مكان ومدة التشوين في موقع المشروع وتأثيرها على فعالية الأسمنت

د. محمد عبد القادر يوسف [1]، أ. محمود أحمد المنتقى[2]، د. عزالدين صالح الناجح [3]
[1]قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة والتكنولوجيا – جامعة الجفارة، المعمورة، ليبيا
[2] قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة سبها، سبها، ليبيا
[3]جهاز تنفيذ مشروعات المواصلات، طرابلس، ليبيا
mohamed_ansary36@yahoo.com

الملخص: نتيجة لوصول الأسمنت المنتج في المصنع إلى موقع الشغل بالمشروع وتخزينه لعدة أيام أو شهور، فقد تتغير بعض خصائصه بسبب مدة التخزين أو مكان التخزين. في هذه الورقة تم إجراء اختبارات لمحاولة تحديد التباين في خصائص القوة بسبب طول مدة التخزين ونوعيته. عند قياس التغيير في خصائص القوة بسبب التخزين في ظروف مختلفة بموقع المشروع وعلى أعمار مختلفة للأسمنت، كان واضحا الانخفاض في مقاومة ضغط المونة الإسمنتية بسبب التقادم (طازج، شهر، شهران، 3 شهور، 4 شهور) لكل من ظروف التخزين المختلفة (عادي، محكم)، وذلك عند عمل اختبارات الضغط على العينات المأخوذة عند 3 و7 و28 يوم بعد صب العينة. النتيجة الأبرز كانت الانخفاض في مقاومة الضغط للمكعبات بعد 28 يومًا من الصب بمقدار 46% للأسمنت مع التخزين العادي وحوالي 25% فقط للأسمنت المحكم الغلق. وهذا النوع الأخير من التخزين (المحكم الإغلاق) يعتبر مقارب للسلوك القياسي للأسمنت البورتلندي العادي حسب ما هو موجود بالمواصفات المصنعية وأعطي قوة التحمل المقبولة حتى 3 أشهر.

الكلمات المفتاحية: الأسمنت – مدة التخزين – قوة الضغط - نوع التخزين.

The location and duration of storage on the project site and their impact on the effectiveness of cement

Mohammed Yussef [1], Mahmoud Almutaqi [2], Azdeen Najah [3]
[1]Civil Eng. Dept. - Faculty of Engineering and Technology - Al Jafara University, Al Mamoura, Libya
[2]Civil Eng. Dept. - Faculty of Engineering - Sebha University, Sebha, Libya
[3]Transportation Projects Board, Tripoli, Libya
mohamed_ansary36@yahoo.com

Abstract: As a result of cement produced at the factory arriving at the project site and being stored for several days or months, some of its properties may change due to the storage duration or the storage location. This paper conducted tests to determine the variation in strength properties due to the length and type of storage. When measuring the change in strength properties due to storage under different conditions at the project site and at different ages of cement, it was evident that a decrease in compressive strength due to aging (0, 1, 2, 3, and 4 months) for each of the different storage conditions (normal and sealed). However, this was gained by performing compression tests on samples taken 3, 7, and 28 days after casting. The most significant result was a 46% decrease in the compressive strength of the cubes after 28 days for cement stored normally, compared to only about 25% for hermetically sealed cement. This latter type of storage (hermetically sealed storage) was comparable to the standard behavior of ordinary Portland cement as specified in the manufacturer's specifications and provided acceptable compressive strength for up to 3 months.

