مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (5) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (5) 2013

دراسة امكانية استخدام نفايات خبث معمل حديد حماه في صناعة الاسمنت

الدكتور محمد المحمد*

الدكتور بسام حنا**

بيداء سلوم***

(تاريخ الإيداع 4 / 3 / 2013. قُبِل للنشر في 24/ 6 / 2013)

∇ ملخّص ∇

كانت صناعة الاسمنت و لفترات طويلة تصنف من أكثر الصناعات تلويثا" للبيئة من خلال ما ينتج عنها من ملوثات غازية و غبار و نفايات صلبة و مياه ملوثة , الا أن التقدم العلمي اوجد الحلول التكنولوجية تباعا للسيطرة على هذه الملوثات بحيث تحقق هذه الصناعات المعايير العالمية اللازمة للحفاظ على البيئة و ضمان تحقيق تنمية مستدامة.

إلا أن المفارقة الحالية هي أن صناعة الاسمنت علاوة على أنه يتم السيطرة على ملوثاتها من خلال الحلول التكنولوجية الناجعة, فهي أصبحت أيضا ملجأ و مكانا" مناسبا" للتعامل مع الكثير من النفايات على اختلاف منشئها منزلية أو صناعية التي تنتج عن العديد من النشاطات حيث تستخدم هذه النفايات إما كمواد أولية تدخل في صناعة الكلنكر أو إضافتها في أثناء الطحن للحصول على الاسمنت , أو وقود مساعد بديل عن الفيول أو الغاز , الأمر الذي يثمن دور هذه الصناعة و يجعلها تتدرج في قائمة الصناعات الخضراء التي تسهم في حماية البيئة.

في بحثنا هذا سنعمل على استخدام الخبث الناتج عن معمل حديد حماه و–هو نفاية صناعية تحتاج للمعالجة– كمادة مضافة للكلنكر للحصول على الاسمنت و تجدر الإشارة إلى أن هذا الحل المقدم في استخدام نفايات خبث الحديد ليس بالجديد تاريخيا, حيث يتم استخدام خبث الأفران العالية الناتج عن عملية استخلاص الحديد من فلزاته, وإنما الجديد في استخدام معمل حديد حماة لأفران القوس الكهربائي لصهر الخردة في تصنيع حديد البيلت و بالتالي إنتاج خبث مختلف في المواصفات نوعا ما عن خبث الافران العالية ,و من هنا تأتي أهمية البحث بتسليط الضوء على فكرة جديدة تركز على إيجاد طرق مناسبة بيئيا"للتخلص من هذا النوع من النفايات الصناعية بإعادة استخدامها الأمر الذي يسهم في حماية البيئة

الكلمات المفتاحية: النفايات الصناعية الصلبة ,إعادة الاستخدام (التدوير),خبث الحديد ,الاسمنت البورتلاندي

* أستاذ مساعد – قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية– جامعة البعث– حمص –سورية.

** استاذ – قسم هندسة المواصلات و النقل – كلية الهندسة المدنية– جامعة البعث– حمص –سورية.

*** طالبة دراسات عليا (دكتوراه) –قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية– جامعة البعث– حمص –سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (5) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (5) 2013

Study to use slag of hadeed Hamaa in cement industry

Dr. Mohammed al Mohammed*
Dr. bassam hanna**
Baidaa Salloum***

(Received 4 / 3 / 2013. Accepted 24 / 6 / 2013)

∇ ABSTRACT ∇

Cement industry was for long time characterized as a polluted industry due to their pollutants : dust, gassy, sold waste, water ….

But the progress of the technology which still give the solutions to control this pollutants and make this industry respect the international standard to keep the environment and achieve the sustainable development, but the real point now is that , the cement industry which control the pollutants by the advanced technology solutions it is also consider a suitable place to deal with much of industrial and domestic waste which produced from many activities ,which are used as a raw material, or as additive to klinker to get cement, or as an alternative fuel in place of fuel or gas , That is indeed what evaluate the big rule of this industry and consider it as a green industry This research study the possibility using slag of hadeed Hamaa in cement industry as an additive to klinker in certain percentage instead of pozzolana which obtained from natural quarry in Suaedaa city and check the produced cement if it still have the stander of Portland cement or move to slag cement standard., this slag became a big problem due to the huge square occupied for disposal , and although the problems happened around the agricultural land escape .

Key words: sold industrial waste , recycle , slag , Portland cement .

*Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Civil Engineering, Albaeth University, Homs , Syria .
**Professor, Department of Transport, Faculty of Civil Engineering, Albaeth University, Homs, Syria .
***Postgraduate Student, Department of Environment, Faculty of Civil Engineering, Albaeth University, Homs , Syria .

مقدمة :

تعتبر حماية البيئة من التلوث أحد المؤشرات الهامة لمدى تحضر وتقدم أي أمة, فالدولة التي تحقق التوازن بين رفع معدلات التنمية الصناعية التي تفرز العديد من الملوثات وبين حماية البيئة من هذا التلوث في آن واحد تعتبر قد نجحت في تطبيق الشعار الذي تدعو إليه الأمم المتحدة وهو (تكنولوجيا الانتاج النظيف) , فبدأت دول العالم المتقدم والمنظمات والشركات العالمية خلال السنوات الأخيرة بمحاولات جادة للحد من التأثير السلبي للصناعة على البيئة بما تفرزه من ملوثات و نفايات صلبة وغازية وسائلة.

إن القاعدة الذهبية في مجال الحفاظ على البيئة من خطر النفايات هي تقليل "إنتاج النفايات" [10]و الخطوة الأهم في ذلك تقليلها في مكان مصدرها أي قبل أن تنتج وقبل أن ينشأ داع لمعالجتها أو لاسترجاعها, وتقليل النفايات يكون على أساس التوعية بالمحافظة على البيئة بترشيد استخدام الموارد الطبيعية الاستخدام الأمثل الذي يراعي مبادئ الحفاظ على البيئة ، أو أن يتم استخدام هذه النفايات في صناعات اخرى و هو الإجراء الأهم في ظل عدم إمكانية منع نشوء هذه النفاية بشكل كامل [12].

