء المشدات بالخرسانة جيداً و التغلغل من خلال شبكات التسليح المتشابكة نتيجة السيولة العالية.
- تسهيل عملية دمك الخرسانة و تقليل نسبة حدوث فراغات.
- اكتساب مقاومة ابتدائية مبكرة.
- تقليل نسبة حدوث ظاهرتي الانفصال الحبيبي و نضح الخرسانة.

❖مطابقة المعايير :

مطابق للمواصفات الأمريكية و الأوروبية [27]

❖مواصفاته :

HRW-3500[28] متوافق مع الاسمنت البورتلاندي المستخدم	
نوعه كمادة مضافة للخرسانة	Type A and F
العيار المستخدم Dosage	2% من وزن الاسمنت
وظيفته	مخفض ماء عالي النطاق في خليط الخرسانة
محتوى الماء الأعظمي للخلطة	0.88%
المقاومة المتوقعة على الضغط بعمر 28 يوم	110% من المقاومة المطلوبة في العينات المختبرة و لا تقل عن 90% من المقاومة المطلوبة في كل عينة.
تأخير زمن التصلب	لا يزيد زمن بدء التصلب
الطقس المناسب	الأجواء الحارة
الخفض في كمية الماء	حتى 30%
الوزن النوعي	1.17 kg/L
محتوى الهواء بالخرسانة	لا يدخل الهواء بالخرسانة

جدول 21 – مواصفات الملدن المستخدم

[27] ASTM C 494 TYPE F&A, 3 – Table 1 / BS.50751/1974
[28] شركة ايزوبيت لصناعة المواد العازلة www.isobitsy.com

✓ اعتمدنا في الخلطة (B) نفس المواد للخلطة المرجعية A و لكن باستخدام الملدن السابق مع تعديل نسبة الماء للاسمنت و نسب الخلط بسبب نقصان كمية الماء مع ثبات تقريبي للكثافة المقترحة للاسمنت :

➢ إعداد نسب الخلطة B :

➢ **حجم المكعب 3375 سم^3 أي0.003375 م^3**

النوع	الوزن في المتر المكعب	الوزن في المكعب 15*15*15	الوزن للمكعبات الثلاثة kg	1.15* kg
اسمنت	411	1.387125	4.161375	4.79
رمل	957	3.229875	9.689625	11.14
بحص	886	2.99025	8.97075	10.31
ماء	176	0.59565	1.78695	2.055
المجموع	2430	8.2029	24.6087	28.295

جدول 22 – نسب و أوزان الخلط للخلطة B

- نلاحظ زيادة كثافة الخلطة عند استعمال الملدن .
- نسبة الملدن 2% من وزن الاسمنت قبل تعديل نسب الخلط أي **gr 94.4**
- أي أن نسبة الملدن الفعلية لوزن الاسمنت هي 1.97%
- يضاف الملدن إلى ماء الخلط قبل إضافته للخلطة .
- وجد عند إضافة الملدن أن كمية الماء المضافة (مع الملدن) هي 2.055 kg
- أي أن نسبة الماء انخفضت إلى **W/C = 0.429**

➢ نسب الخلط المعدلة للخلطة B :

المادة	النوع	مجال تقريبي للأقطارmm	النسبة الجزئية	النسبة من كامل الخلطة	الوزن لكامل الخلطة kg
اسمنت	-	-	-	0.1692	**4.79**
رمل	رمل (ناعم)	75µ -0.6	0.58	0.2283	**6.46**
	نحاتة (خشن)	0.6-4.75	0.42	0.1654	**4.68**
بحص	زرادة (ناعم)	19-9.5	0.27	0.0984	**2.78**
	بحص (خشن)	12.7-25.4	0.73	0.2659	**7.54**
ماء	ماء شرب	-	-	0.0726	**2.055**
المجموع	-	-	-	1	**28.295**

جدول 23 – نسب وزنية للمكونات الجزئية للخلطة B

➢ نسبة تخفيض نسبة الماء للاسمنت عند استعمال الملدن :

	الخلطة A	الخلطة B
W/C	0.59	0.429
Water	2.77	2.055
التخفيض الفعلي	%27.3	
التخفيض النظري الأقصى	%30	

جدول 24 – نسبة تخفيض الملدن للماء

توجد عدة اعتبارات للخلطة في حال كانت الخرسانة الناتجة **عالية المقاومة** (B) و هي كالآتي حسب ACI:

- **تأثير نسبة الماء للاسمنت**[29]:

➢ نسبة W/C المعتمدة عادة للبيتون عالي المقاومة تتراوح بين (0.27- 0.5) ،

➢ القيمة المستعملة هي **0.429**.