1. المقدمة

شهد القرن العشرين تطورات كبيرة في صناعة البناء بسبب التغييرات العديدة في تقنيات البناء. ولكن كما في السنين السابقة يضل تحضير الخرسانة من نفس المواد: الأسمنت، الركام الخشن، الركام الناعم والمياه بنسب متفاوتة، باستثناء أنه تم إدخال طرق جديدة في التطبيق وتطورات في المواد المضافة. لايزال الأسمنت هو المكون الرئيسي للخرسانة لأنه هو وسيلة الربط النشطة الوحيدة داخلها، والمكون الوحيد الخاضع للرقابة علميا بسبب مدة صلاحيته. حيث يتمتع الأسمنت بخاصية التثبيت والتصلب بفضل التفاعلات الكيميائية مع الماء في درجة الحرارة العادية. ولأن الأسمنت يصل من المصنع إلى الموقع بعد أيام من تصنيعه لهذا فإن الاسمنت المستلم في النهاية قد يتم استهلاكه بعد مدة أو يبقى مخزنا حتى بضعة أشهر، مما يجعلنا نهتم بالمدة الزمنية الخاصة بصلاحيته.
الهدف من العمل هو:

- ✓ دراسة خصائص متانة الاسمنت بسبب تقادمه في موقع المشروع.
- ✓ دراسة انخفاض مقاومة الضغط للأسمنت من حيث أنواع التخزين المختلفة بالموقع.

لا توجد وثائق محددة متاحة تلقي الضوء على التجارب التي يتم إجراؤها على الأسمنت في مختلف أعمار التخزين. بينما تحدد المواصفة القياسية أن الأسمنت المخزن بكميات كبيرة في المصنع لأكثر من ستة أشهر أو الأسمنت في أكياس في أيدي البائع لأكثر من ثلاثة أشهر قبل الاستخدام، يجب أن يتم إعادة اختباره، وقد يتم رفضه إذا كان لا يتوافق مع المتطلبات [1].
قد تكون وحدات تصنيع الأسمنت الرئيسية قد أجرت اختبارات في أعمار مختلفة من التخزين لكن الدراسات المنشورة نادرة جدا في هذا الموضوع. والجدول (1) يوضح الانخفاض في مقاومة الضغط للأسمنت حسب المدة الزمنية للتخزين.

جدول (1): الانخفاض القياسي في تحمل قوة الضغط بسبب التقادم[2]

الرقم	المدة الزمنية	الانخفاض في القوة
1	1 شهر	7%
2	3 شهور	20%
3	6 شهور	30%
4	12 شهر	40%
5	24شهر	50%

من الملاحظ أن الأسمنت المخزن في ظروف تخزين مختلفة والمعرض لظروف مناخية متفاوتة يخضع بالتأكيد لبعض التغييرات في الخصائص ومقدار مقاومة التحمل للضغط. وهنا تحدد المعايير أنه لا يجب استخدام الأسمنت المخزن لأكثر من 90 يومًا (3 شهور) إلا بعد التأكد من خصائص قوته حسب الموصي به [3].

تشمل خصائص الأسمنت التي يجب التركيز عليها عند إعداد أي دراسة: النعومة، وقت الإعداد، والمتانة، والجاذبية النوعية وقوة الانضغاط [4]. حيث أن نعومة الأسمنت هي مقياس لحجم حبيبات الأسمنت. فكلما كان الأسمنت أكثر نعومة كان معدل التفاعل الكيميائي أو معدل الترطيب أسرع، نظرًا لتوفر مساحة أكبر للتفاعل الكيميائي وكذلك تطور القوة أسرع لـلأسمنت الناعم [5].

أما بالنسبة لوقت الاعداد فهو عندما يتم خلط الأسمنت البورتلاندي بالماء والمكونات الاخرى لعمل العجنة الخرسانية، والتي تصبح تدريجياً أقل مرونة وتصبح كتلة صلبة في النهاية وتكون جامدة بدرجة كافية لتحمل قدرا محددا من

DOI: 10.5281/zenodo.17746633

الضغط. الإعداد وهو المصطلح المستخدم لوصف قوة العجنة الخرسانية. حيث يتم تقسيم وقت الإعداد إلى جزئين، وقت الإعداد الأولي ووقت الإعداد النهائي. ويُعرف الوقت الذي تفقد بنهايته عجنة الأسمنت مرونتها بعد إضافة الماء بوقت الإعداد الأولي، بينما يُعرف الوقت المقابل لتحول العجنة إلى كتلة صلبة بوقت الإعداد النهائي. من الضروري ألا يكون وقت الإعداد الأولي أكثر من اللازم ليسمح بوقت للخلط والنقل ووضع الخرسانة بالموقع. خلال هذا الوقت يجب أن تكون عجنة الأسمنت في حالة مرنة [6].