تعرف النفايات الصلبة بأنها المواد الصلبة وشبه الصلبة غير الخطرة المتولدة من المناطق السكنية والتجارية والصناعية[3] ، والتي يجب أن يتم جمعها و ترحيلها و معالجتها و التخلص منها على أنها عديمة الفائدة إضافة الى أنها تسبب تلوث البيئة التي تنشأ فيها, و مع التزايد الكبير في الصناعة عالمياً و محلياً يزداد التحدي للتعامل مع مشكلة النفايات الصناعية الناتجة عن هذه الصناعات[11], و على اعتبار أن الصناعات التعدينية التي تنامت تنامياً متسارعاً في القرن العشرين، من أكثر الصناعات إضراراً بالبيئة لسببين[15,10]: الأول هو ما تستنزفه من موارد طبيعية من خامات ووقود وغيرها، والثاني ما تفرزه من مخلفات كالغازات الضارة و محملة بالعوالق الصلبة التي لا تقل عنها ضرراً، إضافة لما تخلفه من نفايات سائلة أو صلبة بكميات كبيرة جدا تكون سببا رئيسيا لتلوث المياه السطحية او الجوفية في أماكن تجميعها او التخلص منها بشكل صحي بيئيا".

أهمية البحث وأهدافه:

يقدم البحث هنا دراسة إمكانية ان يستخدم خبث معمل حديد حماه – وهو النفايات المتراكمة في منطقة زراعية قرب المعمل منذ تأسيس المعمل تدعى وادي الخبث, مسببة مشكلة بيئية كبيرة – كماد ة مضافة الى الكلنكر بنسب محددة على غرار استخدام البوزولانا ,التي تستقدم من مقالع طبيعية من مدينة السويداء بحيث تحافظ هذه النسب على مواصفة الاسمنت البورتلاندي العادي للاسمنت الناتج أو الانتقال الى مواصفة الاسمنت الخبثي ذي الاستخدامات الهامة .

طرائق البحث ومواده :

يعتمد هذا البحث على إجراء سلسلة من عينات اسمنت نستعيض فيها و بشكل تدريجي عن البوزولانا بخبث معمل حديد حماه– بعد ان يتم تجهيزه –كمادة مضافة بحيث نحافظ على مواصفة الاسمنت البورتلاندي او زيادة النسبة للوصول الى الاسمنت الخبثي, هذه التجارب ستنجز في مخبر شركة اسمنت طرطوس بكامل تجهيزاته الفيزيائية و الكيميائية المعتمد من قبل وزارة الصناعة .

صناعة الحديد :

يعود تاريخ أفران الصهر في صناعة الحديد إلى بداية العصر البرونزي، حين عرف الإنسان المعادن، وبدأ استخدامها في تصنيع أسلحته وبعض أدواته. ولكن تلك الأفران لم تكن تتعدى بعض المواقد البسيطة التي يستخدمها في التدفئة أو الطهو [6,8]، وارتبط تطور أفران الصهر منذ ذلك الوقت بتطور استخلاص المعادن واستخدامها, لذا فإن العديد من المسابك بدأت بالتحول من الصهر التقليدي باستخدام الفحم أو النفط في التسخين، إلى استخدام الأفران الكهربائية, فالصهر melting هو تحويل المعدن (أو أي مادة صلبة) من الحالة الصلبة إلى الحالة المائعة، بتسخينه إلى درجة حرارة تزيد على درجة انصهاره [7,2], تصهر المعادن في أفران الصهر وأغلبها مكوّن من غلاف فولاذي مبطّن بالآجر الحراري والتربة الحرارية المضغوطة، وتكون غالباً على شكل حوض يتم فيه الصهر مباشرة، أو على شكل أسطوانة مفرغة تحتضن البوتقة التي يجري فيها الصهر[8].

1- **تصنيف أفران الصهرmelting furnaces** : التصنيف الغالب لأفران الصهر هو تصنيفها حسب مصادر الطاقة الحرارية، و يكون على النحو الآتي [15,7]:

1-1 **أفران الوقود الصلب:** وأهمها الفرن المقبب cupola furnace والفرن عاكس اللهب reverberatory furnace. يتكون الفرن المقبب من أسطوانة فولاذية طويلة قائمة شاقولياً على قواعد صلبة ومبطنة بالآجر الحراري, يزود الفرن بشحنة المعدن المكونة من الحديد الخام وفحم الكوك ومساعدات الصهر (مشكّلات الخبث) , وهذا الفرن خاص بصهر الحديد الخام وتحويله إلى حديد صب .

1-2 أفران الوقود السائل والغازي: وأهمها فرن اللهب وفرن البوتقة crucible furnace يتكون فرن اللهب من حوض طويل من الآجر الحراري والتربة الحرارية , يقوم الحراق بمزج الغاز بالهواء اللازم للاحتراق وإشعاله ضمن قناة اللهب ليتجه باتجاه الشحنة الموضوعة في حوض الفرن.

1-3 **الفرن العالي : Blast Furnace** يستخلص أكثر من 95% من الحديد المنتج في العالم بواسطة الفرن العالي تتألف الشحنة الداخلة الى الفرن من فلز الحديد و فحم الكوك و مواد مساعدة لتشكيل الخبث حيث يتم احتراق الفحم مؤمنا الطاقة الحرارية اللازمة لعمل الفرن [8].

1-4 **فرن البوتقة:** هو أسطوانة فولاذية مجوفة و شاقولية مفتوحة من الأعلى ومبطنة من الداخل بالآجر الحراري، في أحد جانبيها الحراق وفي الجانب المقابل الفتحة المؤدية إلى المدخنة. توضع قطع المعدن المعد للصهر في بوتقة داخل الفرن، إن الصهر يتم بطريقة غير مباشرة فلا يتلامس المعدن مع نواتج الاحتراق، بل تقوم البوتقة بدور الوسيط في نقل الحرارة إلى الشحنة.

