First Libyan International Conference on Engineering Sciences & Applications (FLICESA_LA)
13-15 March 2023, Tripoli – Libya

دراسة استخدام فضلات الزجاج كبديل جزئي للإسمنت في الخلطات الخرسانية في ليبيا

د.ابوالقاسم يحي ابوصبيع م. مروان الكيب
جامعة صبراته ,كلية الهندسة صبراته ,قسم الهندسة المدنية
E-mail: **abulgasem .abusbuea@sabu .edu .ly**

ملخص

نظراً للتطور العمراني الكبير في تنفيذ المباني والمنشئات الخرسانية الامر الذي يتطلب كثير من الاسمنت الذي يعتبر المادة الاساسية في انتاج الخرسانة .وبالتالي يستخدم بكميات كبيرة . ومع زيادة النمو الاقتصادي وزيادة عدد السكان واتساع المناطق الحضرية، زادت الحاجة للبناء والتوسع العمراني وتشييد المباني الجديدة، ويودى ذلك إلى زيادة كبيرة في استعمال الخرسانة،

حيث ان انتاج الاسمنت له تأثير كبير على البيئية المحيطة . عند تصنيعه تصدر انبعاثات ثاني اكسيد الكربون في الغلف الجوي .عليه اصبح من الضروري استخدام بعض البدائل للإسمنت او استخدام بعض المواد كبديل جزئي للإسمنت. وللحد من اضرار بعض نفايات المواد على البيئية كنفايات الزجاج واستثمارها في صناعة الخرسانة باستخدامها كبديل جزئي للإسمنت .

في هذه الدراسة تم اخذ مطحون نفايات الزجاج ونخله على منخل رقم 90 ميكرون واستخدامها كبديل جزئي للاسمنت في الخلطة الخرسانية وعمل ثلاثة خلطات خرسانية بنسب w/c=0.4, 0.45, 0.5 وعمل مكعبات خرسانية لاختبار مقاومة الضغط للخلطات المرجعية الثلاثة .وعمل مكعبات خرسانية باستبدال جزئي للاسمنت بمطحون الزجاج كبديل جزئي للإسمنت بنسب 3%,6%,9%,12%, 15% لهذه الخلطات الثلاثة .ونم اجراء اختبارات الاسمنت فقط وكذلك للاسمنت المستخدم فيه مطحون الزجاج بنسب 3% ,6% ,9% , 12% .

وتم التوصل فيه إلى ان امكانية استخدام مطحون الزجاج في الخلطة الخرسانية وخاصة خلطة نسبة C/Wتساوي 45.0عند اضافة 3 ،6% %مطحون الزجاج بدل االاسمنت حيث وصلت نسبة الزيادة للمقاومة الخرسانية الى 5% .5 لألولي ، و8.2%للثانية من المقاومة المرجعية للخرسانة، واختبارات االاسمنت المضافة بدل الاسمنت كانت نتائجه وفق المواصفات القياسية.وامكانية استخدامه في خرسانات الارصفة وصناعة الطوب واعمال تركيب البلاط .

الكلمات المفتاحية : خرسانة ,مطحون الزجاج , الاسمنت ,مقاومة الضغط

1 .المقدمة

تعتمد المشاريع الانشائية المختلفة على مدي توفير الاسمنت حيث يعتبر الاسمنت من اكثر المواد الخام اهمية للتنفيذ. فلا تزال الخرسانة تحتل المكانة الاولي لتنفيذ المباني السكنية الامر الذي ادي الى تطوير وتحسين طرق انتاجها باستعمال الاضافات تظهر اهمية الخرسانة بصفتها مادة انشائية. ويعتبر الاسمنت أحد المصادر الأساسية لانبعاث الغازات الدفيئة المسؤولة عن ظاهرة الاحتباس الحراري وأهمها غاز ثاني أكسيد الكربون، وبما أنه الاسمنت المادة الرئيسية لصناعة الخرسانة فإن إضافة مواد

اسمنتية بديل للاسمنت في الخرسانة تعد طريقة ناجحة للحد من التأثير السيء للاسمنت على البيئة.[1]