بالنسبة لمتانة الأسمنت فهي خاصية تتحكم في تغيير حجم الخرسانة المتصلدة. أما الجاذبية النوعية فهي تتعلق بكثافة الخرسانة. وتعتبر مقاومة الانضغاط للأسمنت المتصلب أهم خصائصه للاستخدام الهيكلي. ومن ثم يتم تحديد اختبارات المتانة وفقًا لجميع هذه المواصفات الخاصة بالأسمنت لذا يجب اختبار مقاومة انضغاط الاسمنت في المختبر قبل استخدامه. حيث تعتمد قوة الخرسانة على تماسك عجنة الأسمنت عند التصاقها بحبيبات الركام وإلى حد معين على قوة الركام بحد ذاته [7].

2. منهجية الدراسة

من المعروف أن أنواع الأسمنت المصنّعة من قبل الشركات المختلفة تختلف قليلا في تركيبها الكيميائي والمواد المستخدمة فيها مما ينعكس بشكل مباشر على الخصائص الفيزيائية للأسمنت، على الرغم من أن كل منهم يفي بالمعايير المطلوبة [1].

تم التخطيط لبرنامج الاختبار لتحقيق الأهداف المنصوص عليها، لذا تم استخدام أسمنت بورتلاندي عادي مُصنّع من شركة واحدة لجميع الاختبارات. تم أيضا إجراء الاختبارات باستخدام الأسمنت المخزن بموقع المشروع في نوعين من التخزين. فقد تم وضع أربعة أكياس من الأسمنت في مخازن عادية ووضعت مجموعة أخرى من أربعة أكياس إسمنتية في حاوية محكمة الإغلاق. وكانت جميع الاختبارات قد أجريت على مكعبات من المونة الأسمنتية بمساحة وجه 10سم*10سم، تم صبها ومعالجتها واختبارها لتحديد مقاومة الضغط عند 3 و7 و28 يومًا من الصب. والعينات المصبوبة من الأسمنت سواء من التخزين العادي (المعرض للعوامل الجوية المختلفة بالموقع) أو تخزين الحاوية، اختبرت على فترات زمنية من اليوم الأول للتخزين إلى 4 أشهر.

3. النتائج

كان الهدف الرئيسي للدراسة هو قياس التغيير والانخفاض في خصائص مقاومة الضغط (**Force dec.**) للأسمنت، بسبب التخزين في ظروف مختلفة بموقع المشروع وعلى أعمار مختلفة للأسمنت (**Cem.Age**)، ومقارنته بالخصائص القياسية للأسمنت (**Stand.Cem.Spc.**) المأخوذة من اختبارات وحدات تصنيع الأسمنت الرئيسية الموضحة سابقا في جدول (1). وبعد اختبار العينات وضغط المكعبات (**Comp.Test**) عند 3 و7 و28 يوم بعد صب العينة (**Day. No**) وكما هو مبين بالجداول والأشكال التالية نستطيع أن نرى بوضوح الانخفاض في مقاومة الضغط بسبب التقادم للأسمنت (طازج **(F)**، شهر، شهران، 3 شهور، 4 شهور) لكل ظرف من ظروف التخزين المختلفة سواء كان تخزين عادي **(N.S)** أو تخزين محكم **(S.S)**.

