قسم الهندسة المدنية

مقرر كيمياء المهندسين

الجزء العملي

مشرفة المقرر
د.م. نسرين خلوف

مشرفة الجزء العملي
مرام سمير عباس

مقدمة: إن تعلم التعامل مع المواد الكيميائية، وتشغيل الأجهزة، هو جزء هام وضروري من ثقافة المهندس التحليلي الكيميائي، حيث ترتبط العلوم الهندسية التطبيقية ارتباطاً وثيقاً بالكيمياء من حيث الحاجة إلى معرفة تركيب المواد التي تدخل في صناعة الخرسانة، والعوامل البيئية المؤثرة عليها من جهة وعلى حديد التسليح من جهة أخرى، والشروط التي يجب أن تتمتع بها مياه الصب وغيرها من الأساسيات التي بدونها يحدث خلل في البنية الداخلية والخارجية للبناء.

وهنالك أمر آخر لا يقل أهمية، وهو تعلم إتقان العمل المخبري على أسس علمية تقنية.

وهكذا فإن الإتقان عنصر هام في التقنية الجيدة، وإن الإهمال في التعامل مع الكيماويات لا يقود فقط إلى نتائج فقيرة وخاطئة في بعض الأحيان، بل هو غالباً غير آمن، وكذلك فإن الإهمال في تشغيل الأجهزة لا يؤدي إلى أداء غير جيد للأجهزة فحسب، بل لا يخلو من الخطر أحياناً، لذا وجب دائماً التقيّد بالقواعد العامة التالية لتفادي الوقوع في مصيدة الأخطار المخبرية.

يمكن تلخيص قواعد الأمان المخبري من خلال النقاط الأساسية التالية:

1. عوّد نفسك منذ اليوم الأول على العمل بانتباه، هدوء، دقة، اتقان ودون تسرع، مع الحفاظ على نظافة مكان عملك وغسل أدواتك وأجهزتك فوراً بعد الانتهاء من استخدامها.

2. لا تلوث المحاليل والمواد الكيميائية واحفظها في عبوات محكمة الإغلاق كي لا تتأثر بالحرارة والضوء والرطوبة، وانتبه إلى أهمية أن يكون لكل زجاجة محلول قطارة أو ماصة خاصة بها ولكل مادة كيميائية ملعقة خاصة أيضاً، ولا تعيد الجزء الباقي من المحلول إلى الزجاجة الأصلية منعاً لتلويثها.

3. لاتبذّر باستخدام المواد الكيميائية وانتبه جيّداً إلى إغلاق صنابير المياه واسطوانة الغاز وفصل السخانات والأجهزة من الكهرباء بعد الانتهاء من استخدامها.

4. يمنع تناول الأطعمة والمشروبات والتدخين ضمن المخبر، كما يمنع شرب الماء باستخدام أدوات العمل مهما كانت نظيفة.

5. يجب الالتزام بارتداء الرداء الأبيض والقفازات الواقية حفاظاً على النظافة والسلامة، بالإضافة إلى ضرورة ارتداء النظارات المناسبة و الكمامات وخاصة في بعض التجارب التي تنتج عنها أبخرة أو غازات أو روائح كريهة.

6. يجب على الطالب تحضير التجربة وخطوات العمل قبل الدخول إلى المخبر كما يجب عليه الانتباه إلى ملاحظات المشرف وتسجيل المشاهدات العملية لتحقيق أكبر قدر من الدقة (التكرارية في النتائج) والصحة (مقدار القُرب من النتيجة الحقيقية) والفائدة.

7. بعض التجارب التي يتم فيها التعامل مع مواد سامة يجب إجراؤها تحت ساحبة الهواء، ويمنع منعاً باتاً تذوق المادة الكيميائية أو تقريبها من الأنف لمعرفة هويتها، حيث يسمح فقط باستنشاق رائحة أبخرتها عن بُعد.

8. يجب على الطالب تحديد مكان عمله والمحافظة عليه نظيفاً مرتباً خالياً من المواد والأدوات التي لا يحتاجها في تجربته، كما يجب عليه التعرف على أماكن تواجد أجهزة إطفاء الحريق وصيدلية المخبر من أجل المساعدة الأولية عندما تدعو الحاجة.

9. يجب أن يحتوي مكان العمل على الصابون والسوائل المنظفة بالإضافة إلى مناشف لمسح الطاولات بعد الانتهاء من التجارب، تفادياً لبقاء أي أثر ملوِّث لأي مادة كيميائية.

10. يسمح بصب الماء ، والمحاليل الشفافة للمواد اللاعضوية فقط في المجاري، ويحظر رمي (أي سائل عضوي أو محلول مركز للحموض، والأسس، والمواد ذات الرائحة الشديدة، والمواد القابلة للاشتعال، والمواد السامة) في مجاري المياه، حيث يجب جمع هذه المواد في الأماكن المخصصة لها، كما يمنع رمي الأوراق، وأوراق الترشيح، والرواسب الصلبة في مجاري المياه.

11. يمنع نقل المواد والأدوات من مخبر لآخر دون موافقة المحضّر.

12. يمنع إجراء أية تجربة في المخبر لم يقررها أستاذ الجلسة.

13. التأكد من أن مادة الأواني الزجاجية المعدة للتسخين، تتحمل الحرارة المطلوبة، و إياك أن تلجأ لتسخين المقاييس المدرجة، أو ميزان الحرارة، أو القوارير الزجاجية العادية مباشرة على اللهب.

محاذير العمل مع المواد القابلة للاشتعال:

1.لا تترك بقايا مواد سريعة التطاير، أو الاشتعال (مثل،الكحولات، الإيتر الإيتيلي، الإيتر البترولي، البنزن ، كبريت الكربون، الأسيتون، وغيرها) في أوعية مفتوحة حيث تسخن مثل هذه المواد أو تقطر على حمام مائي، أو هوائي. أما الإيتر فيتم تسخينه على حمام مائي مسخن بشكل مسبق، بعيداً عن مكان وجوده، إذ يمنع وضع الموقد مباشرة تحت الوعاء الحاوي على الإيتر، كما ويمنع تقريبه من اللهب المباشر.

2.يمنع حفظ أية مواد قابلة للاشتعال أو التطاير في مكان ساخن (أجهزة التدفئة، أو المجفف الكهربائي)، أو في أوعية رقيقة الجدران، ويتم الحفظ في زجاجات وقوارير سميكة الزجاج.

3.لا تشعل مصباح بنزن بالقرب من المواد المتطايرة والقابلة للانفجار، ولا تدعه مشتعلاً دون رقابة، وخاصة عندما لا تحتاجه، ولا ترمي السوائل القابلة للاشتعال أو المتطايرة في المجاري.

العمل مع الحموض والأسس:

تسبب الحموض المعدنية (حمض الكبريت، حمض الآزوت، حمض كلور الماء) وبعض الحموض العضوية عند سقوطها على الجلد حروقاً كيميائية، لذلك يجب مراعاة الشروط التالية عند العمل معها:

1. يتم أخذ كميات منها بصبها من خلال قمع زجاجي وتحت ساحبة الهواء.
2. يجب وضع نظارات لحماية العين.
3. ينبغي على الطالب سكب الحمض على الماء وبكميات قليلة وعلى دفعات متتالية ثم يتم المزج بشكل جيد.

العمل مع المواد السامة:

يجب العمل مع المواد السامة مثل البروم والحموض المركزة تحت ساحبة الهواء مع الالتزام بارتداء النظارات الواقية وبإشراف الأستاذ المشرف والمحضر المخبري.