1-5 **الأفران الكهربائيةelectric furnace:** تستخدم الطاقة الكهربائية في تسخين المعادن كافة وصهرها بإحدى الطرائق الثلاث: التسخين بالمقاومة، التسخين بالقوس الكهربائية والتسخين بالتحريض [15,7].

أ . **أفران المقاومة الكهربائية electric resistance furnaces:** الصهر في هذه الأفران يمكن أن يكون مباشراً أو غير مباشر، ففي التسخين المباشر يكون الفرن على شكل أسطوانة فولاذية مفرغة ومبطنة بالمواد الحرارية ، وعلى طول محورها عمود متين من الغرافيت موصول من نهايتيه بالتيار الكهربائي. أما التسخين غير المباشر فيتم في أفران البوتقة المشابهة لتلك التي تستخدم الوقود السائل أو الغازي، ولكنها لا تحتوي على حرّاق وفتحة مدخنة، وإنما تفصل بين البوتقة والبطانة الداخلية للفرن مجموعة من المقاومات الكهربائية تغذيها الطاقة الحرارية اللازمة.

ب . **أفران القوس الكهربائية electric arc furnaces:** يتكون فرن القوس الكهربائي من جسم أسطواني وقاعدة مقعرة وسقف محدب قابل للرفع والإزاحة , يتدلى من سقف الفرن إلكترودات من الغرافيت الصلب، قابلة للتحريك إلى الأعلى والأسفل, تسمح بانفراغ التيار وتشكل قوس كهربائية بين كل من الإلكترودات والشحنة المعدنية. وتؤدي الحرارة الناتجة من القوس الكهربائية وسريان التيار في الشحنة المعدنية إلى صهرها.

ج . **أفران التحريض الكهربائي induction furnaces:** يتكوّن فرن التحريض من بوتقة أسطوانية الشكل مصنوعة من المواد الحرارية المضغوطة، أو من الحديد الصب، أو من الفولاذ (لصهر بعض المعادن غير الحديدية).

الخبث و أنواعه :

1- الخبث (slag): في اللغة يعني بشكل عام الشيء الردئ الفاسد وغير المفيد وهو هنا نفايات المعادن تتكون عند صهرها, وهو الاسم الذي يطلق على الجزء غير المطلوب أو غير المرغوب به في أي عملية وهو عبارة عن مواد غير فلزية تنتج من الإذابة المتبادلة بين المصهور المضاف والشوائب غير المعدنية في المادة الخام لفلز ما [9].

يلعب الخبث دورا في غاية الأهمية في عمليات استخلاص الفلزات بالطرق الحرارية. فهي تقوم بوظائف كيميائية وفيزيائية عديدة، تتفاوت بين استقبال الشوائب المعدنية والمواد غير المُختَزَلة مثل الأكاسيد ، إلى تخزين المتفاعلات الكيميائية ، وامتصاص الشوائب المستخلَصة في عمليات تنقية الفلزات. و يقي الخبث أيضاً الفلز المنصهر و المخلوط الكبريتيدى من الأكسدة، ويقلل من ضياع الحرارة. وفى أفران الصهر الكهربائية يستخدم الخبث كمقاومة تسخين (تسخين بالمقاومة الكهربائية) [8]. وللاستفادة من هذه الوظائف يجب أن يتمتع الخبث بخصائص طبيعية محددة، بما يتعلق بنقطة الانصهار واللزوجة، وخصائص كيميائية مثل القاعدية وتعتمد قيم هذه الخصائص على اختلاف بِنْيَة الخبث وتركيبه الكيميائي.

2- الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لخبث الحديد:

2-1- **التركيب الكيميائي :** يظهر الجدول التركيب الكيميائي لخبث الافران العالية و هو الأكثر شيوعا من باقي أنواع الخبث التي سنرى تباعا بعضها [9,7].

يوضح الجدول رقم (1) المكونات الأساسية للخبث الناتج عن الافران العالية للصهر

المكون %	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	FeO, Fe_2O_3	MnO	TiO_2
خبث الفرن العالي	37,6	34,8	8,1	15,4	0,8	0,61	0,31

2-2 - اللزوجة: تعتمد لزوجة الخبث على عاملين أساسيين هما التركيب ودرجة الحرارة. فتنخفض لزوجته مع ارتفاع درجة الحرارة.

2-3 - الكثافة: تكون كثافة الخبث عالية نوعا ما و هي عند درجة الحرارة 20 : 3-4 غ/سم^3 .

2-4 قاعدية الخبث: تحسب قاعدية الخبث عملياً من أوزان الأكاسيد المتواجدة في الخبث وفقاً للعلاقة العامة الآتية : $(Mgo\%+Cao\%)/(P_2o_5\%+Si0_2\%)=$

فإذا كانت النسبة السابقة أكبر من واحد فإن الخبث قاعدي و إذا كانت أقل من واحد كان الخبث حامضياً , ولا تؤخذ الأكاسيد المتقلبة مثل Al_2O_3 في حساب قاعدية الخبث .

2-5 – درجة الانصهار: تبلغ درجة الانصهار 1539درجة مئوية .

3- أنواع الخبث واستخداماته: تختلف أنواع الخبث وتركيبها الكيميائي وطريقة استخدامها لاحقا, تبعا لنوع الفرن المستخدم ومرحلة استخلاص الحديد و طريقة التبريد الخبث و أشهرها هي:

3-1- خبث الفرن العالي : Blast Furnace Slag هو الخبث الناتج من الفرن العالى في في أثناء استخلاص الحديد ، يُنتج بكميات كبيرة و يعاد استخدامه بدرجة أكبر من أي خبث آخر[9,7], يحتوى هذا الخبث على سليكا وألومينا مصدرهما خام الحديد، متحدة مع أكاسيد الكالسيوم والمغنسيوم مصدرها المصهور المستخدم في أثناء الاستخلاص. يخرج الخبث من الفرن سائلاً عند درجة حرارة 1500 م° تقريباً , ويمكن إنتاجه في عدة أشكال تتغير حسب طريقة التبريد.