وقد استخدمت العديد من المواد بما في ذلك غبار السيليكا(SF), خبث أفران الحديد (GGBS) والرماد المتطاير والتي أثبتت فعاليتها في انتاج خرسانة بالخواص المطلوبة، ومع ذلك فإن البحث عن مواد بديلة للاسمنت متوفرة بكثرة وذات تكلفة أقل وصديقة للبيئة مازال مستمراً الأمر الذي جعل الباحثين يتجهون إلى عملية إعادة التدوير وذللك للحد من تزايد كميات المخلفات وتقليل تكلفة التخلص منها والاستفادة من منها لانتاج خرسانة خضراء صديقة للبيئة ومن هذه المواد التي يمكن استخدامها هو الزجاج،

ويتم صنع الأسمنت عن طريق خلط الحجر الجيري مع طين الومينوسيليكات، ثم يسخن في فرن ضخم على درجة حرارة تبلغ 1500 درجة مئوية، لتنتج كتلا رمادية تعرف باسم "كلنكر"، والتي هي عبارة عن مجموعة من الأكاسيد (كأكسيد الحديد والسليكون والأمونيوم والألمنيوم والكالسيوم)، وبعد أن يتم تبريد هذا الخليط، يضاف إليه الجبس ويطحن بشكل ناعم لإنتاج "أسمنت بورتلاند".ودرس [2] (Keerio et.alتأثير مخلفات الزجاج كبديل جزئي للاسمنت على خواص الخرسانة، حيث كان الهدف من الدراسة تحسين قوة الخرسانة عن طريق استبدال الاسمنت جزئياً بمخلفات الزجاج وذلك بنسبة 5% 10%، 15%،20% ، 25% من وزن الاسمنت وتوصل إلى أن استبدال الزجاج جزئياً بالإسمنت يحسن من قابلية التشغيل للخرسانة حيث كانت لأفضل قابلية تشغيل للخلطة ذات نسبة الاستبدال 25%، كما تتحسن خاصية الكثافة حتى نسبة الاستبدال 10% بعدها تبدأ في الانخفاض للنسب الأعلى حيث كانت أعلى كثافة للخلطة 10% وأقل كثافة للخلطة 25%، أما بالنسبة للمقاومة الضغط فإن المقاومة تزداد حتى نسبة استبدال 10% وذلك بنسبة 12.95% عن الخلطة المرجعية وخلصت الدراسة إلى أن أفضل نسبة استبدال هي 10%. Khan et all [3]درس تأثير اضافة مسحوق الزجاج كبديل جزئي للاسمنت في الخرسانة بنسب 0%-40% من وزن الاسمنت واختبار خاصية قابلية التشغيل وقوة الضغط حتى 84 يوم.

تم استبدال الاسمنت البورتلاندي العادي بمسحوق الزجاج مار من منخل 45 ميكرون وبنسبة 10%-40% وقد خلصت الدراسة إلى أن استخدام الزجاج يقلل من قابلية التشغيل، كما يؤثر على مقاومة الضغط بالانخفاض وفي الأعمار الأولى تكون المقاومة أقل بنسبة 12% عن الخلطة المرجعية، وكانت أفضل مقاومة ضغط للخلطة بنسبة استبدال 15% وهي أفضل نسبة استبدال توصلت إليها الدراسة.

2. الزجاج

مادة عديمة اللون تصنع أساسا من السيليكا المصهور في درجات حرارة عالية مع حمض البوريك أو الفوسفات. والزجاج يوجد في الطبيعة كما يوجد أيضا في المواد البركانية التي تسمى الزجاج البركاني أو المواد التي تنشأ من النيازك. وليس الزجاج صلبا ولا سائلا وإنما يكون في حالة خاصة تظهر فيها جزيئاته بشكل عشوائي، ولكن بحيث يوجد تماسك كاف لإحداث اتحاد كيميائي بينها. وعندما يتم تبريد الزجاج يصل إلى حالته الصلبة ولكن بدون تبلور، ومع تعريضه للحرارة يتحول الزجاج إلى سائل. وعادة ما يكون الزجاج شفافا ولكنه قد يكون غير شفاف أو نصف شفاف أيضا، ويختلف لونه تبعا لمكوناته[4].

