التبادل الأيونى كوسيلة للتخلص من عسر مياه الشرب

الدكتور محمد الشافعى على
المدرس بقسم العلوم

فى عام ١٩٥٦ عهدت لجنة الدراسات المائية فى مصر إلى كاتب هذا المقال * بدراسة الوسائل التى يمكن بها التخلص من عسر ماء الآبار ومدى إمكان تطبيق ذلك فى الأماكن النائية من الصحراء. وقد قام الكاتب ببحث أدت إلى استنباط جهاز مبسط يجرى الآن استعماله على نطاق محدود للحصول على مياه عذبة من المياه المالحة. ويعتمد هذا الجهاز فى عمله على نظرية المبادلات الايونية Ion Exchangers ويرى توضيحا كاملا لهذا الجهاز فى مكان آخر من هذا المقال.

ويجدر بنا قبل شرح عمل المبادلات الايونية أن نتكلم عن المياه العسرة بشيء من الإسهاب.

تمر المياه الجوفية بطبقات متعاقبة من كربونات الكالسيوم لا تذيب إلا جزءاً يسيراً منها لا يزيد عادة عن ١٢ جزءا من الكربونات فى المليون من المياه. ولكن هذه النسبة الذائبة تزيد إلى قدر كبير لو تصادف وجود غاز ثانى أكسيد الكربون فى المياه بنسبة كبيرة وتكون بدلا من الكربونات فى هذه الحالة بيكربونات الكالسيوم الأمر الذى يؤدى إلى عسر الماء. ومن حسن الحظ أن يكون هذا القدر الذائب من البيكربونات سهل التحلل لحساسيته للتغيرات.

* تعاون فى البحث مع كاتب هذا المقال السيد الدكتور محمود نصر مدير معامل البكتريولوجى ببلدية الاسكندرية.

فى درجة حرارة ارتفاع أو هبوطا فيتكون ثانى أكسيد الكربون الذى ينطلق ثانية وترسب كربونات الكالسيوم فى قاع مسبية يسر هذا الماء ويسمى هذا النوع من العسر المائى العسر المؤقت. أما إذا مرت المياه الجوفية على طبقات من كلورور وكبريتات المغنسيوم والكالسيوم فإن نسبة من هذه الأملاح تذوب فى الماء وهذه النسبة لا يسهل التخلى عنها بتغيرات الحرارة أو بظروف مماثلة ولذلك يسمى هذا النوع من العسر المائى العسر الدائم .

ويقدر عسر الماء بطرق كثيرة نذكر منها :

١ — طريقة الصابون : وفيها يستعمل محلول صابون له قوة خاصة بحيث يعادل السنتيمتر المكعب الواحد منه مليجرام واحد من كربونات الكالسيوم الموجود فى الماء . وفى هذه الطريقة يسح محلول الصابون تدريجيا على قدر معلوم من الماء العسر حتى تتكون رغوة دائمة ، ويطرح من هذا القدر حجم محلول الصابون الذى يكون نفس الرغوة مع قدر مماثل من ماء مقطر .

٢ — طريقة الصودا : وفى هذه الطريقة تغلى عينتان متساويتان من الماء المقطر والماء العسر كل على حدة لمدة ربع ساعة ، ثم يضاف إلى كل منهما نسبة معينة من محلول الصودا (٢ر٠ هيدرات صوديوم + ٣٦٥ر٠ ٪ كربونات صوديوم) ثم تغلى كل منهما لمدة عشر دقائق ترشح بعدد ويعادل المرشح بمحلول عيارى من حامض الكبريتيك مع استعمال كشاف مثيل البرتقالى كدليل ، وبعملية حسابية بسيطة يمكن تحديد نسبة العسر المؤقت (غير الكربوناتى) وكذلك العسر الدائم .

٣ — طريقة الفيرسينات (وهو ملح الصودا الحامض الإيثيلين ديا نيترا اسيتيك) ويجهز محلوله بقوة خاصة بحيث يعادل السنتيمتر المكعب الواحد منه مليجرام واحد كربونات كالسيوم ويمكن تعيين عسر

الناتج عن وجود الكالسيوم والمغنسيوم باستعمال دليل سود ريكروم ، كما يمكن تعيين العسر الناتج عن وجود الكالسيوم فقط باستعمال دليل ميوريكسيد . والعسر الناتج من المغنسيوم هو الفرق بين القراءتين .