3-2 – خبث الفرن العالي المبرد في الهواء Air Cooled Blast Furnace Slag : يُنتج بالسماح للخبث المنصهر بالتجمد في الظروف الجوية السائدة. وهو غالباً متبلور، ذو بنية فَجَويّة، و هذه الفجوات ناشئة عن فقاعات الغازات التي كانت ذائبة فيه قبل التجمد وبعد التكسير والغَربَلة إلى الأحجام المطلوبة، يستخدم الخبث كحصى وكتل مُكسَّرَة في العديد من التطبيقات. واستخداماته الرئيسية في التشييد للردم (رُكام) في أساسات الطرق، وكرُكام في الخلائط القارية (البيتومينية)، ويستخدم في خرسانة الأسمنت البورتلاندى، ولكبح السكك الحديدية ، ورُكام ، وأوساط ترشيح في محطات معالجة مياه المجارى. ويستخدم خبث الفرن العالي المبرد أيضاً مادة خام في تصنيع الصوف المعدني والأسمنت البورتلاندي والزجاج و معدلا للتربة لمعادلة الحامضية [7,6].

3-3 – خبث الفرن العالي المُحَبَّب Granulated Blast Furnace Slag. ويُنتج هذا النوع بتَسْقِيَة (إخماد) الخبث المنصهر بسرعة، بحيث تتكون مادة زجاجية (غير متبلورة) بها القليل من التبلور المعدني. والأسلوب الأكثر شيوعاً هو التسقية في الماء، ويمكن استخدام الهواء أو مزيج منه مع الماء. ويحتوى زجاج الخبث على الأكاسيد الرئيسية في الأسمنت البورتلاندي، ولكن بنسب مختلفة من الجير والسليكا, و (يتصلب) بنفس طريقة الأسمنت البورتلاندى عند اتحاده بمُنشِّط مناسب مثل هيدروكسيد الكالسيوم.

الاستخدام الرئيسي للخبث المحبب هو كمادة أسمنتية. وتستخدم الأخباث المطحونة طحناً ناعماً في عدة أنواع من الاسمنت، وتخلط في الأكثر مع الأسمنت البورتلاندى. وتمتاز هذه الأنواع بمقاومة محسنة لماء البحر والكبريتات. ومن التطبيقات الأخرى لهذه الأخباث تثبيت التربة والأساسات، وصناعة الزجاج, وإنتاج كلنكر الأسمنت البورتلاندى.

3-4 – خبث مُمَدَد أو مُرَغَّى Expanded or Foamed Blast Furnace Slag: يُنتج بمعالجة خبث الفرن العالى المُنصهر بكمية محدودة من الماء، أقل من تلك اللازمة للتحبيب. والمنتج الناتج ذو طبيعة فَجَوية أكثر من الخبث المبرد في الهواء وأخف وزنا منه. وتتحدد خصائص الخبث الناتج بناءاً على كمية المياه المستخدمة وأسلوب التبريد المستخدم، مما يعطى مواد تتفاوت بين الأخباث عالية التبلور فجوية البنية والمواد الزجاجية المشابهة للخبث المحبب, و الاستخدام الأكثر شيوعا لهذا الخبث هو رُكام في الخرسانة خفيفة الوزن، ووحدات البناء المتميزة بخصائص عزل ومقاومة للحريق ممتازة. وتشمل الاستخدامات الأخرى صناعة حشو البناء خفيف الوزن، وتستخدم المواد الأكثر

زجاجية للاسمنت الخبثي. **وقد أصبح استخدام خبث الفرن العالى مساوياً لإنتاجه في معظم البلدان الصناعية.** وقد جعلت التطبيقات العديدة لأنواعه المختلفة المتنوعة، جعلته مادة قيمة وموردا مفيدا جداً بدلاً من مجرد نفاية [2,6].

صناعة الاسمنت: الإسمنت في الأصل كلمة معربة عن اللاتينية caementum، ويقصد منها مسحوق الحجارة والرخام الذي كان يستخدم رابطاً لأحجار البناء زمن الرومان , يعد الإسمنت cement من أهم مواد البناء فهو رابط مائي غير عضوي له خاصة التفاعل مع الماء وتكوين عجينة لدنة قادرة عند تصلبها على ربط الرمل والحصى والحجارة التي تخلط بها وأنواعه كثيرة أشهرها وأكثرها انتشاراً (الإسمنت البورتلاندي) الذي يعرف في بعض البلاد العربية باسم (الإسمنت الأسود) أو (التربة السوداء)[13].

الإنكليزي جوزيف أسبدين Joseph Aspdin هو الذي أطلق اسم (الإسمنت البورتلاندي) على ذلك الرابط المائي الذي توصل إليه بتجارب مشابهة[1]، وقد شيد أسبدين أول مصنع لإنتاج هذا الإسمنت بطريقته المبتكرة التي عرفت فيما بعد باسم (الطريقة الرطبة), تستخدم فيها الأفران البرجية، التي طرأت عليها فيما بعد تحسينات كثيرة وبذلت كل الإمكانات لتحسين نوعيته، وتحسين طرائق إنتاجه والوسائل التقنية المستخدمة لزيادة كمية الإنتاج وتقليل الكلفة[5]. وغدت صناعة الإسمنت مؤشراً مهماً لنمو النشاطات الإنشائية، كما أصبحت مادة الإسمنت أحد العناصر المهمة في بناء الحضارات الحديثة، وأحد المعايير الأساسية للتطور الاقتصادي.

1- مراحل صناعة الاسمنت :

1-تهيئة المواد الأولية :[1,13] يتم في هذه المرحلة قلع الحجر الجيري من المقالع , و ينقل إلى الكسارة لتكسيره و من ثم ينقل عبر سيور ناقلة إلى مستودع المواد الأولية أو إلى مستودعات تغذية الطواحين مباشرة .