قسم الهندسة المدنية

قواعد العمل بالزجاج:

1. يجب الحرص عند قطع الزجاجيات على أن يتم القطع بحيث لا تؤدي أطراف الزجاج المقطوع إلى جرح الأيدي.
2. يجب إدخال الأنابيب الزجاجية في السدادات بحركة دائرية دون الضغط عليها.
3. لا يجوز تسخين الأوعية الكيميائية سميكة الجدران والتي لا تتحمل الحرارة مثل البياشر الخزفية.
4. يجب ارتداء القناع الواقي أو النظارات الواقية عند معالجة الزجاج لحماية العين.

المساعدات الأولية في الحوادث الناتجة عن العمل المخبري:

1. **الجروح الناتجة عن الأدوات الزجاجية:**

يجب تنظيفها للتخلص من بقايا الزجاج باستخدام ملقط أو بواسطة تيار الماء القوي، ثم يوقف نزيف الدم باستخدام محلول من الماء الأوكسجيني 3%والضغط قليلا على مكان النزف، ثم يدهن مكان الجرح بمحلول اليود 5% ويوضع عليه ضماد.

2. **الحروق الناتجة عن الحرارة:**

يغسل مكان الإصابة بالماء البارد أولاً ثم تغسل بالإيتانول وتدهن أخيراً بالغليسيرول، أما اذا كانت الحرارة عالية والحرق شديد الاحمرار فيغسل أولاً بمحلول برمنغنات البوتاسيوم ثم بالإيتانول ثم يدهن بمرهم خاص بالحروق.

3. **الحروق الناتجة عن الحموض أو القلويات:**

تغسل أولاً بشكل جيد بالماء العادي، ثم يغسل مكان الإصابة بمحلول بيكربونات الصوديوم 1% وتوضع في العين قطرة من زيت معقم مثل زيت الزيتون في حال الحموض، أما في حال القلويات تغسل الإصابة بمحلول حمض البوريك2% أو حمض الخل2% أو حمض الليمون.

** **في حال بلع بعض الحموض:** تخفف بشرب كميات كبيرة من الماء مصحوباً بـ(محلول بيكربونات الصوديوم) ويعطى اللبن بكثرة ولا تعطى المقيئات.

** **في حال بلع بعض القلويات:** تخفف بشرب كميات كبيرة من الماء مصحوباً بالخل أو عصير الليمون أو عصير البرتقال، ولا تعطى أي مقيئات.

** **في حال بلع أملاح الغازات النقية أو مركبات الكروم أو الزرنيخ أو الزئبق:** يعطى المصاب مقيئاً مثل (ملعقة كبيرة من الخردل أو الملح أو كبريتات الزنك في كوب ماء فاتر).

** **حوادث العين:**

- **في حال تلوث العين بالقلويات:**

تغسل جيداً بالماء وبكميات كبيرة ثم بمحلول حمض البوريك 1%.

- **في حال تلوث العين بالحموض أو البروم:**

تغسل مراراً بمحلول بيكربونات الصوديوم 1% ثم بالماء، وإذا كان الحمض مركزاً تغسل أولا بكمية كبيرة من الماء ثم بالبيكربونات ثم الماء مرة أخرى.

- **في حال تلوث العين بالزجاج:**

يزال الزجاج بلطف باستخدام ملقط ثم تغسل العين بالماء ويتم استدعاء الطبيب فوراً.

- عند تعرض العين لتأثير الدخان في حال الحرائق والأجواء الفاسدة التهوية في أماكن العمل يجب استخدام محلول مطهر.

قسم الهندسة المدنية

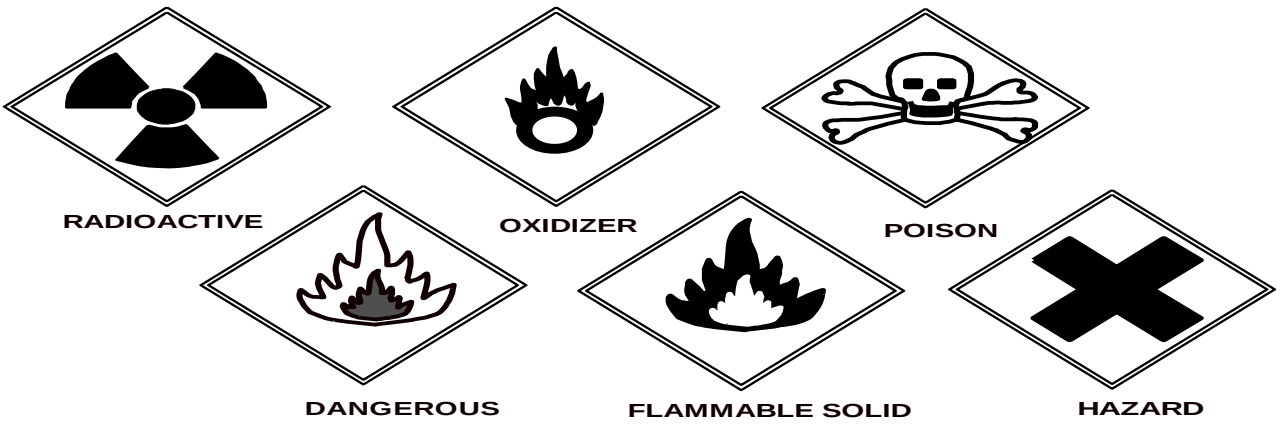
عند حدوث حريق في المخبر :

1. يجب إغلاق صنابير الغاز ومفاتيح الكهرباء.

2. إبعاد كل المواد القابلة للاشتعال عن مكان الحريق.

3. ثم استخدام الرمل أو جهاز الإطفاء للسيطرة على الحريق ومنعه من الامتداد.

4. لا يجوز استخدام الماء إلا في حالة المواد سريعة الاشتعال التي تنحل فيه مثل الكحولات أو الأسيتون لأنه في كثير من الأحيان قد يؤدي إلى توسيع منطقة الحريق، أما في حال المواد التي لا تنحل في الماء مثل البنزن والإيتر فيجب استخدام الرمل أو المطفأة.



أهم الرموز المتواجدة على العبوات الكيميائية

الجلسة الأولى: مفاهيم عامة في الكيمياء

تعريف المحلول: هو عبارة عن مزيج متجانس مكوّن من مادتين أو أكثر (مُذيب وَ مُذاب)، وتكون جميع أجزائه مؤلفة من طور واحد وتملك نفس الخواص الكيميائية.

تعاريف عامة:

الذرة Atom: هي عبارة عن أصغر جزء من المادة، تتألف من نواة تتركز فيها كتلة الذرة وشحنتها الموجبة (وهي تحوي نترونات معتدلة وبروتونات موجبة)، والكترونات سالبة الشحنة.

تكون الذرة معتدلة الشحنة لأن مجموع الشحن السالبة للالكترونات تساوي شحنة النواة الموجبة.

الشاردة Ion: هي عبارة عن ذرة فقدت أو اكتسبت الكترون.

الشرسبة Anion: هي عبارة عن ذرة اكتسبت الكترون، وتكون سالبة الشحنة.

الشرجبة Cation: هي عبارة عن ذرة فقدت الكترون، وتكون موجبة الشحنة.

☐ **يقسم التحليل الكيميائي إلى نوعين أساسيين هما:**

1. **التحليل الكيفي (النوعي):** وهو الذي يهدف إلى الكشف عن وجود أي مادة في العينة المحلّلة، أي أنه يبحث في تعيين ماهيّة العناصر أو الشوارد الموجبة (الكاتيونات) أو الشوارد السالبة (الأنيونات) الموجودة في مادة مجهولة أو مزيج من المواد.
2. **التحليل الكمّي:** وهو الذي يختص في تحديد كمية العناصر أو نسبتها في المادة المجهولة المدروسة.

