تقنية الأغشية

د . محمد صبري عبدالغني

تُفصل المذيبات عن الأجسام المذابة بها بواسطة طرق عدة اعتماداً على الاختلاف في الخواص الفيزيائية والكيميائية بينهما ، ومن الطرق المعروفة للفصل كل من التقطير ، والطرد المركزي ، والترسيب الكيميائي ، الاستخلاص بالمذيبات وكذلك الفصل بالأغشية .

تعتمد طريقة الفصل بالأغشية على الاختلاف بين وزن جزيئات المذيب والمذاب وتتميز تلك الطريقة بكفاءتها العالية وسرعتها وكذلك انخفاض تكلفتها مقارنة بطرق الفصل الأخرى ، وفضلاً عن ذلك فإنها تفضّل عند الحاجة لفصل مواد غير ثابته كيميائياً أو نشطة إحيائياً – لإنها لاتستدعي تغيير درجة حرارة المحاليل – أو عند معالجة أحجام كبيرة من محاليل مخففة أو عند تدني الفرق بين كثافة ودرجات حرارة المذيب والمذاب بحيث يصعب فصلهما بطرق الطرد المركزي أو التقطير مثلاً .

كما تستخدم الأغشية لفصل خلائط الغازات عن بعضها مثل فصل الغازات ذات الأوزان الجزيئيه المنخفضه مثل فصل الهيدروجين عن الغازات الهدروكربونية ذات الأوزان الجزيئيه الأعلى. وتستخدم فى هذه العمليات أغشية غير مسامية للفصل ، حيث يتم الفصل عن طريق امتصاص الغاز الخفيف من الخليط الغازى على سطح الغشاء ، يتبعه انتقال الغاز بالإنتشار خلال جدران الغشاء إلى الجانب الآخر تحت تاثير اختلاف الضغط الجزئى للغاز على جانبى الغشاء .

أنـــواع الأغشـــية

تعرف الأغشية بأنها رقائق منخفضة السمك تسمح بانسياب المذيب – فقط – عبرها ، وتتم هذه الآلية تحت تأثير قوى دفع متنوعة مثل الضغط الهيدروليكي للمحلول أو فرق الجهد الكهربائي الواقع عبر الأغشية ، ويشمل هذا التعريف عمليات مختلفة لهذه الأغشية تتنوع حسب حجم الأجسام المذابة ، وذلك كما يلي :-

● أغشية الترشيح الميكروني

تستخدم أغشية الترشيح الميكروني (Micro Filteration) لفصل حبيبات يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي ويتراوح قطرها مابين ٠,١ ميكرون إلى عشرة ميكرون .

● أغشية الترشيح الفائق

تستخدم أغشية الترشيح الفائق (Ultra Filteration) لفصل مواد مذابة يزيد حجم جزيئاتها عن حجم جزيئات المذيب بعشرة أضعاف ولا يزيد قطرها عن ٠,١٥ ميكرون ، أو بمعنى آخر تتراوح كتلة جزيئاتها من ٥٠٠ إلى ٣٠٠ ألف وحدة دالتون .

● أغشية التناضح العكسي والديلزة

تستخدم أغشية التناضح العكسي (Reverse Osmosis) والديلزة الكهربائية (Electro Dialysis) لفصل مواد ذائبة (الأيونات والجزيئات) لايزيد حجم جزيئاتها عن عشرة أضعاف جزيئات المذيب ، أي يبلغ حجم جزيئاتها حوالي ٢ نانومتر و تبلغ كتلة جزيئاتها حوالي ٥٠٠ دالتون .

تصنيـــع الأغشـــيه

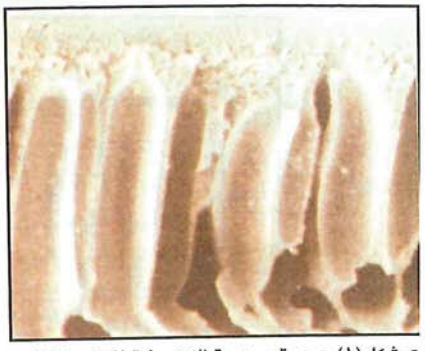
تصنع الأغشية التى تستخدم فى التطبيقات الصناعية من البوليمرات ، ويصنع جزء صغير منها من مواد غير عضوية مثل السيراميك أو أكاسيد الفلزات أو بعض الفلزات الثمينة مثل البلاديوم ، إلا أن استخدام الأنواع غير العضوية ينحصر فى الحصول على غاز الهيدروجين عالى النقاوة، أو فى وحدات صغيرة لفصل الغازات تحت درجات حرارة عالية.