ويقدر عسر الماء بوحدات خاصة تختلف فى البلاد المختلفة ففى انجلترا (درجة كلارك) تساوى ١ قمحة من كربونات الكالسيوم فى كل جالون إنجليزى (امپريال) وفى المانيا تساوى ١ جزء أكسيد كالسيوم فى كل مائة ألف جزء من الماء ، وفى فرنسا تساوى ١ جزء من كربونات الكالسيوم فى كل مائة ألف جزء من الماء ، وفى أمريكا تساوى جزءا من كربونات الكالسيوم فى كل مليون جزء من الماء ، أو قمحه من كربونات الكالسيوم فى كل جالون أمريكى من الماء .

وكلنا نعرف — وخاصة إذا كنا من سكان مصر الجديدة — ما تحدثه المياه العسرة والملحية من تقصف للشعر واخشيشان للجلد واستهلاك كبير للصابون أثناء الاستحمام وغسل الملابس وتنظيف الأوعية . وذلك لتجبن الصابون مع أملاح العسر ، وقد وجد أن كل قمحة من هذه الأملاح تفسد ثمانية أمثالها من الصابون . والصابون المتجبن يدخل بين أنسجة الملابس ويسبب اخشيشانها ويساعد على سرعة استهلاكها ، كما أن أملاح العسر تترا كم فى أوعية الطهى بدرجة سريعة تضطرنا لإزالتها بين الحين والآخر . وأثناء طهى الطعام تترا كم الأملاح على اللحم والخضروات وتحول دون تسرب سوائلها إلى ماء الطهى من جهة ، ومن جهة أخرى تمنع وصول الحرارة إلى داخلها وتعوق بذلك طهيها وتسبب ضياعا للحرارة والوقود . كما أن الشاى والقهوة المصنوعة من الماء العسر غير مستساغة المذاق . وإذا زادت نسبة أملاح العسر أصبح مذاق المياه مرا لكثرة ما تحويه من كربونات المغنسيوم وكثيرا ما ينشأ عنها التلبك المعدى وعسر الهضم والإسهال . وغالبا ما يؤدى استعمال الماء العسر فى مبرد السيارات إلى سد أنابيبه واستهلاكه فى وقت قصير ، وكذلك الحال عندما يستعمل فى سخانات لها أنابيب متوية متلاصقة

أما فى المراجل والأنابيب الصحمة فترك قشور ملاح الكالسيوم على جدرانها الداخلية قد يؤدى إلى انفجارات هائلة تودى بحياة الكثيرين من العمال الذين يتصادف وجودهم بالقرب منها .

والتخلص من العسر المؤقت يسخن الماء فتتحول البكربونات الذائبة إلى كربونات شحيحة الذوبان ترسب فى قاع الإناء . كما أن هناك طرقا أخرى لإزالة عسر الماء بمعالجته بالجير أو كربونات الصوديوم أو بهما معاً ، وقد ابتكر كلارك طريقة ساد استعمالها لإزالة العسر المؤقت فى كثير من البلاد منذ أكثر من قرن من الزمان . أما العسر الدائم فيزال إما بالتقطير وهى عملية باهظة التكاليف لما يحتاجه من طاقة حرارية كبيرة ولذلك لا يستعمل إلا على نطاق ضيق فى البواخر ولا تستعمله كمصدر عام لمياه الشرب إلا حكومة الكويت التى تحصل على الحرارة من مخلفات آبار الزيوت الكثيرة بها . ووسيلة أخرى للتخلص من العسر الدائم هى إضافة كربونات الصوديوم والجير ، فبإضافة كربونات الصوديوم إلى الماء العسر تتكون كربونات المغنسيوم والكالسيوم التى ترسب ، ثم يزال هذا العسر المؤقت بإضافة الجير المطفأ وذلك بمقدار ٨ أجزاء فى المليون لكل درجة من العسر المؤقت ٢٩ر١١ جزء فى المليون من كربونات الصوديوم لكل درجة من العسر الدائم حسب المعادلات الآتية :

$$\text{كا كب}_{١} + \text{صو}_{٢}\text{ك}_{١} = \text{كا ك}_{١} + \text{صو}_{٢}\text{كب}_{٤}$$

$$\text{كا كل}_{٢} + \text{صو}_{٢}\text{ك}_{١} = \text{كا ك}_{١} + ٢\,\text{صو كل}$$