3. إعادة تدوير الزجاج

تعتبر عملية إعادة تدوير فضلات الزجاج كما بالشكل رقم (1)، خطوة مهمة بالنسبة للبيئة، فكل زجاجة يتم إرسالها إلى مواقع طمر النفايات، تستغرق مايقارب مليون عام حتى تتكسر، في حين أنها تأخذ أقل من 30 يوما، من أجل إعادة تدويرها، والنتيجة هي الحصول على شكل مختلف وجديد.
وتعد عملية إعادة التدوير للزجاج والحاويات الزجاجية عملية مستدامة؛ لأن الزجاج يعتبر من المواد القابلة لإعادة التدوير والتشكيل بنسبة 100 %، مما يعني أنه قابل لإعادة التشكيل مرارا وتكراراً، من دون أن يفقد أيا من جودته ونقائه. وتساعد هذه العملية في الحفاظ على الموارد الطبيعية، فكل طن من الزجاج، تتم عملية إعادة تدويره، يوفر أكثر من نصف طن من المواد الخام، اللازمة لإنشاء زجاج جديد، وتشمل 1.300 رطل من الرمل، و410 باوند من رماد الصودا، و380 رطلا من الحجر الجيري[5].

الشكل رقم (1) يبين فضلات الزجاج

4.البرنامج العملي والمواد

تم في هذا البحث تثبيت جميع المواد الداخلة في الخلطة الخرسانية واعتبار مطحون الزجاج المتغير الوحيد بحيث نضمن تاثير الاسمنت والزجاج على سلوك الخلطة الخرسانية معتمدة على الخلطة المرجعية التي فيها طحون الزجاج يساوي صفر ولدراسة ومعايرة مطحون الزجاج على الاسمنت تم عمل اختبارات الاسمنت وتم نخل الزجاج المطحون على منخل 90 ميكرون كما بالشكل رقم (2) وعمل الخلطة الخرسانية .

الشكل رقم (3) يبين مطحون الزجاج

1.4الإسمنت

تم استخدام اسمنت بورتلاندي و تم اجراء اختبار تحديد عجينة اسمنتية ذات قوام قياسي و ثبات الحجم واختبار النعومة واختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي للإسمنت للإسمنت بدون استبدال مطحون الزجاج كما بالجدول رقم (1)عند استبدال نسبة مطحون الزجاج بدل الاسمنت بنسب , 3%, 9,6%, 12% كما بالجدول رقم (2) يبين نتائج الاختبارات التي اجريت على الاسمنت والهدف من هذا الاختبار لمعرفة المواصفات الميكانيكية للإسمنت عند استخدامه مع مطحون الزجاج حتي نتمكن من اجرء الخلطة الخرسانية

الجدول (1) نتائج اختبارات الاسمنت بدون الاستبدال مطحون الزجاج.المواصفة الليبية 1997/340

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفات

تحديد عجينة اسمنتية ذات قوام قياسي %	Wc=31	-
النعومة%	4.864	-
زمن الشك الابتدائي hour	1.44	45 min ≤
زمن الشك النهائي hour	2.02	10 hours ≥
ثبات الحجمmm	1	10>

الجدول (2) نتائج اختبارات الاسمنت عند الاستبدال بمطحون الزجاج.المواصفة رقم 2006/340

نسبة الاستبدال (%)	زمن الشك الابتدائي hours	زمن الشك النهائي hours	ثبات الحجم	اختبار نعومة الاسمنت
3%	2:49	3:43	0	3.883 %
6%	3:18	4:20	0	3.393 %
9%	3:00	4:55	2	4.367 %
12%	3:33	5:53	0	2.427 %

2.4الركام الخشن

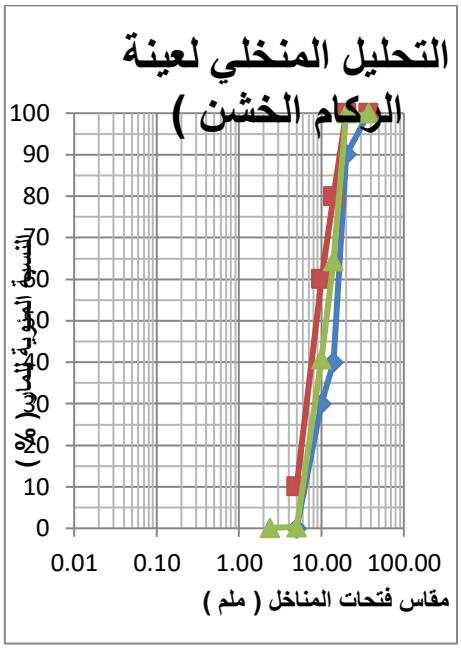
تم استخدام الركام الخشن المورد من منطقة راس اللفح واجريت عليه مجموعة من الاختبارات لضمان جودة استخدامه في الخلطة الخرسانة ومطابقته للمواصفات الليبية، والاختبارات هي:

اختبار التحليل المنخلي

تم إجراء هذا الاختبار طبقاً للمواصفات الليبية والجدول (3) يوضح التحليل المنخلي للركام الخشن والشكل (4) يبين منحني التدرج.