● الأغشية البوليمرية

تُصنَع الأغشية البوليمرية من مواد عديدة، مثل البولى أميد والبولى سلفون، والبولى كربونات، وبعض البوليمرات الأخرى . وتتميز هذه البوليمرات بثبات كيميائى جيد ومقاومة عالية للتفكك بفعل الميكروبات .

وتصنع الأغشية البوليمرية بصفة عامة بعملية تسمى بانعكاس الطور (Phase Inversion) أو الترسيب بالغمر (Immersion Precipitation) ، وتتم هذه العملية على أربعة مراحل يتم في **الأولى** إذابة البوليمر فى مذيب بتركيز يتراوح مابين ١٠ إلى ٣٠٪ وزنا. وفى **الثانيه** يفرش المحلول المتكون على هيئة طبقة يبلغ سمكها حوالى ١٠٠ ميكرون فوق سطح حامل مسامى بوليمرى سميك ، وفى المرحلة **الثالثة**، تغمر هذه الطبقة مع الحامل فى حمام به سائل غير مذيب للبوليمر – كالماء أو محلول مائى – ولكنه يسمح بإذابة المذيب المختلط مع البوليمر ، وبذا يتم تكوين الغشاء ، أما فى المرحلة **الرابعة** فإن الغشاء المتكون يسخن ببطء لإزالة نقاط الإجهاد عليه وهو ملتصق بالحامل ، ويختلف تركيب الأغشية الناتجة بالتحكم فى ظروف تكوينها فى الخطوات المذكورة ، التى تعطى بدورها مواصفات مختلفة لعمليات فصل المحاليل بها.

* **أغشية الترشيح الميكرونية :** ويتميز



● شكل(١) صورة مجهرية الكترونية لقطاع غشائي غير متجانس يستخدم في الترشيح الفائق .

معظمها بتركيب متجانس بين سطح الغشاء وأسفله، وتصل نسبة المسام بها حتى ٨٠٪ ،

* **أغشية الترشيح الفائق :** وتكون فيها طبقة الغشاء غير متجانسة التركيب بين سطح الغشاء وأسفله ، حيث يتراوح سمك سطح الغشاء بين واحد إلى إثنين ميكرون ويحتوي على المسام الدقيقة التي يتم عن طريقها عملية الفصل ، أما طبقته السفلية فيكون سمكها حوالي ١٠٠ ميكرون وتحتوي على مسام أكبر حجما كما هو موضح في شكل (١) .

* **أغشية التناضح العكسي :** ولها نفس مواصفات أغشية الترشيح الفائق إلا أنها تتميز بعدم وجود مسام بسطح أغشيتها . وقد يصنع الغشاء بكامله من طبقة واحدة رقيقة جدا (حوالى واحد ميكرون)، ثم تثبت على سطح مسامي جاهز، وتسمى هذه التقنية في هذه الطريقة ، بالأغشية رقيقة المتراكبة التكوين. وتكمن ميزة تركيب غير المتجانس في أنه يمثل مقاومة منخفضة لمرور السوائل عبره، حيث يكون سطح الغشاء – يمثل الحاجز الرئيسي في عملية الفصل – رقيق جداً مما يسمح بمعدلات سريان جيدة للسوائل تحت فرق ضغوط منخفضة نسبيا مقارنة بأغشية أكثر سماكة. أما الطبقة السفلية فإنها تكسب الغشاء السطحي قوة ميكانيكية تحمل أثناء الاستخدام، فضلا عن أنها تمثل مقاومة أقل لمرور السوائل عبره مقارنة بالغشاء العلوى نتيجة لوجود مسام أكبر حجما بها .

أغشية الديلزة الكهربائية : وتستخدم طريقة التبادل الأيوني وتصنع بواسطة تسييب المادة المستخدمة في أغشية التناضح العكسي داخل مسام الطبقة البوليمرية الحاملة، مكونة غشاء جيلاتينيا غير متجانس، ومشحون كهربيا، أو تصنع من بوليمر متجانس. وتحتوى هذه الأغشية على مجموعات تحمل شحنات كهربية مثل السلفونات أو الكربوكسيلات أو الأمينات الرباعية.