☐ **وقد يكون التحليل الكيميائي كلاسيكياً أو آلياً:**

فالتحليل الآلي يتم فيه استخدام الأجهزة والاعتماد على الخواص الفيزيائية الالكتروكيميائية أو الطيفية الضوئية أو غيرها، حيث تتغير هذه الخواص تبعاً لتفاعل كيميائي معيّن.

أما **التحليل الكلاسيكي** يعتمد على تحديد المواد نوعيّاً وكميّاً عن طريق اختبار اللهب أو التفاعلات الكيميائية المختلفة التي ينتج عنها ناتج مميز بشكله ولونه قد يكون راسباً أو معقّداً بلون معيّن أو غازاً يمكن تمييزه برائحته أو لونه....إلخ.

- ☐ هناك طرائق متعددة ومتنوعة لكشف هوية العناصر الموجودة في مركب مجهول الهوية أو لفصل مزيج من المواد المجهولة وذلك باختلاف العينات المدروسة ودرجة تعقيدها.. فهناك طريقة **التحليل الجاف** التي لا تتطلب حل العينة ..وهناك أيضاً طريقة **التحليل الرطب** التي تحتاج تحويل العينة إلى محلول ثم تعيين تركيبها وهي الطريقة الأكثر شيوعاً.

☐ **مبدأ الطريقة الرطبة:**

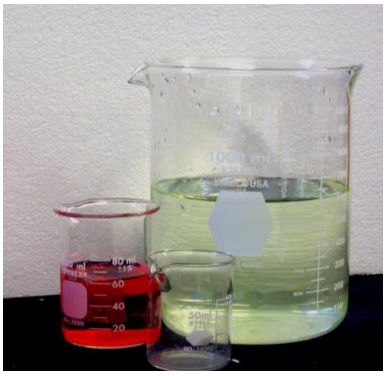
تعتمد الطريقة الرطبة على إذابة العينة المدروسة في الماء بشكل رئيسي أو في الحموض أو الأسس في بعض الحالات، وإذا كانت المادة غير ذوابة يجب العمل على صهرها أولاً بوجود قلوي ثمّ إذابة الصهارة الناتجة في الماء أو الحمض.

- الأملاح اللاعضوية في الحالة **الصلبة** الجافة تكون فيها الأيونات مرتبطة برابطة أيونية قوية و**مقيّدة** ضمن شبكة بلورية، أما في **المحاليل** فتكون الشوارد **حُرّة** ويمكن ترسيبها باستخدام كواشف مناسبة.

☐ أهم الأدوات المخبرية:

☐ البيشر Beaker:

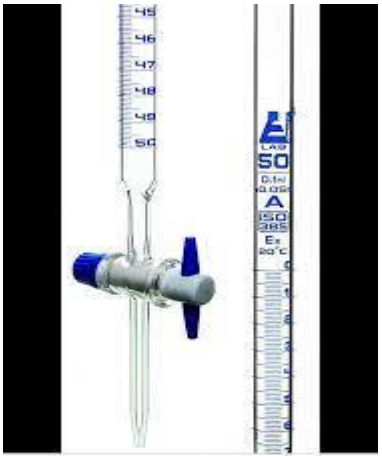
كأس زجاجي مدرج له حجوم مختلفة يستخدم لتسخين المحاليل أو لصنع حمامات مائية وكذلك يستخدم أحيانا في تحضير بعض المحاليل وتحريك أو نقل أو مزج السوائل الكيميائية.



☐ السّحاحة Burette:

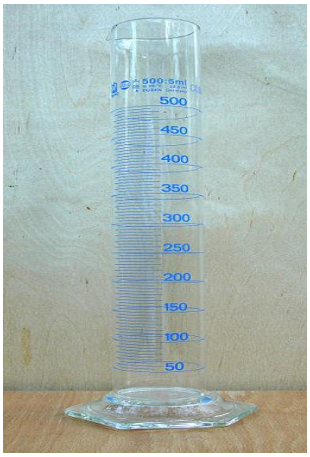
هي أداة مخبرية زجاجية ذات شكل اسطواني شاقولي مع تدريج حجمي على طول السحاحة وصنبور صغير محكم أسفلها. تستخدم السحاحة عادة في التجارب التي تتطلب نسبة عالية من الدقة في القياس مثل عمليات المعايرة.

ويكون معها حامل معدني لتثبيتها بوضع مناسب.



☐ **الأسطوانة المدرجة Graduated Cylinder:**

وهي عبارة عن أسطوانة زجاجية مدرجة تستخدم لقياس حجوم السوائل بدقة جيدة نسبياً حيث نقرأ الحجم عندما يكون مستوى النظر ومستوى قعر هلال السائل في مستوى واحد.

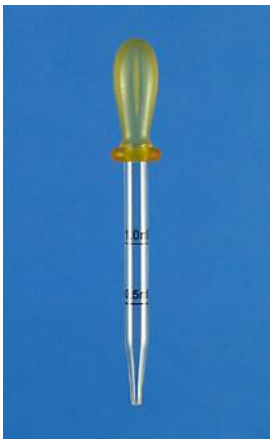


☐ **الأرلنماير Erlenmeyer:**

يسمى أيضاً الدورق المخروطي وهو عبارة عن وعاء زجاجي مخروطي الشكل له عنق في الأعلى، يوجد منه حجوم مختلفة ويستخدم أثناء المعايرة أو الترشيح.

☐ **الماصة المدرجة Pipet:**

وهي أداة زجاجية مدرجة لها أحجام مختلفة وتتألف من فوهة عريضة وفوهة ضيقة وإجاصة مطاطية في بعض الأحيان وهي تستخدم لأخذ كميات دقيقة من المحاليل الكيميائية.



☐ **قمع الترشيح Funnel:**

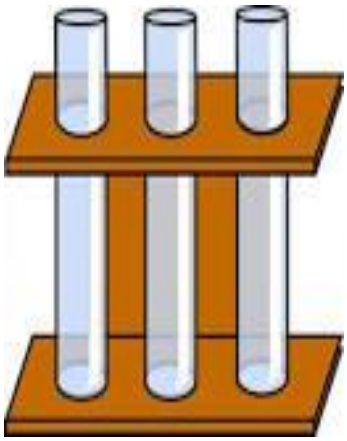
قمع زجاجي بأقطار مختلفة، يستعمل في صب السوائل وفي عمليات الترشيح باستخدام ورق الترشيح.

تستخدم عملية الترشيح بشكل رئيسي لفصل راسب صلب عن السائل المرافق له.

- **أنبوب الاختبار Test Tube:**

هو عبارة عن أداة مخبرية زجاجية ذات فتحة من الأعلى يتم استخدامها لصب أو نقل أو خلط المحاليل والمواد الكيميائية والسوائل، وفي بعض الحالات يكون أنبوب الاختبار مصنوعاً من البلاستيك.