الجدول (3) التحليل المنخلي للركام الخشن المواصفة الليبية 2006/252

مقاس فتحة المنخل(مم)	وزن المحجوز (جم)	الوزن التراكمي المحجوز(جم)	النسبة المئوية للتراكمي المحجوز%	النسبة المئوية المارة %	حدود المواصفات
37.5	0	0	0	100	100
19	0	0	0	100	100-90
12.5	1463	1463	35.6	64.4	80-40
9.5	970	2433	59.2	40.8	60-30
4.75	1663	4096	99.7	0.3	10-0
2.36	7	4103	99.9	0.1	-
الوعاء	3	Σ=4106	-	-	-



الشكل رقم (4) يبين نتائج اختبار التحليل المنخلي للركام الخشن

5.الخلطة الخرسانية

لدراسة تأثير تقليل محتوي الاسمنت على خواص الخرسانة باستخدام استبدال طحن الزجاج ، تم تصميم الخلطة الخرسانية بالطريقة الحجمية وإعداد ثلاث خلطات خرسانية بنسب W/Cتساوي 0.4,0.45,0.5 وعمل ثلاث مكعبات مقاس 150×150×150 mm بدون مطحن الزجاج لكل نسبة تم عمل لها مكعبات مع وضع نسب استبدال 3,6,9,12,15 وتتكون من أسمنت وركام ناعم وركام خشن وماء ،حيث تم تحديد مكونات الخلطة لمتر مكعب من الخرسانة ، الجدول (4) يبين أوزان الخلطات المرجعية المستخدمة في المشروع. وكذلك الجدول (5) أوزان الخلطة التي تحتوي مسحوق مخلفات الزجاج ذات محتوى الماء 0.40 والجدول (6) أوزان الخلطة التي تحتوي مسحوق مخلفات الزجاج ذات محتوى الماء 0.45 الجدول (7) أوزان الخلطة التي تحتوي مسحوق مخلفات الزجاج ذات محتوى الماء 0.50وعمل اختبار مقاومة الضغط للخرسانة

الجدول (4) أوزان الخلطات المرجعية المستخدمة

نسبة الماء للاسمنت	ركام ناعم (kg/m^3)	ركام خشن (kg/m^3)	اسمنت (kg/m^3)
0.4	7085	14169	4723
0.45	6941	13882	4627
0.5	6804	1360	4563

الجدول (5) أوزان الخلطة التي تحتوي مسحوق مخلفات الزجاج ذات0.4 =W/C.

الزجاج (%)	W/C (%)	ركام ناعم (kg/m^3)	ركام خشن (kg/m^3)	اسمنت (kg/m^3)
3	0.4	7085	14169	4581.31
6	0.4	7085	14169	4439.62
9	0.4	7085	14169	4297.93
12	0.4	7085	14169	4156.24
15	0.4	7085	14169	4014.55

الجدول (6) أوزان الخلطة التي تحتوي مسحوق مخلفات الزجاج ذات 0.45 =W/C.

الزجاج (%)	W/C (%)	ركام ناعم (kg/m^3)	ركام خشن (kg/m^3)	اسمنت (kg/m^3)
3	0.45	6941	13882	4488.19
6	0.45	6941	13882	4349.38
9	0.45	6941	13882	4210.57
12	0.45	6941	13882	4071.76
15	0.45	6941	13882	3932.95

بعد تجهيز الخلطة الخرسانية وقياس الهبوط تم وضع الخرسانة في القوالب المعدنية وفق المواصفة القياسية . ASTM C172 تركت العينات لتجف خلال 24 ساعة ضمن شروط حفظ العينات .بعد فك القوالب المعدنية تم وزن العينات الخرسانية التي حفظت بعدها في أحواض للماء حتى درجة حرارة 2 ± 23 درجة وفق المواصفة ASTM192

بإنتهاء إعداد الخلطة تم قياس الكثافة الحقيقية للخلطة الخرسانية وفق المواصفة القياسية القياسيةالمعتمدة فيASTM C138

الجدول (7) أوزان الخلطة التي تحتوي مسحوق مخلفات الزجاج ذات W/C= 0.5.