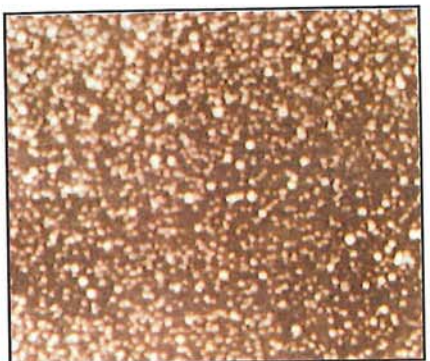
● الأغشية غير العضوية

تُحضّر الأغشية غير العضوية بثلاثة طرق رئيسة، ففى الطريقة **الاولى** يرسب محلول معلق بحبيبات أكسيد الفلز المراد تكوينه، كغشاء على طبقة جاهزة، لتكون حاملا لهذا الغشاء مثل الكربون أو أكسيد الألمنيوم .

وفى الطريقة **الثانية** يرش سطح الحامل المسامى بحبيبات دقيقة من الخزف الجاف، وبعد تحضير الغشاء فى كلتا الطريقتين، يسخن الغشاء المتكون لدرجة حرارة كافية تسمح بالتصاق الحبيبات ببعضها مكونة غشاء قوى ومتماسك .

أما الطريقة **الثالثة** فهى عبارة عن طريقة الترسيب الكيميائى للفلز على السطح الحامل ويطبق على أغشية البلاديوم مكوناً سطحا غير مسامى.

تسمح الطريقتان الأولى والثانية بتكوين غشاء ذى سطح مسامى منتظم كما هو مبين فى شكل (٢) ، وتستخدم عادة أكاسيد الزركونيوم والألمنيوم والتيتانيوم والسيليكا الإيتريوم سواء أن كانت منفردة أو على شكل خلائط، وتمتاز تلك الأغشية بثباتها عند درجات الحرارة المرتفعة، وقدرتها على تحمل التعقيم بالبخار فى التطبيقات الإحيائية والغذائية ، وعدم انسدادها بسهولة نتيجة



● شكل(٢) صورة مجهرية الكترونية لغشاء الترشيح الميكرونى مكون من تركيب مسامي منتظم .

تساوى أحجام المسام على سطحها.

خواص الفصل للأغشية

بعد تصنيع الأغشية فإنها تمر بمرحلة لقياس قدرتها على الفصل لاستخدامها فى عمليات الفصل المناسبة ،وتصنف الأغشية وفقا لأصغر قطر للعوالق أو جزيئات المذاب التى لا يسمح الغشاء بمرورها عبره ، ويطلق علي هذه الخاصية حجم الفصل للغشاء (Cut off size) ويعرف معامل طرد المذاب(Solute Rejection Coefficient-[R]) لغشاء ما حسب المعادلة :

$$R = 1 - (C_p / C_f)$$

حيث :

C_f = تركيز المذاب في المحلول الداخل للغشاء .

C_p = تركيز المذاب في المحلول الخارج من الغشاء .

وتتخذ المعادلة العامة للأغشية علاقة بين معدل التدفق خلال الأغشية وبين الضغط الواقع عليها وذلك كما يلي :-

$$j = (|\Delta P| - |\Delta \pi|) / (R_w + R_c + R_f)\mu$$

حيث :

j = معدل التدفق خلال الأغشية .

$|\Delta P|$ = فرق الضغط الهيدروليكي عبر جدران الأغشية .

$|\Delta \pi|$ = فرق الضغط الأزموزي عبر جدران الأغشية .

R_f = مقاومة سطح الغشاء .

R_c = مقاومة طبقات العوالق .

R_w = مقاومة الطبقة السفلى .

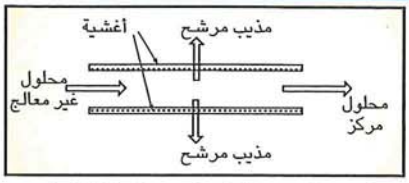
μ = لزوجة المذيب .

آلية عمل الأغشية

يختلف عمل الأغشية حسب حجم الأجسام المراد فصلها وذلك كما يلي :-

● الترشيح الميكرونى الغشائى

تتلخص هذه الطريقة فى ضخ السائل المراد فصله فى أنابيب مغلفة من الداخل بمرشح غشائى، بحيث يسرى السائل موازيا لسطح المرشح كما هو موضح فى شكل (٣) ، وتتراوح سرعة سريان السائل مابين ١ إلى ٨ أمتار / ثانية، وبفرق ضغط



● شكل (٣) طريقة الترشيح بالتدفق الموازي.