معادلة قياس النسبة المئوية للانخفاض في مقاومة الضغط عند 3، 7، 28 يوم لنوعي التخزين هي:

$$= \frac{\text{مقاومة الضغط لعينة الاسمنت (F) – مقاومة الضغط لعينة الاسمنت n}}{\text{مقاومة الضغط لعينة الاسمنت (F)}}$$

حيث:

مقاومة الضغط لعينة الاسمنت **(F)** = Com. Test at Cem.Age Frish

مقاومة الضغط لعينة الاسمنت **n** = Com. Test at Cem.Age n

n : عمر الاسمنت بالشهور (شهر، شهران، 3 شهور، 4 شهور)

جدول (2): مقاومة ضغط العينة للأسمنت الطازج في ظروف التخزين المختلفة عند 3 و7 و28 يوم

Stand.Cem .Spc.	Force dec. S.S %	Force dec. N.S %	Comp.Test S.S (MPa)	Comp.Test N.S (MPa)	Day. No	Cem. Age
	0.0%	0.0%	13	13	3	F
	0.0%	0.0%	20	20	7	F
0.0%	0.0%	0.0%	25	25	28	F

على ضوء نتائج جدول (2) من الطبيعي عدم وجود انخفاض في مقاومة تحمل الضغط للمكعبات المختبرة لأنها مصنعة من إسمنت مأخوذ مباشرة من المصنع، والذي بدوره يعطى مقاومة التحمل للضغط المرجوة بعد التصلب النهائي للخرسانة (28يوم) لنوعي التخزين المحكم والعادي.

جدول (3): مقاومة ضغط العينة للأسمنت بعد شهر في ظروف التخزين المختلفة عند 3 و7 و28 يوم

Stand.Cem .Spc.	Force dec. S.S %	Force dec. N.S %	Comp.Test S.S (MPa)	Comp.Test N.S (MPa)	Day. No	Cem. Age
	6.2%	12.3%	12.2	11.4	3	1
	9.5%	17.5%	18.1	16.5	7	1
7.0%	8.0%	13.6%	23	21.6	28	1

في جدول (3) الأسمنت المخزن لمدة تصل لشهر واحد أدّت إلى ضعف بسيط وتناقص في مقاومة تحمل الضغط للمكعبات الخرسانية المختبرة. هذا التناقص كان أكثر بفارق 5.6% للأسمنت المخزن تخزين عادي مقارنة بالتخزين المحكم، هذا مع أفضلية التخزين الأخير لقربه من الخصائص القياسية للأسمنت.

جدول (4): مقاومة ضغط العينة للأسمنت بعد 2 أشهر في ظروف التخزين المختلفة عند 3 و7 و28 يوم

Stand.Cem .Spc.	Force dec. S.S %	Force dec. N.S %	Comp.Test S.S (MPa)	Comp.Test N.S (MPa)	Day. No	Cem. Age
	8.5%	34.6%	11.9	8.5	3	2
	13.5%	25.0%	17.3	15	7	2
12.8%	12.0%	27.6%	22	18.1	28	2

كما هو واضح في جدول (4) يستمر سلوك الانخفاض في مقاومة تحمل الضغط لمكعبات العينات مع تقادم الأسمنت لمدة تصل إلى شهرين. ويلاحظ محافظة الاسمنت المخزن بإحكام على مقاومة تحمله للضغط بعد 28 يوم عند مقارنته بالقيمة المأخوذة من الجداول القياسية، حيث سجل فارقا مقداره 0.8% فقط مقارنة مع التخزين العادي، الذي سجل انخفاضا أمام الجداول القياسية بمقدار 15.2% لنفس عدد الأيام.