الزجاج (%)	W/C (%)	ركام ناعم (kg/m^3)	ركام خشن (kg/m^3)	اسمنت (kg/m^3)
3	0.5	6804	1360	4399.92
6	0.5	6804	1360	4263.84
9	0.5	6804	1360	4127.76
12	0.5	6804	1360	3991.68
15	0.5	6804	1360	3855.6

1.5اختبار مقاومة الضغط للخرسانة

لدراسة كفاءة الخرسانة بالمقاومة تم عمل اختبارالمقاومة لعمر 28 يوم لكل نسب استبدال والمرجعية حيث كانت نتائج المرجعية مع نسب الاستبدال وكذلك عمل كثافة الخرسانة واختبار الهبوط كما بالجدول (8) يبين نتائج مقاومة الضغط للخلطات بنسبة ماء إلى الاسمنت 0.4. والجدول (9) يوضح نتائج مقاومة الضغط للخلطات بنسبة ماء إلى الاسمنت 0.45. والجدول (10) يوضح نتائج مقاومة الضغط للخلطات 0.50.

الجدول (8) نتائج مقاومة الضغط للخلطات W/C=0.4.

مسحوق الزجاج (%)	0	3	6	9	12
المقاومة (Mpa)	31.39	29.92	30.11	20.04	26.14
نسبة الزيادة أو النقصان (%) لمقاومة	-	- 4.683	- 4.078	- 36.158	- 16.725
الهبوط mm	0	0	0	0	0
متوسط الكثافة kg/m3	.2373	2393.4	.2377.48	2336.2	2323.8

الجدول (9) يوضح نتائج مقاومة الضغط للخلطات W/C= 0.45.

نسبة مسحوق الزجاج (%)	0	3	6	9	12
المقاومة (Mpa)	39.95	42.16	41.1	36.94	36.34
نسبة (%) للمقاومة	-	5.532	2.87	- 7.534	- 9.036
الهبوط mm	18	14	15	24	10
الكثافة kg/m3	2456.5	2425.62	2458	2472.0	2417.82

الجدول (10) يوضح نتائج مقاومة الضغط للخلطات0.5 =W/C .

نسبة مسحوق الزجاج (%)	0	3	6	9	12
مقاومة الضغط (Mpa)	40.6	37.17	37.4	39.35	37.07
نسبة الزيادة أو النقصان (%) للمقاومة	-	- 7.189	7.77 - 9	- 3.127	- 8.740
اختبار الهبوط mm	63	39	48	34	28
متوسط الكثافة kg/m3	2442 .272	2442.0 74	2445 .531	2458.02 5	2411.50 6

6. النتائج والمناقشة

استهدفت هذه الدراسة متابعة سلوك الخرسانة المنتجة معمليا باستخدام مطحون الزجاج بدل الاسمنت حيث كانت قيمة الهبوط في الخلطة ذات المحتوي المائي للاسمنت0.4تساوي صفر حيث ان المحتوي المائي قليل بالخلطة عن المرجعية وانخفضت مقاومة الضغط للخلطة التي تحتوى مسحوق الزجاج مقارنة بالخلطة المرجعية وقد كانت أقل نسبة انخفاض للمقاومة للخلطة ذات نسبة الاستبدال 6% بنسبة انخفاض 4.078% وأعلى نسبة انخفاض كانت لنسبة الاستبدال 9% بقيمة 36.15 %. والكثافة كانت في زيادة عند نسبة 3% فقط والباقي تقل ,والخرسانة التي استخدام فيها مطحون الاسمنت ,والخرسانة ذات المحتوي المائي للاسمنت 0.45 حيث كانت قيمة الهبوط في المرجعية كما بالشكل رقم (5) اقل من عند استبدال مطحون الزجاج حيث كان قيمة الهبوط بالنقص كلما زادت نسبة الاستبدال للإسمنت عند نسبة 3 %و 6 %كما بالشكل رقم (6) وتحسنت مقاومة الضغط للخلطة ذات المحتوى المائي 0.45 بزيادة مسحوق الزجاج حتى نسبة 6% حيث كانت أعلى نسبة زيادة5.532% لنسبة استبدال 3%، ولكن بعد زيادة نسبة استبدال عن 6% بدأت مقاومة الضغط في الانخفاض بزيادة نسبة الاستبدال في الخلطة. والكثافة كانت في زيادة, وقيمة الهبوط كانت انخفضت عن المرجعية في الخرسانة كما بالشكل رقم (7) والشكل رقم (8) ذات المحتوي المائي 0.5 حيث ان كمية الماء عالية وبالتالي الهبو ط قل نظراً نظراً لعدم مص الطحون للماء و المقاومة تقل في كل النسب عن المرجعية حتي وصلت الى نسبة 8.7%عن المرجعية والكثافة كانت تقريباً ثابتة .