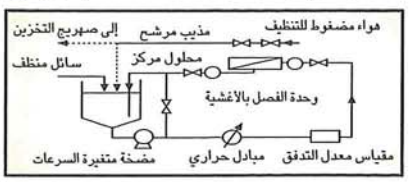
عبر المرشح يتراوح مابين ٠,١ إلى ٠,٥ ميجا نيوتن/م٢ ، وبينما ينفذ السائل المنقى من العوالق عبر الأغشية يخرج السائل المحمل بالعوالق من مخرج الأنبوب أكثر تركيزا بالعوالق ، وتعمل جميع عمليات الفصل بالأغشية المذكورة بهذه الطريقة حيث تتمثل ميزة الترشيح بالسريان الموازى بالآتى :

- عدم تراكم رواسب على سطح الأغشية يضمن معدل أفضل لنفاذ السوائل عبرها .
- يظل السائل المعالج على هيئة سائلة يسمح بسهولة معالجته فى عمليات أخرى .
- إمكانية معالجة سوائل بتركيزات مختلفة من العوالق .
- إمكانية فصل قطفات من العوالق بأحجام مختلفة عن بعضها من خلال السماح بمرور أحجام معينة منها عبر الأغشية .

ويوضح شكل (٤) نظام مبسط لاستخدام الأغشية لعمليات الفصل، وهو يتكون من مضخة لضخ المحلول المراد تنقيته في مسار دائري بين خزان التغذية ووحدة الأغشية، حيث ينفصل السائل النقي بالنفاذ خلال الأغشية عن المحلول ، كما يتضمن النظام وحدة ضغط بالهواء تستخدم تنظيف الأغشية من العوالق التي قد تسد مسامها ، عن طريق ضخ الهواء في الإتجاه المعاكس لعملية الترشيح ، حتى يتم دفع العوالق المحبوسة فى المسام إلى المحلول داخل الأنبوب مرة أخرى .

● الترشيح الفائق

تستخدم مرشحات الترشيح الفائق فى فصل المواد الذائبة ذات الوزن الجزيئي الأعلى من ٥٠٠ وحدة دالتون وما قل عن ذلك فإنه يمر من خلال هذه الأغشية ويكون

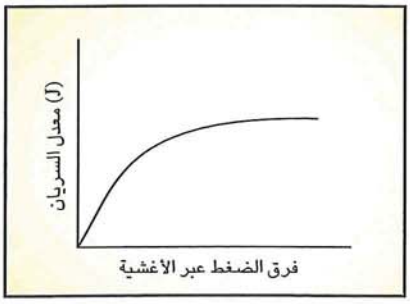


● شكل (٤) مخطط لمسار محلول ينقى بطريقة التدفق الموازي في نظام تشغيل مبسط .

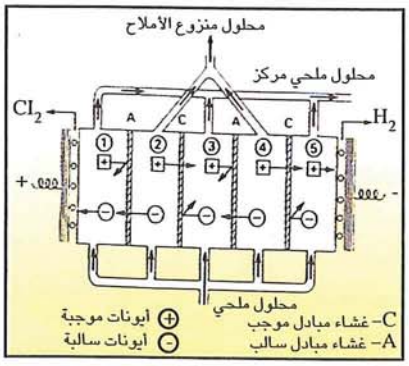
فرق الضغط الواقع على المحلول المراد تنقيته في حدود ٠,١-٠,٧ ميجا نيوتن/م٢ ، وتتراوح معدلات السريان خلال الأغشية بين ٠,٠١ إلى ٠,٢ م٣/م٢.ساعة ، ويزداد تركيز المذاب على سطح الأغشية مع ازدياد تركيزه في السائل و مع ازدياد فرق الضغط، مكوناً طبقة من المذاب مجاورة للأغشية تسمى بالتركيز المستقطب (Concentration Polarization) ، ولزيادة معدلات سريان المذيب عبر الأغشية فإن ضغط السائل يرُفع إلى أن يصل إلى مرحلة يكون عندها أية زيادة لضغط السائل غير مؤثرة على معدل سريانه ، وذلك نتيجة زيادة التركيز المستقطب على الأغشية كما هو موضح بالشكل (٥).