➢ تزداد المقاومة بنقصان W/C .

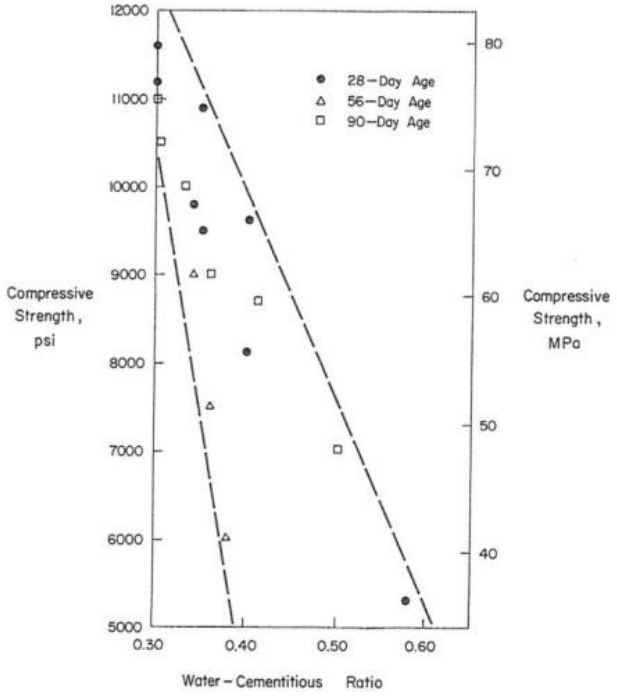


Fig. 3.2—Strength versus water-cement ratios of various mixtures[3.2,3.10,3.15,3.16]

- **حجم الحصويات** : [30]

- معامل النعومة للحصويات الناعمة بين 2.5 و 3 و هنا معامل النعومة هو **2.546**
- التدرج الحبي للرمل غير مهم في المقاومة المبكرة و لكنه يؤثر في المقاومة النهائية ، والتدرج المتقطع قد يخفض المقاومة .
- زيادة نسب البحص الناعم و تقليل نسبة البحص الخشن لإعطاء مقاومة أعلى.
- استخدام الحصويات المكسرة و الزاوية ، الابتعاد عن المطاولة و المسطحة.

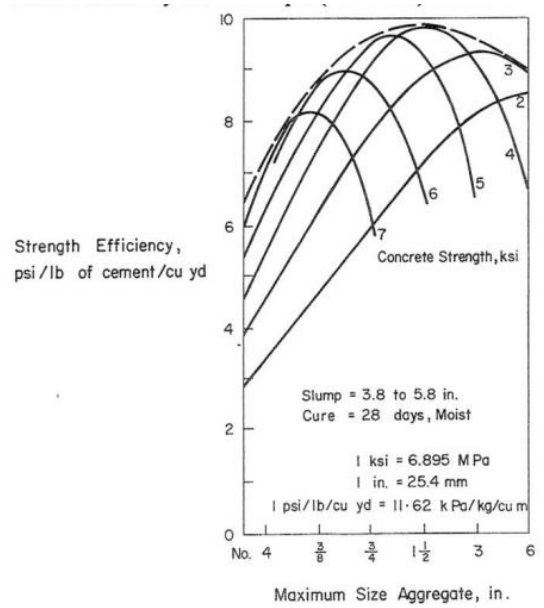


Fig. 3.5—Maximum size aggregate for strength efficiency envelope[3.2]

[29] ACI 363R-92 Report on High-Strength Concrete , 10
[30] ACI 363R-92 Report on High-Strength Concrete , 12

▪ تأثير صنف الاسمنت على مقاومة الخرسانة :