ولكن لوحظ تكون رواسب كثيرة عند استعمال هذه الطريقة مما يجعلها معقدة وتحتاج إلى إشراف فنى كبير يتعذر توفره فى المناطق النائية . ولذلك اتجهت أنظار الباحثون إلى طريقة أخرى أسهل وأجدى من هذه الطرق .

طريقة التبادل القاعدى للتخلص من عسر الماء :

عرف تبادل الأيونى Ion Exchange كنظرية علمية منذ مائة عام تقريبا، فقد اكتشفه توماس واى وتيمسون الإنجليزيان عام ١٨٥٠ رملا أخضر له خاصية التبادل القاعدى ، والمعتقد أنه من مخلفات تحلل الطبيعى لبعض الصخور البركانية .. ووجد العالمان أنه لا يبس الحصول على كل مخصبات التربة التى تذوب فى الماء إذا أمرت على هذه الرمال ولو غسلت الأخيرة بالماء كثيراً ، إذ يبقى معظم المخصبات ملتصقة بحبيباتها . واستطاع روبرت جانز الألمانى عام ١٩١٠ أن يفسر هذه الظاهرة بعد دراسته لخواص الكيميائية الغروية للسيليكو الومينات التى تكون نسبة عالية من مكونات التربة وأثبت حدوث التبادل الأيونى والالتصاق السطحى Ionic Adsorption بين كثير من الأيونات والحبيبات الدقيقة للتربة . وانتفع بهذه الخواص فى تيسير المياه العسرة ولكن البحوث اتجهت نحو استنباط بعض المواد الغروية بطريقة التكوين الصناعى Synthetic Resins لها من القدرة والنشاط ما يفوق المواد الغروية الطبيعية فى هذا المضمار ، ويعتبر جانز أول من تمكن من تكوين أول مادة صناعية لها هذه الصفات .

وقد أطلق الكيميويون اسم الزيوليت على الرمل الأخضر ، والنوع المستعمل منه فى تيسير المياه العسرة له حبيبات ثقيلة الوزن صماء فى صلابة الصخر وفى حجم الرمل الخشن وزن القدم المكعب الجاف منه تسعين رطلا إنجليزيا ويسر ٢٣٠٠ قدمه من العسر بين تيسير كل تنشيطتين وهو من أنواع الجلوكونيت الموجود فى الطبيعة . وأضاف استعمال الزيوليت الطبيعى تقدما كبيراً فى تيسير مياه الشرب العسرة وطبيعى ألا يكفى الموجود منه فى الطبيعة حاجات البلاد التى تتوقف حياتها على مياه شرب الجوفية العسرة فاتجهت جهود العلماء إلى تحضيره صناعياً وإلى حد جعل قوته فى التبادل تفوق أربعة أمثال طاقة الزيوليت الطبيعى .

والنوع الذى أمكن صناعته وهو الزيوليت الصناعى خفيف الوزن أسود اللون اسفنجى التكوين وله مسام كثيرة ويزن القدم المكعب الواحد منه ستين رطلا إنجليزيا ويسر من الماء العسر مافيه ٦٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠ قمحة من العسر . ويصنع الزيوليت الصناعى بطريقتين : ففى الطريقة الأولى يصهر الكوارتز والصلصال ومواد أخرى متشابهة مع الصوديوم ويبرد فتتكون البلورات الصغيرة ، وفى الطريقة الثانية يضاف محلول سليكات الصودا مع مركبات الالومنيوم فتتكون مادة جيلاتينية تخثف إلى درجة خاصة وبإسقاطها فى الماء تتكون بلورات الزيوليت . وأما تركيبه الكيماوى فيحتوى على أكسيد السليكا وملح امفو تيريكى (يتحد مع القلويات والأحماض) كالالومنيوم وملح قاعدى كالصوديوم وتركيبه الكيماوى كالآتى :