● التناضح العكسي

يتم في هذا النوع من الأغشية انتقال المذيب خلال الأغشية غير المسامية طبقاً لتعريف الديناميكا الحرارية، عن طريق امتزاج جزيئات المذيب مع الغشاء ثم الإنتشار خلاله ، و تستخدم هذه الأغشية في فصل الأيونات غير المرغوب في وجودها من الماء مثلما يحدث في تطبيقات تحلية مياه البحر، وفى إنتاج مياه منزوعة الأملاح ، وتعمل أغشية التناضح العكسي عند فروق ضغوط عالية نسبيا ، فمثلا عند تحلية المياه يكون الضغط ٣-٨ ميجا نيوتن/م٢ ، وتستخدم هذه التقنية كثيرا فى الشرق الأوسط . فعلى سبيل المثال تستخدم محطة مياه صلبوخ بالمملكة العربية السعودية مرشحات التناضح العكسى لتحلية مياه الآبار المحتوية على حوالى ١٤٠٠ جزء فى المليون بطاقة قدرها (١٦) مليون جالون يوميا ، وذلك لأمداد مدينة الرياض بمياه الشرب المحلاة التي تتراوح



● شكل (٥) العلاقة بين معدل تدفق السائل عبر الاغشية والضغط الواقع عليها .



● شكل (٦) رسم تخطيطي لمسار المحلول المعالج بداخل وحدة الديلزة الكهربائية .

ملوحتها مابين ٤٠٠ إلى ٥٠٠ جزء من المليون.

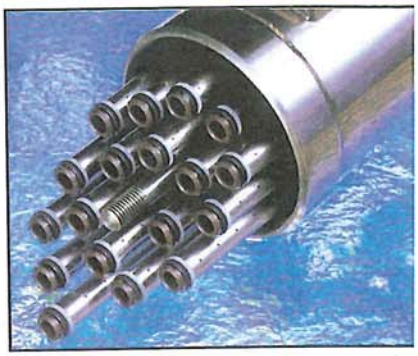
● الديلزة الكهربائية

الديلزة الكهربائية عبارة عن عملية فصل غشائي بقوة الجهد الكهربائي وليس بضغط السائل ، ويتركز الاستخدام الرئيسي فى انتاج مياه الشرب من مياه البحر أو المياه الجوفية المالحة أو لفصل أيونات الفلزات الثقيلة من مياه المخلفات الصناعية. ويوجد تطبيق آخر لهذه التقنية في انتاج ملح الطعام، وتعد اليابان المستخدم الرئيسي لهذه التقنية بانتاج قدره مليون طن سنويا. توضع الأغشية المحتوية على المبادلات الموجبة والمحتوية على المبادلات السالبة في صفوف متوازية الواحدة تلو الأخرى مكونة حجرات تحتوي على المياه المعالجة كما في الشكل (٦) ، وتحتوي وحدة ترشيح هذا النوع على ١٠٠-٤٠٠ غشاء بمساحة ٠,٥ الى ٢,٠ م٢ لكل غشاء .

ويضخ السائل الملحي فى هذه الحجرات وعند وجود فرق كهربي بين الأقطاب ، تنفذ الأيونات الموجبة عبر المبادل الغشائي الموجب فقط متجهة للقطب السالب ، بينما تنفذ الأيونات السالبة عبر المبادل الغشائى السالب فقط متجهة للقطب الموجب . ونتيجة لذلك يقل تركيز الأيونات الموجودة بالماء في بعض وحدات الجهاز وزيادتها في وحدات أخرى، حيث يسحب الماء المعالج من الوحدات قليلة التركيز بالأملاح، وتقدر حجم الطاقة المستهلكة لجهازمن هذا النوع ١٠٠ أمبير عند ١٥٠ فولت .

ولحساب قيمة الطاقة المطلوبة لتحلية المياه فى هذه الوحدة تستخدم المعادلتين الأتيتين :

$$I = F.Q.N.E_r / E_c$$



شكل (٧) وحدة الأغشية الانبوبية .

$P = I . V = I^2 R$ ، حيث :

I) التيار الكهربائي اللازم للعملية (أمبير).

F) ثابت فاراداي وقيمته ٩٦٥٠٠ كولوم .