2-طحن المواد الأولية : يتم في هذه المرحلة طحن الخليط المكون من حجر الكلس المكسر والبازلت , الذي يحوي اكاسيد الحديد و الألومنيوم و السليكات معا في طواحين خاصة تسمى (**raw material mill**) حتى الحصول على درجة معينة من النعومة , و من ثم ينقل الخليط إلى مستودعات خاصة ليتم فحصه و التأكد من نسب مكوناته , ثم يرسل الخليط إلى خزان الخلط و التجانس لإنتاج خليط متجانس تماما , و توجه المواد بعد ذلك إلى خزانات تغذية الأفران .

3-حرق الخليط : تتم عملية الحرق في أفران دوارة أسطوانية الشكل منشأة بصورة أفقية و بميل بسيط عن الأفق , و تصل درجة الحرق إلى حوالي 1450م° ,مما يؤدي إلى تحول المواد الداخلة إلى مركبات الكلنكر الأساسية.

4-طحن الكلنكر : يتم نقل الكلنكر من المخزن (السيلو)إلى المستودع الخاص بمنطقة طواحين الاسمنت , حيث يتم إضافة مادة الجبس بنسبة 3-4 % , و مادة البوزولانا المستقدمة من مقالع موجودة في محافظة السويداء بنسبة 5-10 % , ليتم طحنه إلى درجة نعومة معينة , ليخرج الاسمنت بشكله النهائي و يصار إلى تخزينه في المستودعات.

5-التعبئة :تتم بطريقة آلية أو نصف آلية حيث يعبأ الاسمنت بأكياس أو يكون بشكل فرط (دكما) , و الاتجاه الحالي لتعبئة الاسمنت و نقله هو استخدام سيارات حوضية خاصة تنقله إلى المشاريع الصناعية و المباني الكبيرة , و لكن عادة يتم تحديد حجم العبوة أو النوع بحسب متطلبات السوق و النظام المتبع في البلد المصمم على أساسه نظام التعبئة بالمصنع .

6-الاختبار والفحص: يتابع قسم مراقبة الجودة في أي مصنع كل مرحلة من مراحل الإنتاج المتعددة, ذلك بأخذ عينات وتحليلها وضبط نسب كل مرحلة حسب مواصفات محددة , لضمان الجودة الكاملة للاسمنت

المنتج و مطابقته للمواصفات المتبعة , و التي يتم اختبار الاسمنت على أساسها , تتحدد خواص الإسمنت الأساسية بالكثافة واللون والتصلب والميوعة وثبات الحجم والنعومة والمتانة ومقاومة الضغط [1].

2- أنواع الاسمنت :

للإسمنت أصناف كثيرة منها الإسمنت السريع التصلب، والإسمنت المنخفض الحرارة والمقاوم للكبريتات، والفقاعي (ذو المسام)، والكتيم، والمقاوم للجراثيم، والألوميني والنفطي، والمغنيزي، والحديدي، والبزولاني، والقابل للتمدد، وإسمنت الطرقات والإسمنت المخلوط. وتميز هذه الأصناف في كل دولة بحسب مواصفاتها القياسية والأصول المرعية لديها. وقد يعطى كل نوع منها رمزاً أو رقماً يدل عليه[14].

استخدام خبث معمل حديد حماة كمادةٍ مضافة في صناعة الاسمنت :

1- : وصف معمل حديد حماه : يقع معمل حديد حماه على بعد حوالي 2كم من شمال غرب مدينة حماة في المنطقة الواقعة مابين (الضاهرية وقمحانة) تم تشييده عام 1971 وقد بدأ الإنتاج عام 1978ينتج مادة العروق الفولاذية (البيليت)بمقطع (80*80)مم ومقطع (100*100)مم المستخدم في مصنع الدرفلة طاقته الإنتاجية 90ألف طن سنويا يعمل على ثلاث ورديات .

ينتج عن العملية الإنتاجية في معمل الصهر العديد من الملوثات الغازية و السائلة وكذلك الصلبة و هي بالنسبة لبحثنا الأهم , حيث أنه ينتج يوميا عن العملية الإنتاجية في معمل الصهر حوالي **عشرة أطنان من الخبث الحديدي** الذي يعتبر نفايات يتم ترحيلها الى خارج الشركة في منطقة تدعى وادي الخبث , و أصبحت كمياتها كبيرة جدا وأن تراكم هذه الكميات منذ سنوات عدة, يشكل عبأً على الشركة و على البيئة المحيطة[12] حيث تعتبر الأراضي التي يتم تجميع الخبث فيها من الأراضي الخصبة للغاية و المحاذية أيضا لنهر العاصي, فيؤدي هذا الخبث تدريجيا الى زيادة الملوحة وكذلك إلى التلوث بالمعادن الثقيلة الأمر الذي يحولها الى تربة غير خصبة و غير مناسبة للزراعة , وكما هو معلوم إن مظاهر تلوث التربة وفسادها ناتج عن ارتفاع نسبة الملوثات فيها عن المعدل المألوف الذي يؤدي إلى الإضرار بالوسط البيئي الذي يمكن للنبات أن ينمو ويعيش ويتكاثر فيه ومع مضي الزمن تضعف قدرة النباتات على المقاومة فتموت وقد تظهر بدلاً منها نباتات شوكية تستطيع أن تتحمل الحياة في هذه الظروف القاسية وتتحول الأرض إلى مناطق جرداء وتشيع فيها الحياة الصحراوية و لا سيما عند زيادة حدة تملح الأرض [12].

تعد أفران القوس الكهربائي المستخدمة في معمل حديد حماه هي الوسيلة الرئيسية لإعادة استخدام خردة الصلب و تحويله إلى صلب مصهور و يتم استخدامها بازدياد حاليا" في إنتاج الصلب المصهور من خامات الحديد , يعتمد عمل فرن القوس الكهربائي على الإنتاج بالدفعات. كل شحنة تسمى "صبة" وتتراوح سعة الأفران عادة بين 1 طن إلى 250 طن .