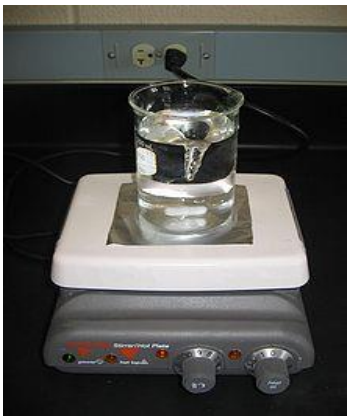
توضع أنابيب الاختبار عادةً في حوامل خشبية أو معدنية كما هو موضح في الشكل التالي:



- **فرشاة تنظيف الأنابيب Test Tube Brush:**

وهي أداة مخبرية تستخدم في تنظيف الأدوات التجريبية وبخاصة أنابيب الاختبار حيث يمكن إدخالها في الأنبوب لتنظيف جدرانه الداخلية وإزالة البقايا العالقة فيها بشكل جيد.

☐ محرك مغناطيسي:



☐ دورق حجمي (بالون معايرة):

☐ قمع الفصل:

الجلسة الثانية: القساوة المؤقتة للماء

(معايرة تعديل)

مقدمة نظرية:

تعريف المعايرة titrimetric analysis : تحليل كيميائي كمي يعتمد في تنفيذه على تحديد حجم محدد من محلول معلوم التركيز بدقة يلزم للتفاعل كمياً مع حجم محدد من محلول مدروس، حيث يطلق على عملية إضافة المحلول العياري إلى المحلول المدروس حتى الوصول بالتفاعل إلى نقطة النهاية اسم عملية المعايرة..

التركيز الجزيئي الحجمي (المولارية): هو عدد الجزيئات الغرامية من المادة المنحلة في ليتر واحد من المحلول.

قانون حساب المولارية : $M = \frac{N}{n}$ **واحدتها mol/l**

التركيز النظامي (النظامية): عدد المكافئات الغرامية أو الأوزان المكافئة الموجودة في ليتر واحد من المحلول.

قانون المعايرة وحساب النظامية : (حمض) N.V = N.V (أساس) واحدتها eq/l

التركيز بواحدة غرام / الليتر: وزن المادة مقدراً بالغرام والمذاب في ليتر واحد من المحلول.

$$C_{gr/l} = \mathbf{M} * \text{الوزن الجزيئي}$$

شروط نجاح المعايرة:

1. أن يكون تفاعل المعايرة (بين الكاشف والمحلول المدروس) تاماً، أي غير عكوس.
2. أن يكون التفاعل سريعاً بحيث لا تتطلب المعايرة وقتا طويلا.
3. أن تحدد نهاية التفاعل بسهولة تامة.

4. عدم حدوث نواتج ثانوية تعيق حساب كمية المادة المراد معايرتها في المحلول.

تعتبر تجارب القساوة من أهم التطبيقات العملية للتحاليل الحجمية (المعايرة).

القساوة بالتعريف: هي مجموع شوارد المعادن القلوية الترابية Sr^{2+}، Ba^{2+} Ca^{2+}، Mg^{2+}.

استخدمت عدة أشكال للتعبير عن قساوة الماء أي عن محتواها من شوارد الكالسيوم والمغنيزيوم، مثل القساوة الفرنسية، الألمانية والإنكليزية.

وهي تقسم إلى نوعين هما:

1. القساوة المؤقتة.
2. القساوة الدائمة.

القساوة المؤقته: هي القساوة التي تسببها بيكربونات الكالسيوم وبيكربونات المغنيزيوم المنحلة في الماء وسميت كذلك لأنه يمكن التخلص منها بغلي الماء وترسبيها على شكل كربونات حسب المعادلات التالية:

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{\Delta} CaCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2 \xrightarrow{\Delta} MgCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

أما **القساوة الدائمة:** فتسببها بقية أملاح الكالسيوم والمغنيزيوم وبشكل خاص كبريتات وكلوريدات ونترات الكالسيوم والمغنيزيوم، ولا يمكن إزالتها بالغليان، ولكن يمكن إزالتها كيميائيا وذلك بإضافة كربونات الصوديوم وذلك حسب التفاعل التالي:

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$
$$MgSO_4 + Na_2CO_3 \longrightarrow MgCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

كما يمكن إزالتها أيضا بطريقة التبادل الشاردي باستخدام غضار الزيوليت مثلا.

أما القساوة الكلية فهي مجموع القساوتين المؤقته والدائمة.

القساوة بالدرجة الفرنسية= حجم الكاشف المستهلك من السحاحة* 5

الجزء العملي:

الهدف من التجربة: تحديد القساوة المؤقتة للماء عن طريق المعايرة بحمض كلور الماء القياسي.

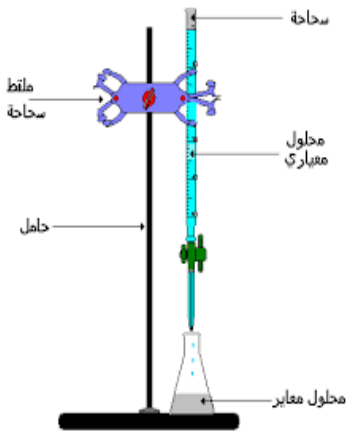
الأدوات اللازمة: سحاحة ، أرلينماير ،أسطوانة مدرجة ، بيشر.

المواد اللازمة: حمض كلور الماء معلوم التركيز بدقة N0.1

مشعر برتقالي الميتيل

خطوات العمل:

1. ضع في أرلنماير نظيف 10 مل من ماء الصنبور وأضف إليه قطرتين من مشعر برتقالي الميتيل ثم لاحظ اللون.
2. املأ السحاحة بحمض كلور الماء القياسي باستخدام البيشر وذلك بعد غسلها جيداً بالماء ثم بالمحلول نفسه.
3. ابدأ بإضافة حمض كلور الماء تدريجياً قطرة قطرة مع التحريك المستمر إلى المزيج حتى انقلاب اللون.
4. سجل حجم حمض كلور الماء المستهلك بدقة وليكن V الذي يعبر عن حجم الحمض العياري المستهلك لمعايرة شوارد الكالسيوم والمغنزيوم الموجودة على هيئة بيكربونات فقط.
5. انتبه إلى أن n=2 وإلى أن $Cgr/_{l}$ لايمكن حسابه لأننا لا نعرف كمية أو نسبةأملاح الكالسيوم والمغنزيوم الموجودة في الماء.



المشعرات: هي مواد تتمتع بألوان مختلفة في المحاليل ذات التراكيز المختلفة لشوارد الهيدروجين وشوارد الهيدروكسيل، وهي غالبا عبارة عن حموض أو أسس عضوية ضعيفة تتمتع جزيئاتها بألوان ما وتتمتع شواردها الموجبة والسالبة بألوان أخرى. ولها صيغ كيميائية معقدة غالبا، لذلك يرمز عادة لجزيء المشعر بالرمز Hind إذا كان حمضيا وبالرمز IndOH إذا كان أساسيا.

ملاحظات هامة:

عند معايرة حمض قوي بأساس قوي يمكننا استخدام مشعر فينول فتالئين أو برتقالي الميتيل أو عباد الشمس أو أزرق بروم التيمول.

عند معايرة حمض ضعيف بأساس قوي يجب استخدام الفينول فتالئن حصراً لأن نقطة نهاية المعايرة تقع ضمن مجال هذا المشعر.

عند معايرة أساس ضعيف بحمض قوي يجب استخدام برتقالي الميتيل.

حتى تكون نتيجة المعايرة صحيحة لابد من اختيار المشعر المناسب والذي يغير لونه عند نقطة التكافؤ او بقربها.

ولهذا السبب يتم أختيار المشعر بحيث تكون قيمة PH نقطة التكافؤ للمعايرة واقعة ضمن مجال عمل المشعر او بقربه.