الشكل رقم (5) اختبار الهبوط خلطة المرجعية W/C =0.45

الشكل رقم (6) اختبار الهبوط نسبة استبدال0.453%= W/C

الشكل رقم (7) اختبار الهبوط خلطة المرجعية W/C=0.5

الشكل رقم (8) اختبار الهبوط نسبة استبدال3% W/C =0.5

7.الاستنتاجات

من خلال التجارب المعملية التي تم اجراءها في هذا البحث تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1. امكانية استبدال جزئي للإسمنت بمطحون الزجاج عند استخدام الخرسانة عند نسبة المحتوي المائي للإسمنت 0.45 ونتائج اختبارات الاسمنت الذي تم استبداله بالنسب 3%,6%,9%,12% مطابق للمواصفات الليبية الخاصة بالإسمنت البورتلاندي .

2. عندما تقل نسبة الماء للإسمنت اقل مايمكن لتصميم خلطة خرسانية يعطي خلطة جافة صعبة التشغيل، ولا يوجد تأثير لمسحوق الزجاج على تشغيلية الخلطة الخرسانية ولا علي المقاومة التي تم دراستها. وهذا بسبب الدور الذي يلعبه مطحون الزجاج في زيادة السطح النوعي للنعومة وبالتالي يساعد في تأخير تصلب الخرسانة .

3. تتحسن قابلية التشغيل للخلطة الخرسانية بزيادة نسبة الماء للإسمنت كما أن إضافة مسحوق الزجاج تحسن من قابلية التشغيل للخلطة وذلك عند استبداله بنسبة مطحون الزجاج ولكن يبدأ تأثيره عكسي عند زيادة نسبة الاستبدال حيث انخفضت قابلية التشغيل .وهذا ان الزجاج مادة غير ماصة للماء .

4. بزيادة نسبة الماء للاسمنت فان مقاومة الضغط تنخفض بزيادة نسبة الاستبدال وتنخفض قيمة الهبوط بالخرسانة .

5.الكثافة تتناقص بعد ترك العينات 24ساعة تتصلب وهذا يعود لتبخر الماء من الخلطة ويتم قياسها بالطريقة القياسية ASTMC138

6.انخفاض كثافة الخرسانة لايتجاوز 1%عن المرجعية يعود ذلك ان كثافة الزجاج 2500 kg/m^3 اقل نسبياًمن قيمة الوزن النوعي للركام والاسمنت .

8.التوصيـــات

1. دراسة تأثير مسحوق مخلفات الزجاج على النفاذية و المسامية و مقاومة الشد وتأثير درجة الحرارة .
2. تشجيع السوق المحلي على استخدام مطحون الزجاج .

9.المراجع

[1]أمير عبد الرحمن هالل الدليمي، سعدي شرتوح شرقي المحمدي، "دراسة انتاج خرسانة الزجاج ومقاومة انضغاطها"، المجلة العراقية للهندسة المدنية، العدد التاسع- كانون االول- 2007.

[2] Manthar Ali Keerio, Salim Khoso, Jam Shahzaib Khan, Abdul Aziz Ansari, Nadeem ul Karim Bhatti, " The effect of Waste Glass as Partial Replacement of cement on Properties of Concrete", ENGINEERING SCIENCE AND TECHNOLOGY INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL, VOL.1, NO.1, APR, 2017.

[3] FASIH AHMED KHAN, MUHAMMAD FAHAD, KHAN SHAHZADA, HARIS ALAM, NAVEED ALI, " Utilization of waste glass powder as a partial replacement of cement in concrete", International Journal of Advanced

Structures and Geotechnical Engineering ISSN 2319-5347,
Vol. 04, No. 03, July 2015.

[4]الجيوجيا ,والتعدين "الزجاج وصناعة الزجاج "نت 2015

[5]اسراء الردايرة"اعادة تدوير الزجاج توفر الطاقة وتحافظ على المواراد الطبيعية "مجلة الغد ,عمان , الاردان ,2011