وتشتمل الشحنة المستخدمة في فرن القوس الكهربائي على المواد الخام الآتية :

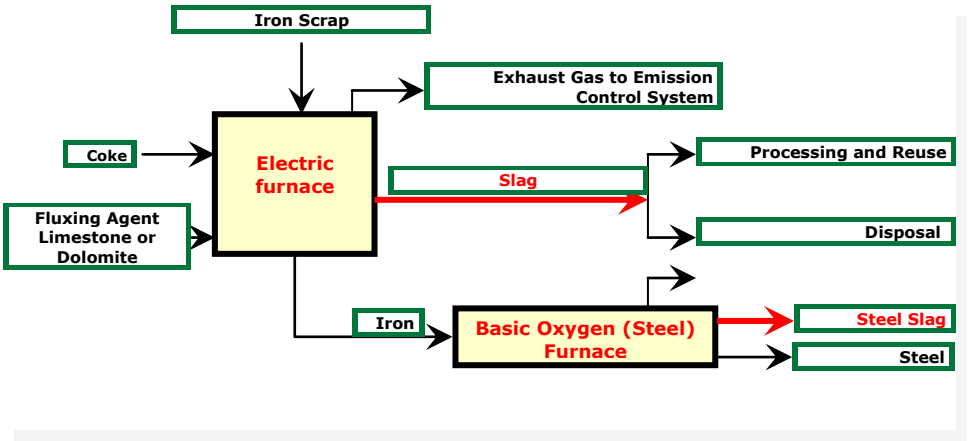
- خردة صلب
- صلب منصهر
- الحديد الناتج من الاختزال المباشر.

وللتنقية والتحكم في التركيب الكيميائي تستخدم المواد الآتية :

- فحم الكوك .

- سبائك حديدية .
- حجر جيري (10 كغ عناصر سبائكيه و100 كغ مساعدات صهر flux لكل طن ناتج).

2- فرن القوس الكهربائي و آلية عمله في معمل حديد حماة:



المخطط (1) يبين آلية عمل فرن القوس الكهربائي

يقدم بحثنا خطة لاستخدام نفايات معمل حديد حماة " خبث الحديد " كمادة مضافة الى الكلنكر في صناعة الاسمنت على غرار استخدام البوزولانا التي تنقل من مقالع طبيعية في مدينة السويداء و ذلك للحصول على الاسمنت البورتلاندي المصنع وفق المواصفة القياسية السورية و سيتم التركيز في هذا البحث على دراسة امكانية استبدال البوزولانا بالخبث حيث نرى تشابهاً في التركيب الكيميائي ,الجدول رقم (2) يبين التركيب الكيميائي لخبث الأفران العالية, خبث معمل حديد حماة و البوزولانا و الاسمنت الخبثي:

الجدول (2) يبين التركيب الكيميائي لخبث الافران العالي و خبث حماه و البوزولانا

	k	Sio2	Al2o3	Mgo	Tio2	Mno	P	S	Cr	T fe	cao
خبث حماه	0,01	22.66	11.56	9.76	1.19	10.7	0.347	0.142	1.07	13.60	34.18
بوزولانا	-	40.76	16.88	12.23	-	-	-	-	-	15.63	11.43
خبث الافران العالية	-	42-33	16-10	16-3	-	2.-0.15	-	-	-	2-0.3	45-36

إن الخبث الذي يعتبر عبئاً على معمل حديد حماه من ناحية المكان الكبير الذي يشغله أولا واعتباره مصدرا" رئيسيا" لتلوث التربة الزراعية المحيطة بوادي الخبث نتيجة تكدسها لسنوات عدة ثانيا , يمكن لها ان تكون مادة مفيدة

في صناعة الاسمنت كمادة اضافات [9,10], حيث سندرس هنا إمكانية الاستعاضة عن مادة البوزولانا بمادة الخبث بنفس النسبة أو ببعض هذه النسبة بحيث يمكن أن نحافظ على مواصفة الاسمنت البورتلاندي العادي المنتج في سوريا او ان نصل الى إنتاج الاسمنت الخبثي بإضافة كميات اكبر من الخبث كما هو الحال في بعض الشركات العالمية بحيث يستخدم في أماكن مخصصة و لغايات محددة[16,4].

ان تحليل خبث الحديد الناتج عن معمل حديد حماه و مقارنته مع مادة البوزولانا من حيث التركيب الكيميائي والشكل الفيزيائي للمادة تبين إمكانية الاستفادة من هذا الخبث بعد ان يخضع لبعض من العمليات التحضيرية [6]– التي ستتم في مخبر شركة اسمنت طرطوس المعتمد من قبل هيئة المواصفات و المقاييس السورية– من تكسير و فرز و من ثم طحن و نخل على مراحل عدة ليصبح مناسبا للإضافة الى الكلنكر و جاهزا للطحن في مطاحن الاسمنت مع الجص و هو ما يمكن ان يقابله من عمليات ميكانيكية موجودة في الشركة دون تعديل كبير على الخطط التكنولوجي للشركة , حيث تستطيع كسارة المواد المضافة (كسارة الجص)من تهيئة الخبث و تكسيره على مرحلتين الأولى للقطع الكبيرة و الثانية لطحن الخبث ليكون مناسبا لدخوله الى مطاحن الاسمنت و طحنه مع الكلنكر للحصول على مادة الاسمنت , و هو مشابه الى ما يتعرض له الخبث الناتج عن الافران العالية من عمليات تكسير و تنخيل و تجهيز حسب الاستخدام المطلوب له بعد ذلك[8] و عليه تكون خطة العمل كما هو موضح في الجدول (3):

الجدول (3) يوضح خطة العمل المقترحة

الرقم	كلنكر %	إضافات	
		جص %	بوزولانا %
اسمنت بورتلاندي عادي الحالي	92	3	5
المواصفة القياسية السورية للاسمنت البورتلاندي العادي	95	إضافة أي شيء (بوزولانا ,جص ,كلس , خبث	
اسمنت التجارب : للحصول على اسمنت بورتلاندي عادي	95	–	1%خبث+4%بوزولانا 2%خبث+3%بوزولانا 3%خبث+2%بوزولانا 4%خبث+1%بوزولانا 5%خبث
اسمنت التجارب : للحصول على اسمنت خبثي	94 93 92 91 90		6خبث 7خبث 8خبث 9خبث 10 خبث