الجلسة الثالثة: القساوة الكلية للماء

(معايرة تشكيل معقدات)

الهدف من التجربة: تحديد القساوة الكلية للماء والتي تكون ناتجة عن وجود شوارد الكالسيوم والمغنزيوم بكافة أشكالها، حيث تختلف نسب هذه الشوارد وتركيزها في العينات المائية حسب مصدر هذه العينات سواء كانت مياه أنهار أو آبار أو ينابيع .... بالإضافة إلى طبيعة التربة والملوثات الموجودة.

وتعتبر تحديد قساوة المياه من أهم التحاليل الصيدلانية التي يجب على الصيدلي إجراؤها قبل استخدام هذه المياه في تحضير أي نوع من العقاقير وخاصة الحقن والقطرات العينية التي تحتاج إلى ماء ثنائي التقطير في أغلب الأحيان.

الأدوات اللازمة: سحاحة ، أرلينماير ، أسطوانة مدرجة ،بيشر

المواد اللازمة: محلول EDTA ،مشعر الأيروكروم الأسود ،محلول موقي نشادري

خطوات العمل:

1. ضع في أرلنماير نظيف 100 مل من ماء الصنبور وأضف إليه 10 مل من المحلول الموقي و 0.2 غرام من مشعر الأيروكروم الأسود أو 1 مل من محلوله ثم لاحظ اللون.
2. املأ السحاحة بمحلول EDTAباستخدام البيشر وذلك بعد غسلها جيداً بالماء ثم بالمحلول نفسه.
3. ابدأ بإضافة المحلول من السحاحة تدريجياً قطرة قطرة مع التحريك المستمر إلى المزيج حتى انقلاب اللون.
4. سجل حجم EDTAالمستهلك بدقة وليكن V.

المعادلات:

المعادلة التي تعبر عن لون مشعر الأيروكروم الأسود في الماء المقطر عندما تصبح شاردة الأيروكروم حُرة

$$H_3Ind \leftrightarrow 2H^+ + HInd^{-2}$$

أزرق

المعادلات التي تعبر عن تفاعل EDTA مع الشوارد المعدنية الموجودة في ماء الصنبور والمسببة للقساوة:

$H_2Y^{-2} + Ca^{+2} \leftrightarrow Cay^{2-} + 2H^+$ ومثلها لشوارد المغنزيوم

المعادلات الحاصلة في أرلنماير التفاعل قبل البدء بإضافة EDTA من السحاحة:

$HInd^{-2} + Ca^{+2} \leftrightarrow CaInd^- + H^+$ ومثلها مع شوارد المغنزيوم

معقدات خمرية اللون تتشكل عند PH=6-11

المعادلات الحاصلة في أرلنماير التفاعل بعد إضافة EDTA من السحاحة:

$$CaInd^- + H_2\,Y^{-2} \leftrightarrow CaY^{-2} + HInd^{-2} + H^+$$

لون أزرق

إذاً سيتحول اللون من الخمري إلى الأزرق نتيجة المعقدات المخلبية التي سيشكلها EDTA مع الشوارد المعدنية مما سيؤدي إلى تحرر شاردة الأيروكروم الزرقاء.

استعملنا المحلول الموقي النشادري لأنه إذا استخدمنا محلول حمضي سينزاح التفاعل نحو اليسار بفعل الشاردة المشتركة أما المحلول القلوي فإنه سيستهلك شوارد الهيدروجين وسينزاح التفاعل نحو اليمين أي بالاتجاه المباشر وهو اتجاه تشكل شاردة الأيروكروم الزرقاء، لكن لا يمكننا استخدام قلوي قوي لأنه سيؤدي إلى ترسيب شوارد المغنزيوم على هيئة ماءات.

جدول التحويل بين الوحدات المختلفة المعبرة عن قساوة المياه

Conversion of Water Hardness Units

www.rbchannel2020.info

واحدة القساوة	الدولية international mmol/L	الفيزيائية Physical mval/L	الأمريكية American ppm	الدرجة البريطانية e	الدرجة الفرنسية f	الدرجة الألمانية dH
تعريفها	100mg CaCO3 per 1000ml water	28mg CaO or 50mg CaCO3 per 1000ml water	1mg CaCO3 per 1000ml water	1grain CaCO3 per gallon = 14.3mg CaCO3 per 1000ml water	10mg CaCO3 per 1000nl water	10mg CaO per 1000ml water
1 mmol/L	1	2	100	7.0	10.00	5.6
1 mval/L	0.5	1	50	3.5	5.00	2.8
1 ppm	0.01	0.02	1	0.070	0.10	0.056
1 e	0.1429	0.285	14.29	1	1.429	0.7999
1 f	0.10	0.20	10.00	0.700	1	0.5599
1 dH	0.1786	0.357	17.86	1.250	1.786	1

الجدول المعبر عن تصنيف الماء بحسب القساوة:

القساوةppm	القساوةin gpg	القساوةin dGH/°dH	القساوةmmol/L	القساوةmg/L	التصنيف
less than 60	0–3.50	0–3.37	0–0.60	0–60	لين
60–120	3.56–7.01	3.38–6.74	0.61–1.20	61–120	قساوة معتدلة
120–180	7.06–10.51	6.75–10.11	1.21–1.80	121–180	قاسي
> 181	≥ 10.57	≥ 10.12	≥ 1.81	≥ 181	أكثر قساوة

الجلسة الرابعة: تحديد طبيعة الوسط ودرجة الحموضة بطريقتين يدوية وآلية

مقدمة نظرية:

دليل شوارد الهيدروجين (الأس الهيدروجيني أو الرقم الهيدروجيني أو درجة الحموضة):

ويرمز لها بالرمز pH : هي القياس الذي يحدد ما إذا كان السائل حمضياً أم قاعدياً أم متعادلاً.

المحلول الحامضي	المحلول المتعادل	المحلول القاعدي
يكون تركيز $H+ < OH-$ وقيمة PH أقل من 7	يكون تركيز $H+ = OH-$ وقيمة PH تساوى 7	يكون تركيز $H+ > OH-$ وقيمة PH أكبر من 7

بتعبير آخر درجة الحموضة: هي سالب لوغاريثم العشري لتركيز أيون الهيدروجين.

- يفيد مقياس درجة الحموضة أو البي إتش في تحديد فيما إذا كان السائل حمضياً أم قلوياً ويفيد عند معادلة المواد الحمضية بالمواد القلوية لتحديد نقطة التوازن.
- يعتبر مقياس درجة الحموضة عن تركيز شوارد الهيدروجين الفعال ويسمى بالأس الهيدروجيني ويحسب بالعلاقة التالية: $pH = -Log(\alpha H+)$

حيث يعبر الرمز بين القوسين عن فعالية شوارد الهيدروجين في المحلول أو تركيز الهيدروجين بواحدة مول/ليتر.

- يمكن تحديد طبيعة الوسط من خلال استخدام مواد تسمى المشعرات ورد ذكرها معك سابقاً في تجارب المعايرة.
- **المشعرات (indicators)** هي مواد يتغير لونها تبعا لتركيز أيونات الهيدروجين أو الهيدروكسيل الموجودة في المحلول.

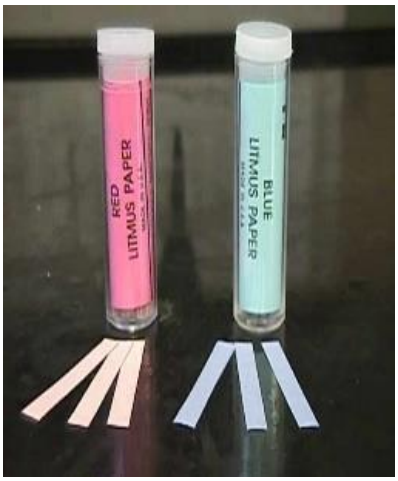
- وهي من حيث تركيبها الكيميائي مركبات عضوية ذات أوزان جزيئية مرتفعة لها خواص الحموض الضعيفة (المشعرات الحمضية) او الاسس الضعيفة (المشعرات الأساسية).