$$٢\,ص_{١}\,.\,لو_{٢}\,ا_{٢}\,.\,ص_{٢}\,ا_{٢}\,.\,٦\,يد_{٢}$$

وبما أن عسر الماء يحدث من وجود بيكربونات أو كبريتات أو كلورور أو نترات الكالسيوم أو الصوديوم أو المغنسيوم أو خليط من اثنين أو أكثر من هذه الأملاح فتيسير الأملاح يسير حسب المعادلات الآتية :

$$كا\,(يد كا_{١})_{٢} + ص_{٢}\,ز\,(زيوليت) = كا\,ز + ٢\,ص_{١}\,يد كا_{١}$$

$$كا\,كب_{١} + ص_{٢}\,ز = كا\,ز + ص_{٢}\,كب_{١}$$

$$ما\,كل_{٢} + ص_{٢}\,ز = ما\,ز + ٢\,ص\,كل$$

$$ما\,(ن_{١})_{٢} + ص_{٢}\,ز = ما\,ز + ٢\,ص_{١}\,ن_{١}$$

وتستبدل أملاح الكالسيوم والمغنسيوم زيوليت التى تكونت بأملاح الصوديوم زيوليت النشيطة بمعاجتها بمحلول ملح لطعام تتراوح قوته بين ٥ و١٠ ٪ ويؤدى هذا التنشيط إلى ارجاع الصوديوم زيوليت إلى أصله كما يتضح من المعادلات الآتية :

$$كا\,ز + ٢\,ص\,كل = ص_{٢}\,ز + كا\,كل_{٢}$$

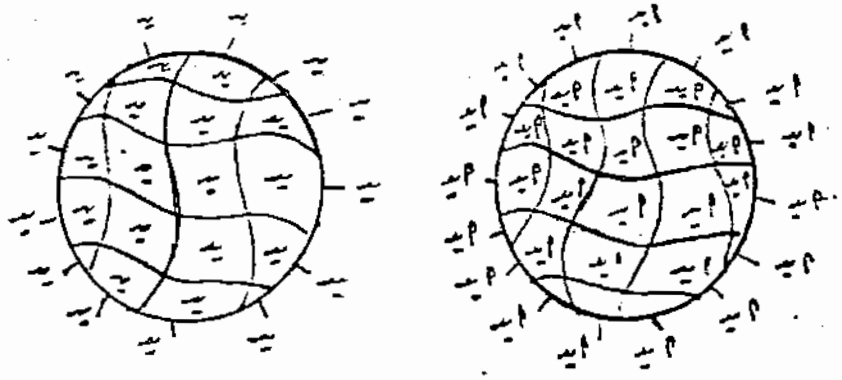
$$ما\,ز + ٢\,ص\,كل = ص_{٢}\,ز + ما\,كل_{٢}$$

وقد صممت أجهزة اتوماتيكية على جانب كبير من الكفاية تعمل على هذه الأسس وملحق بها مقاييس خاصة لتقدير عسر الماء المبدئى ومدى تيسيره وتعتمد هذه المقاييس فى عملها على نظريات التوصيل الكهربى .

طريقة التبادل الأيونى :

لقد لوحظ أنه رغم تيسير الماء بهذه الطريقة ورغم أن الماء الناتج لا يترك قشوراً ملحية فى المراجل ولا يجبن الصابون، إلا أن الماء يصبح مر المذاق غير مستساغ الطعم نسبيا وذلك لما يتخلف به بعد عملية التيسير من بيكربونات الصوديوم وكبريتات الصوديوم الأمر الذى حدا بالباحثين إلى متابعة البحث للتخلص من هذه الأملاح غير المستساغة حتى تمكنوا عام ١٩٣٥ من إنتاج مواد كيماوية صناعية لها خاصية تبادل كاتيونات الماء العسر بذرات الهيدروجين المحملة به وأخرى لتبادل أنيوناته بشق الهيدرات . وتسمى المواد التى تستطيع استبدال الأيونات السالبة بالمبادل المصعدية Anion exchangers بينما تسمى المواد التى تستبدل الايونات الموجبة بالمبادل المهبطية Cation exchangers وقد تمكن العالمان الإنجليزيان تجر وسوسمان عام ١٩٤٣ من إمكان التخلص من جميع الأملاح الذائبة فى الماء ليس فقط بطرق التقطير المعروفة بل أيضا — وبنفس الكفاءة ولكن بنفقات أقل — بطرق التبادل الأيونى ، ومنذ ذلك التاريخ وأبحاث التبادل الأيونى تتبوأ المكان المناسب لها بين البحوث التى يقوم بها العلماء فى شتى أنحاء الأرض .