ستكون المقارنة بين الاسمنت البورتلاندي العادي و الاسمنت الخبثي حسب المواصفة القياسية السورية م ق س 3411/ 2008 [14]وفق المتطلبات التالية:

1. المتطلبات الميكانيكية و الفيزيائية: مقاومة الضغط بعد 7ايام اكبر من 18 نيوتن/مم2 , ومقاومة الضغط بعد 28ايام ما بين 32.5-52.5 نيوتن/مم2 , زمن بداية الأخذ وفق فيكات اكبر من 60 دقيقة,و ثبات الحجم وفق لوشاتوليه اقل من10ملم.
2. الاشتراطات الكيميائية : الفاقد بالحرق اقل من5%, المواد غير المنحلة اقل من 5% , محتوى الكبريتات اقل من 3.5% , شاردة الكلور اقل من0.1%.

التجارب:

لبيان تأثير الخبث كمادة مضافة في الاسمنت و استبداله بنسب معينة من مادة البوزولانا و فق النسب التي وردت في خطة البحث لإجراء التجارب الفيزيائية و الكيميائية حسب المواصفة المبينة آنفا .

تمت التجارب الكيميائية للعينات المحضرة وفق النسب الواردة في خطة العمل على جهاز الـ x-ray الذي تتم التجارب فيه من كبسولة تملأ من الاسمنت المراد تحليله فزودنا بالتركيب الكيميائي و شاردة الكلور و الكبريتات , كما تم إجراء تحليل المواد غير المنحلة IR و الفاقد بالحرق LOI في المخبر الكيميائي .

أما التجارب الفيزيائية فأجريت على عينات اسمنت حضرت وفق النسب السابقة من الكلنكر و الجص و البوزولانا و الخبث ,تؤخذ مثلا 10 غرام من الاسمنت المخلوط وفق النسب لاجراء اختبار النعومة على المنخل و 3 غ لإجراء النعومة وفق بلين, بينما نحتاج الى 500 غ لاجراء اختبار زمن الاخذ (فيكات) و نحتاج الى 450غ من الاسمنت لإجراء عملية صب القوالب التي تتم وفق الشروط المحددة لنتبين بعدها اختبار مقاومة الضغط و الانعطاف بعد يومين و 7ايام و 28 يوم .

يبين الجدول (4) نتائج التحاليل للتركيب الكيميائي للعينات السابقة , و الفاقد بالحرق و المواد غير المنحلة و الكبريتات و شاردة الكلور كما يظهر الجدول (5) النتائج الخاصة بالنعومة و زمن الأخذ و الثباتية و المقاومة على الضغط و الانعطاف, فإن المواصفة الأهم في الاسمنت هي في المقاومة التي يمتلكها الاسمنت بعد 28 يوم , 7 , 2 يوم و ما يرتبط به من متطلبات أخرى كزمن بداية الأخذ و التمدد وفق لوشاتوليه , مع ذكر مؤشرات هامة لا تذكر في المواصفة و لكنها ذات دلالات هامة و هي النعومة وفق بلين او حسب المنخل , و كل ذلك مبين في الجدول (5) الذي يظهر النتائج وفق العينات المدروسة أيضا :

الجدول (4) يبين التركيب الكيميائي لعينات الاسمنت المعتمدة و الخبث و البوزولانا و الكلنكر

sample NO	LOI	Na_2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K_2O	CaO	Fe2O3	IR	CL
1	2.30	0.57	2.76	4.82	20.97	2.45	0.27	60.08	4.66	1.67	0.025
2	2.16	0.53	2.75	4.78	20.99	2.50	0.26	60.48	4.55	1.5	0.028
3	2.04	0.51	2.74	4.69	20.92	2.60	0.25	60.76	4.48	1.47	0.023
4	1.67	0.47	3.58	5.02	21.43	2.25	0.22	58.10	5.12	3.41	0.025
5	2.04	0.47	2.76	4.60	20.74	2.61	0.23	61.50	4.32	1.02	0.023
6	2.06	0.44	2.92	4.64	20.83	2.53	0.21	60.85	4.50	1.34	0.02
7	2.03	0.65	3.35	5.16	21.41	2.41	0.23	59.93	4.68	1.52	0.023
8	1.90	0.51	3.20	4.87	21.41	2.51	0.21	60.00	4.66	2.80	0.025
9	1.77	0.46	3.20	4.77	21.08	2.54	0.21	59.92	4.70	3.75	0.011
10	1.98	0.44	3.31	4.84	21.21	2.60	0.20	59.48	4.79	2.94	0.014
11	1.92	0.43	3.33	4.83	21.10	2.52	0.20	59.39	4.81	2.71	0.014
Slag			8,9	11,62	23,5	0,14	0,004	31,3	12,11		
Clinker		0.49	3.22	5.20	21.25	0.92	0.41	63.56	4.44		
Pozzolana		2.27	8.03	19.48	39.51		1.24	12.83	11.13		

الجدول (5) الذي يظهر النتائج وفق العينات المدروسة

sample NO	Physical testes											
	Fineness		Setting Time		Expansion	Bending Strength			Compressive Strength			
	Res.90 Mic	Blaine	Initial	Final		2-Days	7-Days	28-Days	2-Days	7-Days	28-Days	
1	8.4	3946	130	240	3.0	5.8	7.7	8.9	17.7	27.7	38.8	
2	7.6	4191	105	240	3.0	5.9	8.2	9.1	17.9	28.4	39.4	
3	8.4	4010	115	225	2.0	5.5	7.9	9.3	16.7	28.8	40.2	
4	7.0	4191	70	215	5.0	5.4	7.1	8.5	16.3	24.9	35.4	
5	7.0	4079	80	210	1.0	5.3	8.4	8.9	17.3	29.9	39.4	
6	8.5	4321	80	220	0.0	5.4	8.2	9.0	17.0	28.9	37.8	
7	7.6	4213	75	220	1.0	6.1	7.8	9.1	18.6	27.6	36.2	
8	6.6	4427	90	220	1.0	5.4	7.3	9.0	16.5	27.8	36.5	
9	8.2	4385	90	220	1.0	6.0	7.4	9.0	18.0	27.3	37.1	
10	7.0	3964	95	220	1.0	6.2	7.8	8.8	18.7	27.2	37.5	
11	8.2	4385	90	220	1.0	5.0	7.4	9.1	15.9	26.6	36.5	