جدول (5): مقاومة ضغط العينة للأسمنت بعد 3 شهور في ظروف التخزين المختلفة عند 3 و7 و28 يوم

DOI: 10.5281/zenodo.17746633

Stand.Cem .Spc.	Force dec. S.S %	Force dec. N.S %	Comp.Test S.S (MPa)	Comp.Test N.S (MPa)	Day. No	Cem. Age
	20.8%	38.5%	10.3	8	3	3
	20.0%	38.0%	16	12.4	7	3
20.0%	22.0%	36.0%	19.5	16	28	3

سجلت البيانات في جدول (5) نمط شبه متساوي بنسبة الانخفاض في مقاومة تحمل الضغط للعينات بفترات 3، 7، 28 يوم لكلا النوعين من التخزين العادي والمحكم. مع احتفاظ التخزين المحكم لأفضليته لمقاربته في مقاومة الضغط للبيانات القياسية بفارق 2% وذلك مقارنة بالتخزين العادي الذي انخفض بمقدار 16%.

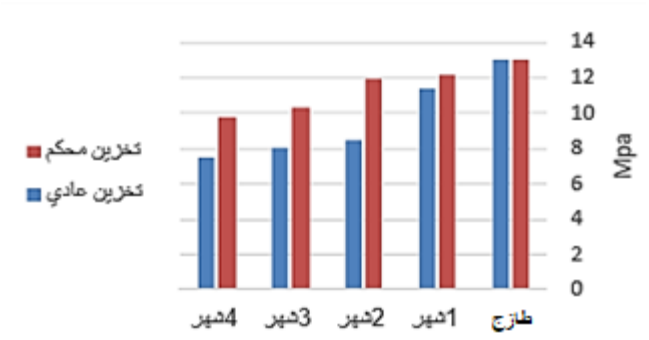
جدول (6): مقاومة ضغط العينة للأسمنت بعد 4 شهور في ظروف التخزين المختلفة عند 3 و7 و28 يوم

Stand.Cem .Spc.	Force dec. S.S %	Force dec. N.S %	Comp.Test S.S (MPa)	Comp.Test N.S (MPa)	Day. No	Cem. Age
	24.6%	42.3%	9.8	7.5	3	4
	27.0%	46.5%	14.6	10.7	7	4
23.5%	25.2%	46.0%	18.7	13.5	28	4

من الواضح في جدول (6) ضعف الاسمنت قيد التجربة بسبب التقادم لكلا النوعين من التخزين، ولكن الأبرز هو خسارة الاسمنت المخزن بالخارج والمتعرض للظروف الجوية لحوالي نصف مقاومته في اختبارات تحمل الضغط، بينما نزلت مقاومة تحمل الضغط الى حوالي الربع فقط للأسمنت المخزن بإحكام داخل الحاوية وهذا مقارب للقيمة المأخوذة من الجداول القياسية (1.7% فرق).

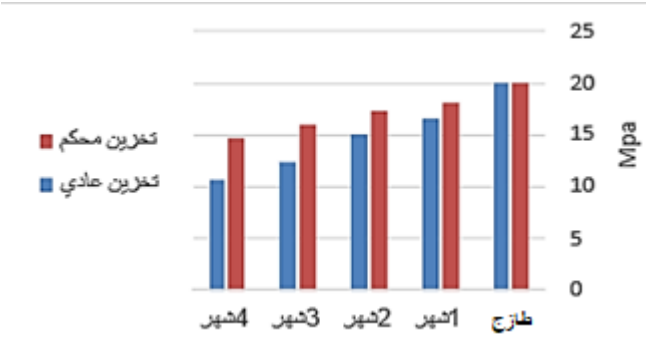
ومما سبق وبالنظر لهذه النتائج بالجداول والمقارنة ما بين انخفاض مقاومة تحمل الضغط للمكعبات المأخوذة من أسمنت مخزن بتخزين عادي وأخر مخزن بتخزين محكم وعلى أعمار اسمنت مختلفة، يتضح لدينا الفارق الواضح لصالح التخزين المحكم للأسمنت، كونه حقق معدلات تعتبر مقاربة للخصائص القياسية للأسمنت والذي يمكن التعبير عنه بالأشكال التالية.