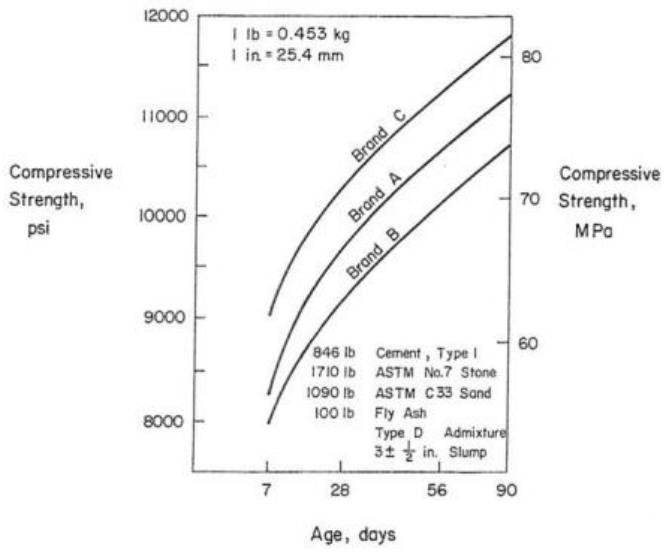


Fig. 3.1—Effects of various brands of cement on concrete compressive strength[3.2,3.3,12]

CEM II/ (A-P) 42.5 R يُستخدم بشكل واسع في البناء الإنشائي العادي والمشاريع التي لا تتطلب خصائص خاصة مثل المقاومة العالية للكبريتات أو الشد.

أيضاً يشترط في المواصفات الأمريكية **FAA P-501** الخاصة برصف مهابط الطيران المدنية التالي :

- ألا تقل المقاومة على الضغط **30 Mpa**
- قيمة معامل النعومة بين 2.5- 3.4
- ألا تزيد نسبة W/C عن 0.45 في حال الخرسانة التي تتعرض للصقيع.
- نسبة W/C تتراوح بين (0.5-0.38)
- قيمة الهبوط للمخروط تتراوح بين (2.5 – 7.5 سم)

➢ تقييم العينات للخلطة (B):

• وزن العينات :

العينة	الوزن عند الصب Kg	الوزن عند الكسر kg	زيادة في الوزن بسبب رطوبة العينات
1	8169	8198	
2	8112	8136	
3	8172	8199	

جدول 25 – وزن العينات للخلطة B

- **معلومات الخلطة B :**

الخلطة الخرسانية Concerte mix (B)					
نوع العينات	W/C	عدد العينات	الهبوط الوسطي	تاريخ الصب	تاريخ الكسر
مع ملدن	0.429	3	6 سم	pm 12:00 2025/1/14	2025/2/11

جدول 26 – الخلطة B

- **نتائج الكسر :**

الخلطة الخرسانية Concerte mix (B)			
رقم العينة	1	2	3
المقاومة المشبعة Mpa	39.6	40.7	43.2
نسبة انخفاض المقاومة بسبب الاشباع الكامل بالماء 21%[31]			
المقاومة المكعبية	47.9	49.25	52.3
المقاومة الاسطوانية	38.3	39.4	41.82
المقاومة الوسطية	Mpa 39.84		

جدول 27 – نتائج الكسر للخلطة B

- **حساب R المقاومة على الانعطاف (MOR) :**
  - **من المعادلة :[32]**

$$R = 7.5 \times \sqrt{f'c} \ (psi)$$

الخلطة	A	B
$f'c$	30.38	39.84
R (Mpa)	3.43	3.93
R (Psi)	500	570

جدول 28 – حساب المقاومة على الانعطاف

[31] Neville, A.M (2011) Properties of Concrete 5th edition. Pearson Education / Chapter 12.
[32] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019), section 19.2.2, p356

- نستخدم R في حساب سماكات الرصف باستخدام برنامج FAARFIELD
- بتثبيت بقية البارمترات و الطائرة التصميمية B747-8F

Boeing B747-8F	Aircraft
990000 lb	Gross Taxi Weight
221 psi	Tire pressure
0.476	Main Gear GW%
20 years	years
1200	Annual departures
0	Annual growth