أظهرت النتائج أن النعومة وفق الباقي فوق المنخل هو بمتوسط 7 , في حين ان النعومة وفق البلين هي بمتوسط 4000 و هي نعومة جيدة للغاية و هذا ما انعكس إيجابا على المقاومة و التي تجاوزت المواصفة بشكل لافت لكل العينات المعتمدة وفق النسب المبينة آنفاً التي تظهر في الجدول (5).

النتائج والمناقشة:

أظهرت نتائج التجارب التي درست وفق النسب المبينة أن كل العينات المختبرة محققة لمواصفة الاسمنت البورتلاندي العادي من خلال المقاومة و بفارق كبير , الفاقد بالحرق , المواد غير الذوابة , شاردة الكلور,الكبريتات, زمن بداية الأخذ و الثباتية, و ان لم تظهر النتائج تبايناً ملحوظاً بالقيم تبعا للنسب التي تفاوتت بشكل ضئيل في البداية ثم بشكل أكبر .

المقاومة على الضغط كانت محققة لمواصفة البورتلاندي العادي مع لحظ تراجع المقاومة بشكل بسيط في العينات التي تم استخدام نسب أعلى الخبث عنه في العينات ذات النسب الأقل , إلا أنها ما زالت تتبع البورتلاندي العادي الأمر الذي ينطبق على زمن بداية الأخذ و الثباتية التي بقيت ضمن المواصفة مع تراجعها ايضا مع زيادة نسبة الخبث على حساب البوزولانا وهذا ما يعني أن زيادة نسبة الخبث على حساب البوزولانا كإضافة حتى 5% أو إضافة الخبث 10% خبث و 90 % كلنكر أبقت على الاسمنت الناتج ضمن مواصفة البورتلاندي العادي من خلال المقاومة, مع الإشارة إلى تراجع القيم و لو بشكل بسيط مع تزايد نسبة الخبث مما قد يقود إلى القول إن استمرار الزيادة بنسب أكبر سيغير مواصفة الاسمنت الناتج.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. يمكن الالتزام بنسبة 5% اضافة من الخبث و 95% من الكلنكر لإنتاج الاسمنت البورتلاندي العادي .
2. تكريس مبدأ التدوير , فهذا الإجراء كفيل بالتخلص الآمن لكميات الخبث المتراكمة بطريقة مفيدة اقتصادياً كما هي بيئيا وهو الأمر الأهم في بحثنا هذا .
3. الاستعاضة عن استخدام البوزولانا كإضافة في الاسمنت بالخبث يحمي مقالع البوزولانا الطبيعية من التشويه و التخريب و الاستنزاف بشكل سريع.
4. الإجراء البيئي السابق يعكس أيضا بعداً اقتصادياً من خلال التوفير في كلفة النقل المتمثلة باستقدام البوزولانا من محافظة السويداء الى طرطوس و يمكن تقديم هذا الاقتراح الى معمل حماه للاسمنت بما ينعكس ايضا على خفض كلفة النقل .
5. يمكن التوجيه لمراحل لاحقة للعمل ان نعمل على تحديد النسبة اللازمة للحصول على الاسمنت الخبثي , نظرا لما له من مزايا هامة كمقاومته للعوامل الخارجية و أهمها مياه البحر وهجمات الكلور و الكبريتات بشكل عام حيث يفضل استخدامه في المناطق الساحلية الأمر الذي يضمن عمر أطول للمنشآت الإسمنتية .

المراجع :

1. Duda, H, Walter. 1985. Cement Data Book; International Process Engineering in the Cement Industry HGUHGy. 3rdhand bon. Germany
2. DAVIS.J,1998,metals hand book desk edition ASM international.
3. AGRAWAL.A,SAHU,K,K , pandeyB,D.2004, solid waste management in non ferrous industry in India , conservation and recycling .
4. F.Hubbardond,h.t.williams.proc.Am.soc,test.mater.1943.
5. . Lea,f,m, 1976.the chemistry of cement and concrete . 3rd Edition. England
6. National slag association,2009 ,research library, internet.

7. الدهشان , محمد عز, جامعة الملك سعود , الموسوعة العلمية في الحديد و الفولاذ ,1999.
8. كامل , ا, حلمي , MALTA, مركز دراسات العالم الإسلامي , صناعة الحديد والصلب وتقنياتها الحديثة, 1993.
9. كعدان , بكري, جامعة حلب , دراسة خصائص الخبث الناتج عن تصنيع نفايات الألمنيوم و الاستفادة منها في الصناعة,أطروحة ماجستير , 2008.
10. الحجار , د صلاح محمود , دارالفكر العربي, اسس و اليات التنمية المستدامة, ادارة المخلفات الصلبة– البدائل الابتكارات –الحلول, القاهرة,2004 .
11. وتي , د عبدالله , جامعة حلب ,الصناعات اللاعضوية , كلية العلوم 1981.
12. العمر ,د مثنى عبد الرزاق ,دار وائل للنشر و التوزيع ,التلوث البيئي ,عمان رام الله 2004.
13. سلوم , بيداء , جامعة البعث , تحسين الواقع البيئي حول معامل الإسمنت باستخدام نماذج خاصة من الفلاتر,اطروحة ماجستير ,2008.
14. المواصفات القياسية السورية للاسمنت .
15. الموسوعة الحرة, ويكيبيديا , خبث المعادن . انترنت .
16. الشركة المصرية لصناعة الاسمنت الخبثي , انترت