ويتكون جزىء المبادلات الأيونية — كما هو واضح فى شكل ١ — من شبكة هائلة من الذرات (غالبا من الكربون أو النتروجين) متجه نحو سطحها كميات كبيرة من أيونات الأيدروجين فى المبادلات المهبطية ، وكميات كبيرة من أيونات الهيدروكسيل فى المبادلات المصعدية . وبملامسة هذه الجزئيات لمحلول ملح متأين مثل كلوريد الكالسيوم تستبدل أيونات الإيدروجين فى المبادلات المهبطية بأيونات الكالسيوم ، وأيونات الكلوريد



(شكل رقم ١)

فى المبادلات المصعدية بأيونات الهيدروكسيل ، وبذلك يستبدل جزىء كلوريد الكالسيوم فى الماء بايدروكسيد الإيدروجين (وهو الماء) ويستمر ذلك حتى تستبدل جميع أيونات الإيدروجين والهيدروكسيل بالمبادلات المهبطية والمصعدية وعند هذا الحد يقف نشاط المبادلات . ولتنشيطها Regeneration تغمس المبادلات المهبطية فى محلول حامضى والمبادلات المصعدية فى محلول قوى فتستعيد كل منهما ذخيرتها من أيونات الهيدروكسيل والإيدروجين . وفى بعض الأحيان يعاد تنشيط المبادلات المهبطية بمحلول ملح الطعام بدلا من الأحماض وفى هذه الحالة يستبدل أيون الكالسيوم بأيون الصوديوم فى المحلول وبذلك يزال عسر الماء .

ولا تذوب المبادلات الأيونية مطلقا فى الماء . وعدم ذوبان المواد نسبى كما هو معروف فيقال مثلا إن كربونات الكالسيوم لا تذوب فى الماء مع أنها تختفى تماما إذا مر على قدمين مكعبين منها جالونان من الماء فى الدقيقة لمدة عام . فإذا علمنا أن المبادلات الأيونية تمارس نشاطها لمدة تتراوح بين ٢٥ إلى ٥٠ عاما لأمكننا تصور درجة ذوبان هذه المواد فى الماء . ولا تعمل المبادلات الأيونية فى جميع درجات الحرارة أو فى كل تركيزات الأيونات

الإيدروجينية بل لكل منهما صفات خاصة وحدود من الحرارة، والتركيز الإيدروجيني تؤدى فيها عملها على أتم وجه وتقل كفايتها متى خرجنا عن هذه الحدود . والصفات التي تميز المبادلات الأيونية ماهى إلا انعكاسات للتركيب الكيميائى لمكونات جزيئاتها . واختيار المادة الخاصة بالتبادل الأيونى يتوقف إلى حد كبير على إلمام شامل بتحليل المياه المطلوب معالجتها وكذلك خواصها . والمعلومات المطلوبة قبل معالجة عينة من المياه العسرة هى :

(ا) تحليل الماء (مقدرا بالأجزاء فى المليون)

١ — المواد الذائبة ٢ — العسر الكلى ٣ — الصوديوم

٤ — الكالسيوم ٥ — المغنسيوم ٦ — الحديد

٧ — الألومنيوم ٨ — البيكربونات ٩ — الكلوريد

١٠ — كبريتور الكربون ١١ — الكبريتات ١٢ — السليكات

١٣ — كبريتور الكربون ١٤ — التركيز الأيونى للإيدروجين

١٥ — درجة التعكير

١٦ — المكونات الأخرى التى توجد بنسبة كبيرة .

(ب) مصدر الماء

(ج) أقل وأعلى درجة لحرارة الماء .

(د) الأغراض التى ستستعمل فيها المياه الميسرة .