يوضح الشكل (1) اختبار الضغط بعد 3 أيام من الصب لنوعي التخزين (محكم وعادي) للأسمنت المستخدم بالعينة المختبرة بالمعمل لجميع الأشهر (طازج،1،2،3،4)، ويمكن ملاحظة أن مقاومة الضغط للأسمنت ومتانته تقل مع تقدم العمر، وكذلك سلوك الأسمنت مع نوعي التخزين كان يسلك سلوكا متشابها مع الفارق البسيط بينهما. فنسبة الانخفاض في قدرة تحمل الضغط في حالة التخزين العادي هو أكبر مقارنة بالتخزين المحكم للهواء.



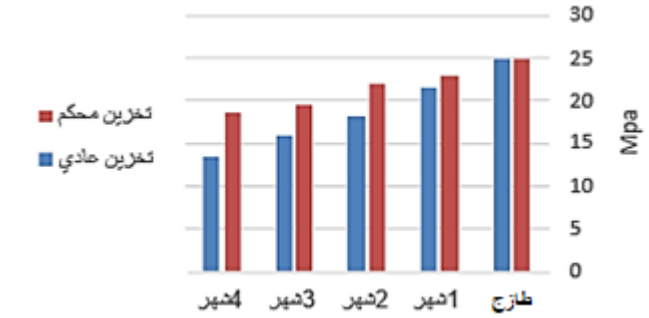
شكل (1) اختبار الضغط بعد 3 أيام من الصب لنوعي التخزين

ويوضح الشكل (2) اختبار الضغط بعد 7 أيام من الصب للمكعبات المختبرة لنوعي التخزين للأسمنت المستخدم بالعينة لجميع الأشهر (طازج،1،2،3،4)، ويمكن ملاحظة أن السلوك هو نفسه تقريبًا لكلا النوعين من التخزين بسبب عمر وتقادم الأسمنت.

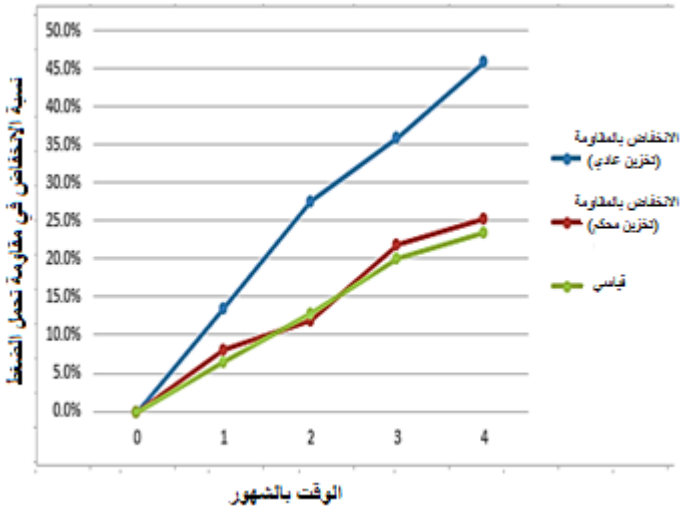


شكل (2) اختبار الضغط بعد 7 أيام من الصب لنوعي التخزين

ويعرض الشكل (3) المقارنة بالانخفاض في مقاومة الضغط للمكعبات بعد 28 يومًا من الصب بنوعي التخزين العادي والمحكم لجميع الأشهر (طازج،1،2،3،4)، والذي منه ومن الشكل (4) يمكن ملاحظة أنه بعد 4 أشهر من التخزين الانخفاض بمقاومة الضغط كان 46% للأسمنت مع التخزين العادي وحوالي 25% فقط للأسمنت المحكم الغلق باختبار 28 يوم، وهي تقترب من السلوك القياسي للأسمنت البورتلاندي العادي المأخوذ من الجدول (1).