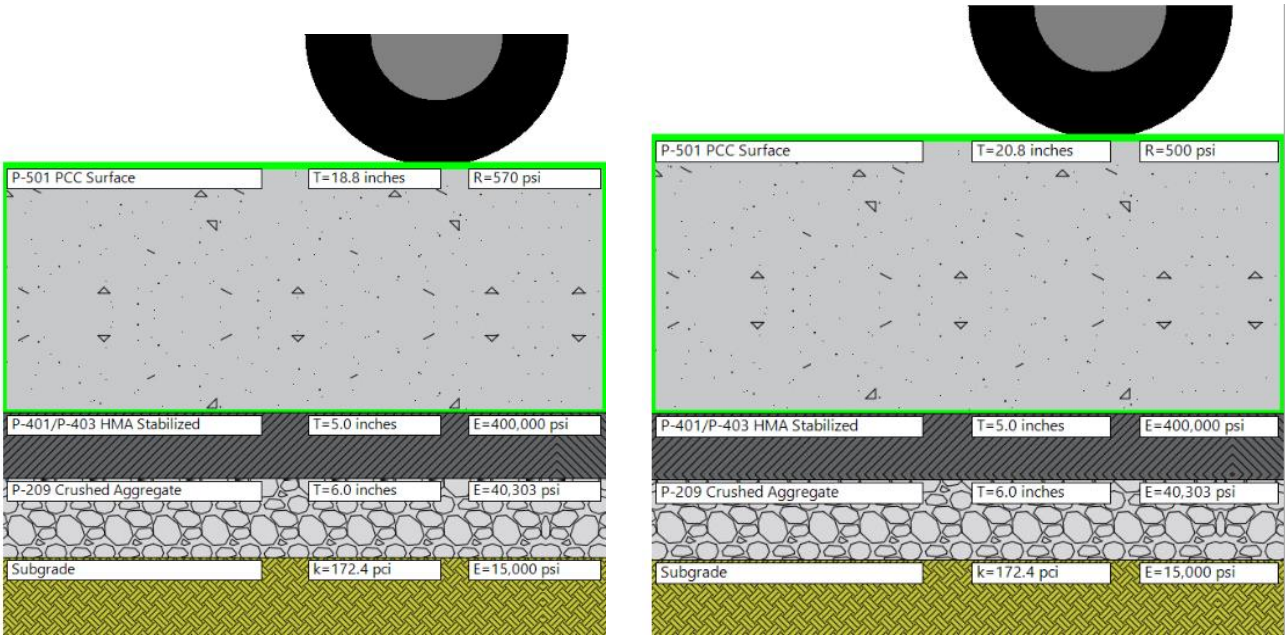
جدول 29 – مواصفات الطائرة التصميمية

- **حساب سماكات الرصف الصلب باستخدام FAARFIELD:**

B	A	الخلطة
39.84	30.38	*f'*c Mpa
570	500	R (Psi)
18.8	20.8	سماكة البلاطة inch
29.8	31.8	سماكة الرصف الكلية inch
%9.62		نسبة تخفيض سماكة البلاطة

جدول 30 – حساب السماكات

في الصورة أدناه توضيح على برنامج FAARFIELD لخفض السماكة في حالة الخرسانة B



نتائج البحث

- **مقارنة و تحليل النتائج بين الخلطتين A و B :**

- **زيادة المقاومة على الضغط وسطياً عند استخدام الملدن بنسبة 23.7%**
- **خفض نسبة الماء المستخدم 27.3%.**
- **خفض سماكة بلاطة الرصف الخرسانية بنسبة 9.62% مما يؤدي إلى تخفيض الكلفة بنسبة تقارب 10% على طول المدرج .**

- **توصيات مستقبلية لرفع المقاومة :**

- **استخدام صنف اسمنت R 52.5 – بحص سيليسي أو غرانيت – تغيير نوع الملدن**
- **تغيير نسب الخلط : زيادة البحص و زيادة عيار الاسمنت فوق 500**

2025/3/1 رزان المزاز

المراجع

- A state-of-the-art assessment in developing advanced concrete materials for airport pavements Li, M., Zhang, W., Wang, F., Li, Y., Liu, Z., Meng, Q., Huo, F., Zhao, D., Jiang, J., & Zhang, J. (2024)
- [1] Shanagonda, A., & Kolla, A. C. (2017). High Performance Concrete. International Journal of Science and Research (IJSR), 6(1), 366-368
- ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019)
- ACI Committee 211, Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete—Guide (ACI PRC-211.1-22) (Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2022)
- Neville, A.M (2011) Properties of Concrete 5th edition. Pearson Education Ltd
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). Concrete Technology (2nd ed.). Pearson Education Ltd
- ASTM C150 (American standards)
- EN 197-1 (European standards)
- ASTM C33, 3 / Grading requirement for coarse aggreagates , ASTM C33 / 5 grading for fine aggreagate
- ACI 363R-92 Report on High-Strength Concrete
- meteoblue محاكاة بيانات المناخ والطقس التاريخية ل جبلة
- ASTM C125 (American Society for Testing and Materials)
- ASTM C29 – Bulk density
- ASTM C 494 TYPE F&A
- BS.50751/1974
- www.isobitsy.com شركة ايزوبيت لصناعة المواد العازلة