وأود أن أشير إلى أن مصلحة السكك الحديدية تتلخص حاليا من عسر الماء فى كثير من المناطق باستعمال مبادلات مهيطية (على التحديد Nalcite HCR) وبذلك تقلل من ترسيب الأملاح فى مراجل القطارات .

ولا تحتاج المياه الجوفية فى غالب الأحوال إلى تعقيم كمياه الأنهار ويوضح الجدول الآتى نتائج تحليل ٥ عينات من المياه الجوفية بمنطقة مصر الجديدة

جدول

نتائج تحليل عينات مياه الشرب بمصر الجديدة

	عملية مياه مجموعة أبار الزيتون وعزبة البيدق	كازينو توبونك نمرة ٥ بمصر الجديدة	مجموعة مصر الجديدة	بئر رقم ٣٠	بئر رقم ٣٤ بالزيتون
الأملاح الذائبة عند ١٢٠° سنتجراد	١٢٤٢٢	١٣٥٦	١٢٤٠	١٢٨٤	١٨٦٢
ص كل	٤٥٠	٤٦٠	٤٤٠	٥٠٤	٦٨٨
العسر الكلى	٦٠٠	٧١٠	٧٨٤	٧٠٠	٨٥٠
العسر الدائم	٣٣٠	٤٤٠	٥٠٤	٤١٠	٥٩٨
القلوية الكلية	٢٧٠	٢٧٠	٢٨٠	٢٩٠	٢٥٢
الحديد	معدوم	معدوم	معدوم	معدوم	٠ر٢
التوصيل الكهربائى	١٥٠٠	١٦٠٠	١٥٥٠	٢٦٥٠	٢١٠٠
عدد البكتريا ١ سم^3	٢٠	—	—	—	—
عدد خمرات سكر اللبن فى ١٠ سم^3	—	—	—	—	—

ومنه يتضح بقاء هذه العينات بكتريولوجيا تقريبا رغم كثرة ما تحويه من أملاح تسبب العسر .

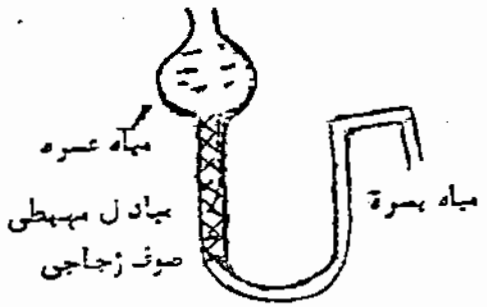
والمياه الجوفية موجودة فى الآبار المتفرقة فى جميع أنحاء الإقليم الجنوبى . والجدول رقم ٢ يشمل النتائج الرسمية للتحاليل التى قامت بها معامل وزارة الصحة لمياه بعض الآبار فى أنحاء متفرقة من الإقليم .

جدول ٢ — مقدار الأملاح الموجودة فى مياه الآبار بجهات مختلفة من الإقليم الجنوبى

المنطقة	المكان	العمق بالمتر	الأملاح جزء فى المليون
من الشلال إلى أرمنت	عملية مياه أبورية مركز أدفو	٢٥	١٣٣٠
	نجع الأحصاص مركز أدفو	٢٢	١٨٧٤
من صدفا إلى الحواتكة	طلمبة مصنع نسيج بأسيوط	٢٢	١٢٣٠
	عملية مياه الشيخ فضل بين مزار	٣٠	١٢٧٤
من سمالوط إلى بنى سويف	عملية المياه بسمالوط	٢٩	٢٨١٦
	سوق سنمنت الجبل (اهناسيا)	٥٢,٢	١٧٧٤
منطقة الجيزة والهرم	طلمبة بطريق مصر الاسكندرية	٢٧	١٠٨٠
شمال القاهرة وشرق القليوبية	بئر أبى زعبل	٩٨	٢٠٤٣
	مدرسة الخانكة	٣٦	٢٢٣٠
منطقة وسط الدلتا	مطحن بالمحلة الكبرى	٣٠	٢٠٠٠
	مصنع خوب ببيوت مركز طلخا	٢٠	١٢١٤٠
	الحسينية	٣٠	٤٨٤٤
منطقة شرق الدلتا	مدرسة القنطرة غرب	٢٥	٣٣٥٦
منطقة غرب الدلتا	زاوية صقر مركز أبى حمص	٣٥	٧٧٩٤
	طلمبة مدرسة حوش عيسى	٣٦	١٣٦٤
	مدرسة زحمانية مركز شبراخيت	٥٥	٣٣١٦
	المجموعة الزراعية بشبراخيت	٢٨	٢٠٨٤
منطقة شمال الدلتا	عملية مياه كفر شيخ (مدبات)	٧٠	٢٣٢
	مدرسة بيلا الثانوية	٣٠	١٨٩٠٦