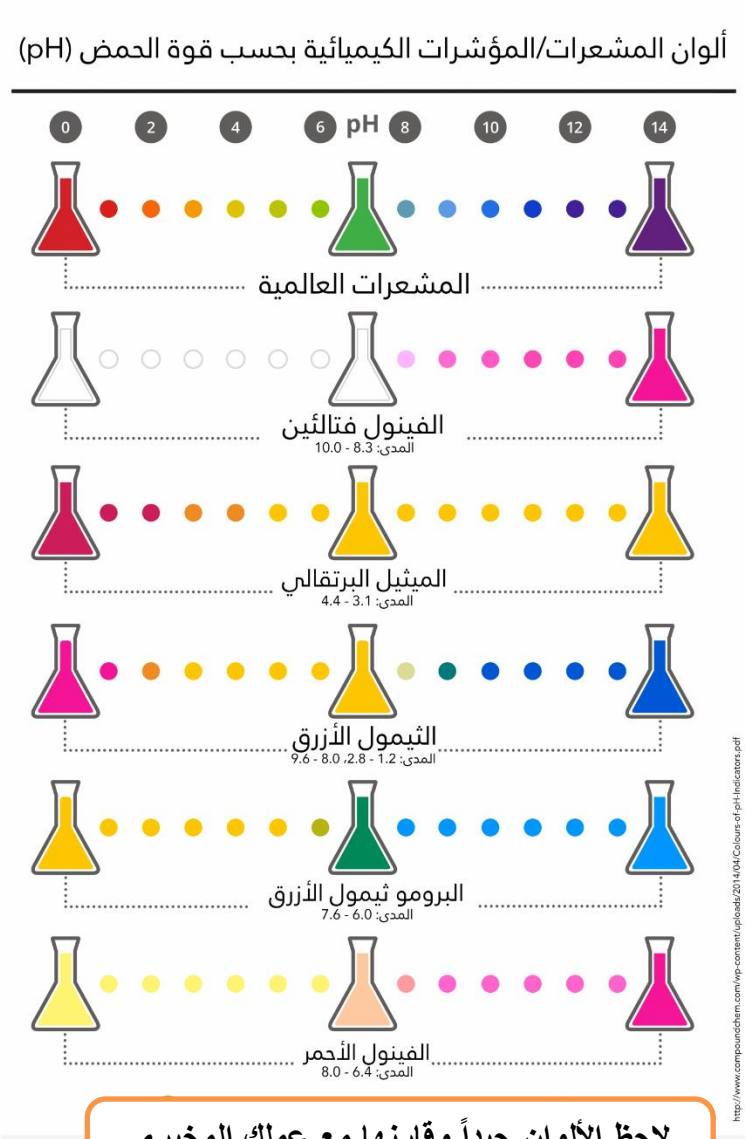
والخاصة المميزة لهذه المشعرات هي ان جزيئاتها اللامتفككة تملك لونا ما ، بينما يكون لايوناتها لونا آخر.

- **مجال تغيرات لون المشعر:**

تغير اللون حمض←أساس	PH مجال تغير (مجال تحول اللون)	معامل معايرة PT المشعر	طبيعة وسط مدى المشعر	المشعر
برتقالي←أحمر وردي	3,1-4,4	4	أساسي	برتقالي الميتيل(الهيليانتين)
أصفر←أزرق	3,8-5,4	4	أساسي	أخضر البروموكريزول
أحمر←أصفر	4,2-6,3	5	أساسي	أحمر الميتيل
أحمر←أزرق	5-8	7	معتدل	عباد الشمس
أصفر ←أحمر	6,6-8	7	معتدل	أحمر الفينول
أصفر ←أزرق	6-7,6	7	معتدل	أزرق البروموتيمول
بني مصفر ← أحمر	6,8-8	7	معتدل	الأحمر المعتدل
أصفر ←أزرق	8-9,6	8	حمضي	أزرق التيمول
عديم اللون ←أحمر	8,2-10	9	حمضي	فينول فتالئين

- **ورق عباد الشمس:** هو أحد المشعرات التي لا تتأثر ولا يتغير لونها إلا إذا كانت حموضة أو قلوية الوسط واضحة، لذلك لا يفيدنا كثيراً مع العينات المائية التي نركز على دراستها في مقرر كيمياء المهندسين.





لاحظ الألوان جيداً وقارنها مع عملك المخبري

- **ورق PH:** يفيدنا في تحديد طبيعة الوسط ورقم PH بالضبط.

- **المحلول الموقي (المنظم) Buffer:**
- تحتاج الكثير من التجارب الكيميائية في المختبر أن تكون قيمة PH الوسط ثابتة رغم إضافة كمية من الحمض Acid أو القلوي base إلى محاليلها.
- يعرف المحلول الموقي أو النظم بأنه: المحلول الذي يتصف بقدرته على الحفظ على قيمة الPH ثابتة إلى حد ما عند إضافة حمض أو أساس إليه بكمية محدودة.
- أي أن المحلول المنظم يحد من تغيرات درجة الحموضة خلال التفاعلات الكيميائية والتجارب التي تتطلب قيم PH محددة.
- أنواع المحاليل الموقية:
- 1- محلول حمض ضعيف مع أحد أملاحه وهي تحافظ على قيمة الPH للمحلول في المجال الحمضي (PH=4-5) .

مثل : - محلول حمض الخل مع خلات الصوديوم.

- $(CH_3COOH + CH_3COONa)$

- محلول من حمض الكربون مع بيركربونات الصوديوم.

- $(H_2CO_3 + NaHCO_3)$

2- محلول أساس (قلوي) ضعيف مع أحد أملاحه وهو يحافظ على قيمة الPH للمحلول في وسط قلوي (PH=9-10) .

مثل : - هيدروكسيد الأمونيوم مع كلوريد الأمونيوم.

- $(NH_4OH + NH_4Cl)$

- **جهاز PH meters:**
- جهاز يقوم على قراءة درجة حموضة، أو قاعدية السوائل التي تعبر على نشاط أيون الهيدروجين؛ من خلال قياس فرق الجهد الناشئ عن القطب الخاص بالجهاز، وتفاعله مع القطب المرجعي، فتظهر الدرجة بشكل رقمي على الشاشة الخاصة به.
- تم اختراع جهاز pH عام 1934، على يد العالم ارنولد بيكمان، بحيث يرمز حرف P إلى رمز رياضي معناه اللوغاريتم السالب، أمّا H فهي تعود على hydrogen.
- يعمل قطب جهاز قياس الحموضة electrode؛ كقطب البطارية؛ حيث يقوم بتوليد فرق جهد كهربائي، أي مقاومة؛ تنتج بين قطبين في محلول معين، ليتم فيما بعد إعطاء

نتيجة درجة الحموضة للمحلول، ولذلك، هذا القطب بحاجة إلى معايرة بشكل دوري قبل كل استخدام؛ لتأكيد صحة قراءته، وفعاليته.