شكل (3) اختبار الضغط بعد 28 أيام من الصب لنوعي التخزين



شكل (4) مقارنة اختبار الضغط بعد 28 يوم من الصب لنوعي التخزين للأسمنت مع نسب الإسمنت القياسي

ويتضح من هذه الأشكال والجداول أن خليط الخرسانة المصنوع من الأسمنت المخزن تخزين محكم الهواء هو متفوق في القوة والمتانة مقارنة بمزيج الخرسانة المصنوع من الأسمنت المخزن بشكل طبيعي. وكذلك النسبة المئوية للانخفاض في مقاومة الضغط للمكعبات بعد 28 يومًا من الصب هي أقل مقارنة مع 7 أيام من الصب للنوعين على الترتيب.

4. الاستنتاجات

تم دراسة تأثير التقادم على خصائص مقاومة الضغط للأسمنت من خلال إجراء دراسة منهجية معملية. واستنادا على نتائج التجربة، تم استخلاص الاتي:
هناك انخفاض كبير في مقاومة الضغط بسبب التقادم بعمر الأسمنت، وكذلك هناك أفضلية لتخزين الأسمنت في حالة محكمة لإنه يعطي مقاومة تحمل الضغط المقبولة حتى 3 أشهر. إلا أنه حسب النتائج من المستحسن استخدام الأسمنت الذي لا يتجاوز الشهر من تصنيعه قدر الإمكان، حيث يمكن أن يؤدي استخدام الأسمنت المتجاوز لثلاثة شهور إلى إعطاء نتائج خاطئة وغير متوقعة مما يؤدي الى مشاكل مختلفة مثل تطور التشققات والتسربات والتآكل وما إلى ذلك.

5. التوصيات

1. استخدام الأسمنت الطازج قدر الإمكان حيث يمكن أن يؤدي استخدام الأسمنت القديم إلى عدم إعطاء قوة الخرسانة المطلوبة التي تمت عليها الحسابات للخرائط التصميمية، وهذا قد يؤدي إلى مشاكل مختلفة مثل ظهور التشققات والتسربات نتيجة ضعف الخلطة الخرسانية.
2. استخدام التخزين المحكم (الحاويات) قدر الإمكان بالموقع لضمان المدة التشغيلية للإسمنت.
3. كذلك توصي الدراسة بدراسة تغير مقاومة الضغط للعينات الخرسانية المنتجة من أسمنت مخزن بإحكام بدرجات حرارة مختلفة.

6. الاختصارات المستخدمة

Force. Dec: Force Decreasing
Cem.Ag: Cement Aging
Stand.Cem.Spc: Standard Cement Specification
Comp.Tst: Compressive test
N.S: Normal Storage
S.S: Sealed Storage
F: Frish

7. الشكر والتقدير

نود أن نشكر في الورقة البحثية أولئك الذين ساهموا في الحصول على نتائج دقيقة في هذا البحث من فنيين ومهندسين، ونخص بالشكر رئيس مكتب الجودة بجهاز تنفيذ مشروعات المواصلات - طرابلس والذي كان عاملا مهما في حصولنا على هذه النتائج المرجوة.

8. المراجع

[1] Lovely K M1, Anniamma Chacko. A study on strength characteristics of ordinary portland cement due to storage, IJIRSET, Vol. 2, Issue 3, 2013
[2] Association of Engineers, Kerala Public Works Department, Reduction of Strength of cement, Civil Engineer's Hand Book,1981
[3] Ahmad J. I. et al, Effect of Storage Period in Hot Weather on The Properties of Portland Cement, Journal of Engineering Science and Technology. Taylor's University .2021
[4] Dangol, N. et al, An Experimental Study on Strength Loss of Nepalese Ordinary Portland Cements with .Storage Time, IJOAEM, Vol. 4, Issue 3, 2019
[5] Shetty, M.S., Concrete Technology, S. Chand & Co, .New Delhi, 1982
[6] Neville, A. M., Properties of Concrete, ELBS, Singapore, .1963
[7] Mindess, S. and Young, J.F. Concrete. Prentice-Hall, .Inc. Englewood Cliffs, NJ. 1981