أما سرعة سير عملية التيسير Flow rate فطبيعى أن يتوقف مدى إمكان التخلص من الايونات الموجودة بالماء العسرة على مدى ملامستها للمبادلات الأيونية ، وبدراسة خاصة وعمل منحنيات تبين سير العملية يمكن معرفة أنسب سرعة لمرور الماء على عمود المبادلات الايونية Resin column للحصول على النتائج المطلوبة ، وبإجراءات غاية فى البساطة يمكن التحكم فى سرعة العملية .

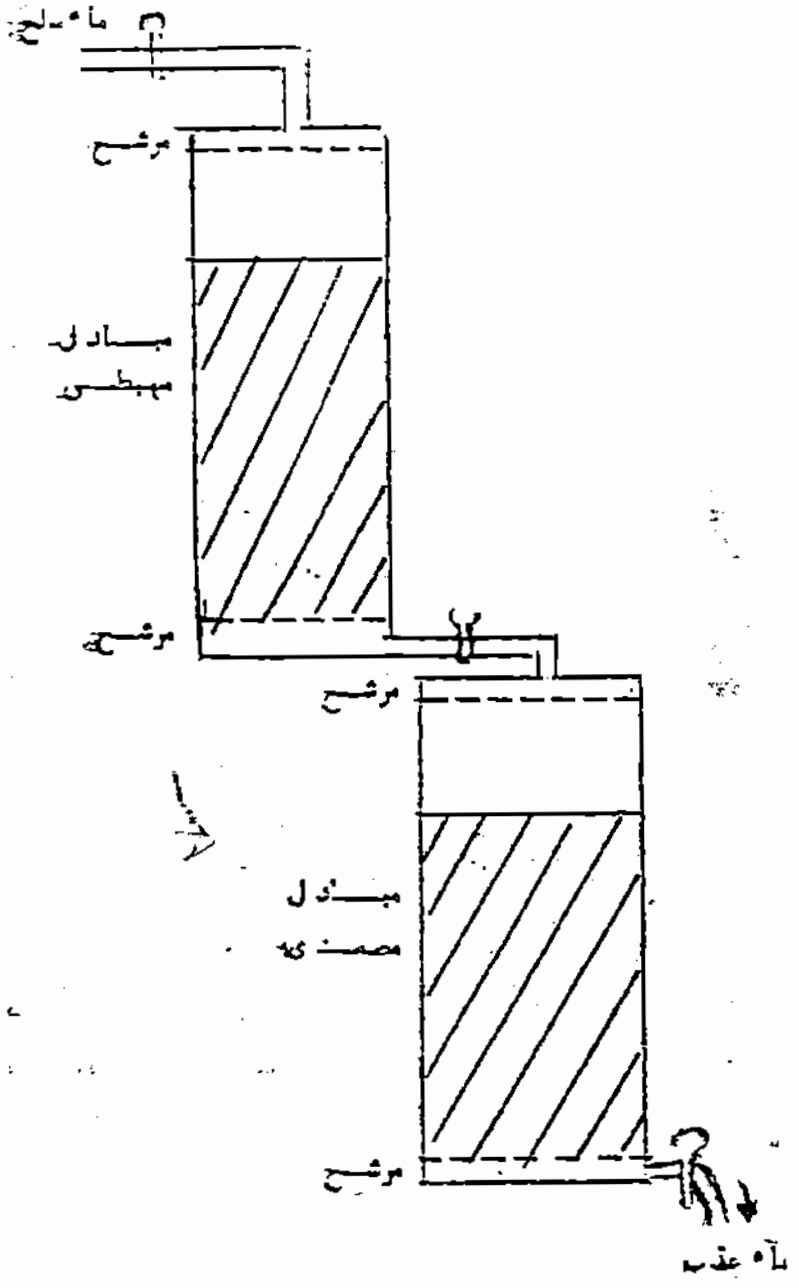
وتتم الدراسات المبدئية لدراسة خواص المبادلات الأيونية بخلايا خاصة مبسطة كالموضح شكل إحداها فى الشكل رقم ٢



(شكل ٢)

وتتفاوت الأجهزة المستعملة فى هذه العمليات من حيث البساطة والتعقيد .