- إذاً هذا الجهاز هو باختصار عبارة عن مقياس درجة الحموضة ذو المسرى الزجاجي، وهو يتكون من أنبوب ينتهي بغشاء زجاجي حساس لتغيرات الـ PH.
- وهو أكثر دقة من الطرق اليدوية.
- تتم معايرة هذا المسرى بالطريقة المعتادة باستخدام زر CAL ومحاليل موقية ذات درجة حموضة معروفة 4,7,10، وهي تمثل الأوساط المختلفة الحمضي والقلوي والمعتدل، وذلك لتنشيط الجهاز وتدريبه على العمل في كل الأوساط.
- نبقي الكترود الجهاز مغموساً في محلول ملحي من كلوريد البوتاسيوم للحافظة على نشاطه وجودة عمله، وفي حال عدم توفر هذا المحلول يتم غمسه بالماء المقطر لمدة 24 ساعة لإبقائه رطباً.
- يتم غسل الالكترود بالماء المقطر وتجفيفه بلطف قبل وبعد كل استخدام.

جهاز PH meters

أنواع جهاز PH meters:

1. **الجهاز المحمول portable:** يأتي بحجم اليد، محمول وسهل الاستخدام، يستخدم داخل المختبر وخارجه، بالإضافة إلى الأس الهيدروجيني، يمكن تحديد درجة الحرارة بالسيليوس، والفهرنهايت.

2. **سطح المكتب Benchtop:** وهو مناسب للمختبرات، والصناعات بأشكالها، يتم وضعه على سطح العمل لاستخدامه، ومن الممكن أن يأتي بأكثر من تطبيق، ليس فقط لقياس الأس الهيدروجيني.
3. **شاشة التحكم pH panel Controller :** وهو على شكل شاشة يمكن توصيلها بجهاز كبير الحجم، تعطي قراءة الأس الهيدروجيني بشكل دائم، مع مقياس لدرجة الحرارة، من الممكن أن تتصل بخزان لخلط الكريمات مثلاً.

أنت كمهندس يجب عليك دراسة PH للتربة والماء، فقد يطلب منك تصميم مزرعة واختيار الأرض المناسبة لها، أو تصميم حمام سباحة، بالإضافة إلى ضورة دراستك لعينات الماء المرشحة للاستخدام في صناعة الخرسانة المسلحة.

PH التربة:

- تؤثر قيمة الPH في الأرض الزراعية على توفر أملاح النمو للنبات، وعندما تكون الأرض قلوية أو متعادلة تتكون فيها أملاح أكسيد هيدروكسيد الحديد التي لا يمتصها النبات فتحدث له فقرًا في الحديد، وإذا تغيرت قيمة ا لPH في الأرض تغيرًا كبيرًا فيمكن أن يؤثر ذلك سلبيًا على وظائف أعضاء النبات.
- يشار إلى التربة التي يتراوح مستوى الـ pH لها بين 4 و 6 على أنها تربة حمضية، وتُوصَف التربة التي يتراوح مستوى الـ pH لها بين 8 و 9 بأنها تربة قلوية.
- تنمو غالبية الخضراوات بشكل جيد في تربة قيمة الـ pH لها من 6 إلى 6.5. وفي التربة الحمضية، تتلف جذور الخضراوات، الأمر الذي يمنعها من امتصاص ما يكفي من المغذيات.
- يضاف الجير المطفأ وجير المغنيسيوم والجير العضوي (أصداف المحار) إلى التربة لمعادلة التربة الحمضية (زيادة قيمة pH).
- التربة القلوية ليست أمرًا شائعًا، ولكنها قد تُوجَد عند الإفراط في استخدام مواد قلوية أو عند استخدام التربة في بيت زراعي لمدة زمنية طويلة.
- في التربة القلوية، تصبح المغذيات المطلوبة مثل حمض الفوسفوريك والحديد غير قابلة للذوبان ولا يمكن امتصاصها بواسطة النبات، ويمكن للنباتات التي لا تحصل على تغذية جيدة أن تتلف أو تذبل بتأثير من أضرار الرياح أو الملح.
- لمعادلة التربة القلوية، ينبغي إما استخدام سماد حمضي أو إتاحة الوقت لزراعة الذرة أو السبانخ اللذين يمتصّان الملح والجير الموجودين في الأرض.

الخواص التي يجب أن يتمتع بها الماء المستعمل في الخلطة البيتونية والخرسانة المسلحة:

1. يجب أن يكون خالياً من المواد الضارة كالزيوت والأحماض والقلويات والأملاح التي قد تؤثر بصورة سلبية في خواص الخرسانة أو حديد التسليح.
2. حسب الكود العربي لتصميم وتنفيذ المنشأت بالخرسانة المسلحة لسنة1977 فان الحد الاعلى لنسبة لاملاح الذائبة الكلية يجب الا يتجاوز 2gr/l
3. حسب نفس الكود يجب الا تتجاوز نسبة املاح الكبريتات 0.5gr/l
4. كذلك حدد الكود نسبة املاح الكلوريدات 0.3gr/l كحد اعلى
5. الماء الصالح للشرب مناسب في جميع الاحوال لخلط الخرسانة ولا يستعمل الماء الغير صالح للشرب الا في حالات خاصة مثل ان يكون زمن التماسك الابتدائي للاسمنت المستعمل في الخلطة لا يزيد باكثر من30 دقيقة على زمن التماسك الابتدائي لعينات نفس الاسمنت الممزوجة بالماء الصالح للشرب على الا يقل هذا الزمن باي حال من الاحوال عن45 دقيقة.
6. لا يستعمل ماء البحر في انتاج الخرسانة المسلحة الا انه قد يستعمل عند الضرورة في مزجات الخرسانة الاعتيادية بدون تسليح مع زيادة كمية الاسمنت المستعمل للوصول الى الدرجة المطلوبة في قوة الخرسانة.
7. الماء المستخدم في الخلطات الخرسانية وأعمال المعالجة وغسيل الركام يجب أن يكون من مصدر معتمد ومعلوم الخصائص.
8. يجب أن يكون للمياه أي تأثير سلبى علي مظهر وسطح الخرسانة المتصلدة مثل تغير اللون أو ظهور البقع أو التزهير أو التملح.
9. بصفة عامة فان الأس الهيدروجيني (ph) للمياه المسموح باستخدامها في خلطات الخرسانة يجب ألا يقل عن "7".
10. نسبة أملاح الكربونات والبيكربونات يجب أن لا تزيد عن 1gr/l
11. نسبة أملاح كبريتيد الصوديوم يجب أن لا تزيد عن 0.1gr/l
12. نسبة المواد العضوية يجب أن لا تزيد عن 0.2gr/l
13. نسبة الطين والمواد العالقة يجب أن لا تزيد عن 2gr/l

الجلسة الخامسة: التحليل الكيفي لوجود أملاح الكلوريد والكبريتات في الماء

الهدف من التجربة: الدراسة التحليلية الكيفية للكشف عن وجود أنيونات الكبريتات والكلوريدات في العينات المائية المدروسة.

الأدوات اللازمة: أنابيب اختبار زجاجية (test tubes)، قطارات بلاستيكية.

المواد اللازمة: محاليل بتركيز 0.1N للمواد التالية: (كلوريد الصوديوم، كلوريد الباريوم، كبريتات الصوديوم، نترات الفضة)، عينات مائية مختلفة (صنبور، بحر، بئر).