ويوضح الشكل رقم ٣ أبسط الأجهزة التى أوصى بالتوسع فى إنتاجها وتوزيعها فى الصحراء على كل من يهمه الحصول على مياه عذبة من المياه الناحة لاستعمالها للشرب ولا أقول للصناعة والرى فى الوقت الحاضر .

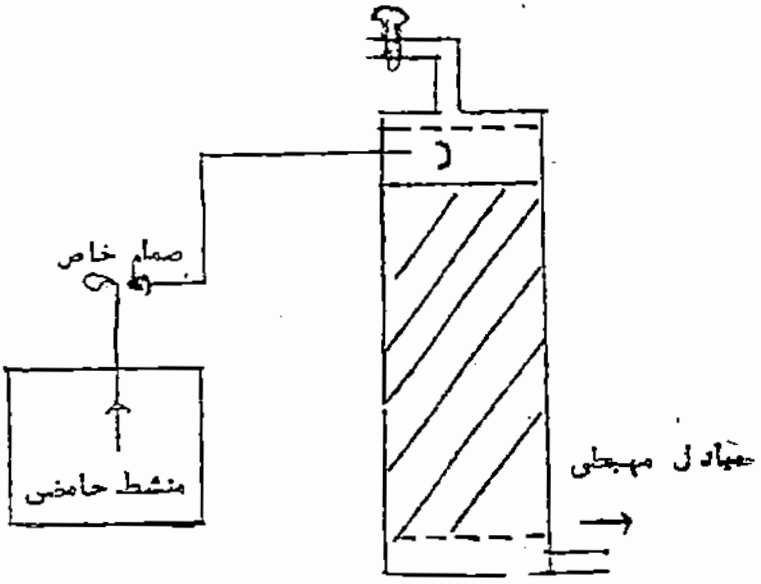


(شكل رقم ٣)

ويمكن تعديل الجهاز ليعمل على تنشيط لمبادلات الايونية اتوماتيكيا وذلك بعمل بعض التوصيلات تحتوى على المحلول المنشط كما هو موضح.

بالشكل رقم ٤ ولكنني كما أسفت القول أرى البدء فى إنتاج الجهاز بصورة مبسطة وحينذا لو صنعت مكونات الجهاز جميعا من مادة البلاستيك لتحول دون كسرها أثناء نقلها من مكان إلى آخر . وهذا ما اتبعته فى عمل الجهاز الذى أستعمله حاليا بالمعمل هذا العرض والموضح تركيبه فى الشكل رقم ٥ .

(شكل رقم ٥)



(شكل رقم ٤)

ويمكن تنظيم العملية بطريقة سهلة ميسرة فيسلم لكل منطقة جهازين يستعمل أحدهما حتى تشبع الجهاز الآخر وتعمل الترتيبات الخاصة بمرور سيارة على هذه المناطق مرة كل أسبوع مثلا فتأخذ الأجهزة المشبعة إلى مكان غامر بالماء العذبة حيث تنشط كما ذكرنا وتنسل وتعاد إلى المناطق المخصصة لها حيث تؤخذ الأجهزة الأخرى التى قد تكون قد تشبعت فيعاد تنشيطها وغسلها وهكذا .

وبهذا نكون قد قدمنا لمواطنينا الأعزاء المقيمين فى الصحراء النائية أو الذين تضطرهم ظروف الحياة إلى شرب المياه الجوفية العسرة — نكون قد قدمنا إليهم مياه يسرة عذبة تقيهم الاضرار التى لا حصر لها التى تنتج عن شرب المياه العسرة والتى لا يتسع المجال لذكرها فى هذا المقال