مقدّمة نظريّة:

تآكل الخرسانة

- غالبًا ما تتعرض الهياكل الخرسانية لبيئات تؤثر فيها عوامل التعرية والتلف المختلفة سلبًا على متانتها وقوة تحملها، حيث تؤثر كل من الرطوبة، الأمطار الحامضية، القرب من مياه البحر والمياه العادمة وعوامل الحت وغيرها من الظروف تأثيراً كبيراً على جودة الخرسانة وحديد التسليح والعمر الافتراضي للمبنى.
- **الأمطار الحامضية:**
- يُعتبر مفهوم الأمطار الحامضية أو ما يُسمّى بالترسيب الحمضيّ مُصطلحاً واسعاً يشمل أيّ شكل من أشكال الترسيب التي تسقط على سطح الأرض من الغلاف الجوي وتحتوي على مكونات حمضيّة؛ كأحماض الكبريتيك والنيتريك، إذ يصل الرقم الهيدروجيني للأمطار في الأوضاع الطبيعية إلى 5.6، بينما يتراوح الرقم الهيدروجيني للأمطار الحمضيّة مابين 4.2 – 4.4، ممّا يعني أنَّها تشكل أوساطاً حمضية نوعاً ما؛ وذلك لأنَّ ثاني أكسيد الكربون في الحالة الطبيعية يذوب في

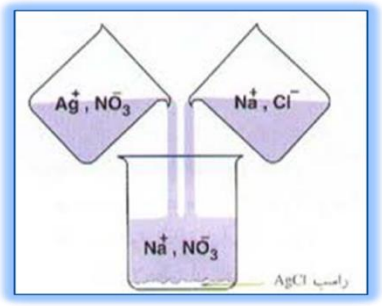
ميـــاه الأمطـــار مُنتجـــاً حمـــض الكربـــون، بالإضـــافة إلـــى ذوبـــان أكاســـيد أخـــرى مثـــل أكاســـيد الآزوت والكبريـــت التـــي يكثـــر وجودهـــا فـــي المنـــاطق الصـــناعية فـــي ميـــاه الأمطـــار، حيـــث تعتبـــر هـــذه الأمطـــار ضـــارة للمزروعات والأبنية على حد سواء.

- تآكل الصلب أو حديد التسليح هو عملية تحلل لحديد التسليح بسبب تفاعل كيميائي أو كهروكيميائي داخل الخرسانة يحدث بسبب التأثيرات الداخلية أو البيئية.
- في هذه الحالة، يتأكسد التسليح، أي الحديد، إلى أكسيد الحديد FeO أو Fe2O3 لتشكيل طبقة من الصدأ حول الأسياخ مما يتسبب في انتفاش أو تمدد السيخ، مما يؤدي في النهاية إلى حدوث تشققات أو شروخ في الخرسانة.
- يزداد حجم الصلب أو سيخ الحديد عندما يصدأ ويؤدي ذلك إلى تولد إجهاد داخلي في الخرسانة.
- يتسبب الإجهاد الداخلي في حدوث تشققات/شروخ ثم يتسبب لاحقًا في تساقط الخرسانة وإزاحة غطاء التسليح من الخرسانة.
- يؤدي تآكل التسليح إلى إتلاف الهيكل بشكل خطير، وفي نهاية المطاف إذا لم يتم إصلاحه في مرحلة مبكرة، فقد يؤدي بالهيكل إلى ضرر خطير بما في ذلك الانهيار الجزئي أو الكلي لهذا الهيكل.
- من أهم العوامل التي تؤثر على الخرسانة إلى جانب العوامل البيئية هو التلوث الموجود في مياه الصب أو الاسمنت وخاصة التلوث بالكلوريد والكبريتات، لذلك من الضروري دراسة العينات وتحليلها قبل القيام بعملية البناء.

قسم الهندسة المدنية

الجزء العملي:

1. نقوم بأخذ أنابيب اختبار نظيفة ومغسولة جيداً بالماء العادي ثم المقطر، ونضعها في حامل الأنابيب.
2. نضع في الأنبوب الأول 0.5ml من محلول يحوي أيون الكلوريد، وفي الثاني 0.5ml من محلول يحوي أيون الكبريتات.
3. نضيف فوق كل أنبوب من الأنابيب السابقة 0.5ml من الكاشف المناسب (نترات الفضة للكلوريد، كلوريد الباريوم للكبريتات).



لاحظ هتشكل راسب أبيض في كلا الأنبوبين دليلاً على وجود الأيونين المدروسين.

4. كرر نفس الخطوات على عينات الماء الموجودة لديك وسجل النتائج.

الجلسة السادسة: التحليل الكمي الوزني

الهدف من التجربة: دراسة مفهوم التحليل الكمي الوزني وتطبيقه في تحديد ماء الرطوبة لعينات من الحليب الجاف.

الأدوات اللازمة: جفنات بورسلان، ملاقط خشبية.

الأجهزة اللازمة:

- **فرن oven:**

- **مجفّف Desiccator:**

وهو عبارة عن وعاء زجاجي ذو جدار سميك، يتكون من حجرتين يفصلهما لوح مثقب من الخزف، حيث توضع المادة المراد تجفيفها في الحجرة العلوية أما في الحجرة السفلية فإنه يتم وضع مادة التجفيف التي تكون شرهة للماء والرطوبة مثل كلوريد الكالسيوم أو سيليكا جل أو حمض الكبريت المركز، وللمجفف غطاء محكم مصنفر توضع عليه طبقة من الفازلين لتكون غير نفاذة للهواء. المجففات نوعان نوع عادي و النوع الآخر مخلخل للهواء (تخلية هواء). و تستخدم المجففات لتجفيف المواد بما تحتويه من رطوبة و كذلك تستخدم لتبريد المواد أو الأدوات الزجاجية النظيفة أو المحتوية على مواد كيميائية ساخنة و ذلك بمعزل عن الهواء حتى يمكن وزنها عند درجة حرارة الغرفة .

- **ميزان Balance:**

المواد اللازمة: عينات من الاسمنت، حمض كبريت مركز.

<u>مقدمة نظرية:</u>

تعريف ماء الرطوبة: هو الماء الممتز على سطح مادة ما (روابط فيزيائية ضعيفة).

- يتم التخلص منه عند درجة حرارة 100_110 مئوية.
- يمكن تحديده في جميع المواد الكيميائية والغذائية.
- أثناء تحديد ماء الرطوبة، يجب الحذر من رفع درجة الحرارة كثيراً مع المركبات القابلة للتفكك بتأثير درجة الحرارة المرتفعة.

العمل المخبري:

- توضع جفنة خزفية نظيفة في فرن كهربائي (مدة ساعة) عند الدرجة105_110 مئوية.
- تبرَّد إلى درجة حرارة الغرفة باستخدام مجفف.
- تكرر العملية حتى ثبات الوزن فيكون w1 وزن الجفنة فارغة.

- يوضع في الجفنة كمية لا على التعيين من الاسمنت وتوزن فيكون w2 وزن الجفنة مع محتوياتها قبل التسخين.
- توضع الجفنة مع محتوياتها في فرن كهربائي لمدة ساعة عند الدرجة 110_ 105 مئوية.
- تبرد الجفنة مع محتوياتها في مجفف إلى درجة حرارة الغرفة.
- توزن مع محتوياتها فيكون W3 وزن الجفنة مع محتوياتها بعد التسخين.
- يحسب وزن ماء الرطوبة عن طريق حساب الفرق بين وزن الجفنة مع محتوياتها قبل وبعد التسخين.

$$X\ (gr) = w2 - w3$$

** **سجّل نتائجك في الجدول التالي:**

وزن الجفنة فارغة	
وزن الجفنة مع محتوياتها قبل التسخين	
وزن الجفنة مع محتوياتها بعد التسخين	
وزن ماء الرطوبة	
النسبة المئوية لماء الرطوبة في 1gr عينة	