Q) معدل سريان الماء في الوحدة (لتر / ثانية) .

N) تركيز الأملاح في الماء (جرام مكافيء/لتر) .

E_r) معدل انتاج الماء العذب (نسبة فصل الماء العذب من المالح).

E_c) كفاءة استخدام الوحدة للتيار الكهربائي (٠,٨٥ – ٠,٩٥) .

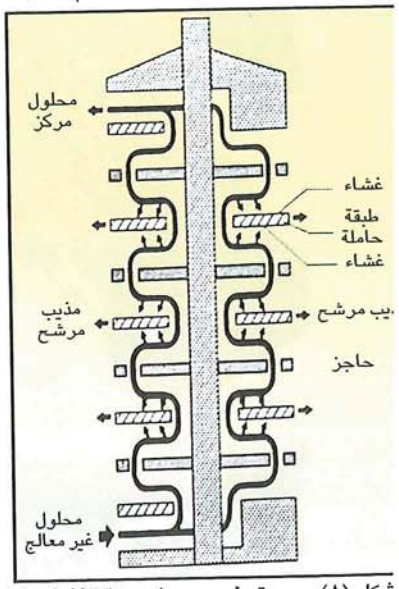
P) القدرة الكهربائية (وات) .

R) مقاومة الوحدة (أوم) .

V) الجهد (فولت) .

وحدات الأغشية فى الصناعة

تستخدم أغشية الترشيح الميكروني الفائق أو التناضح العكسى فى الصناعة على شكل وحدات فصل ، وتتراوح مساحة الغشاء فى كل وحدة فصل ١– ٢٠ م٢ . وقد



شكل (٨) رسم توضيحي لوحدة الأغشية المسطحة .

توصل الوحدات ببعضها على التوازى أو على التوالى. وتتخذ هذه الوحدات أربعة أشكال رئيسة وذلك كما يلي :-

● الوحدات الأنبوبية

تمتاز الوحدات الأنبوبية بكونها تسمح بضخ المحاليل بمعدلات سريان عالية – أكثر من ١٠٠٠ رينولد – من خلالها لتمنع الترسبات على جدرانها. وتحتوى كل وحدة فصل على حزمة من هذه الأنابيب ، وتغلف الحزمة من الخارج بأنبوب كبير يحتوى تلك الأنابيب ، كما فى الشكل (٧) . ويكون قطر الأنابيب عادة ١٠–٢٥ مم ، ويتراوح طولها مابين ١ إلى ٦ م .

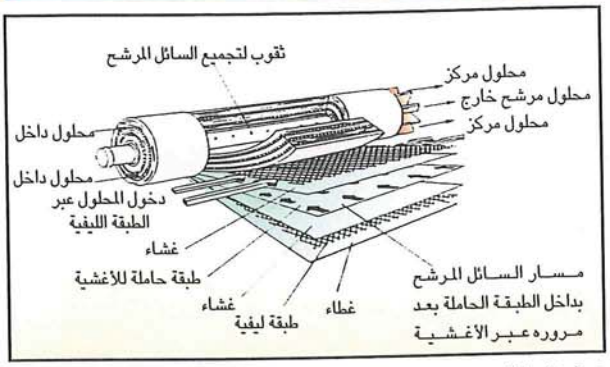
● الوحدات المسطحة

تتكون الوحدات المسطحة من مجموعة من الأقراص الغشائية بقطر ٠,٣ متر موضوعة على جانبى حامل بوليمرى (بوليسلفون)، يسمح بسريان المذيب خلاله ، وتوضع بين هذه الاقراص حواجز لفصلها عن بعض، كما هو موضح فى شكل (٨) . وتبلغ مساحة الأغشية فى هذه الوحدات ١٩ متر مربعا، ويضخ المحلول خلالها بسرعة أقل من ٢٠٠٠ رينولد .

● الوحدات الحلزونية

تتكون الوحدات الحلزونية من عدة أغشية مسطحة منفصلة عن بعضها بواسطة طبقات ليفية بوليمرية، ويلف الغشاء والطبقة الليفية مع بعضهما على هيئة أسطوانة كما فى الشكل (٩) ، وتكون حواف الأغشية ملتصقة بعضها ببعض وبأنبوب مثقب يمثل محور الأسطوانة.

يضخ المحلول المراد تنقيته تحت ضغط تجاه أحد جانبى الأسطوانة حيث يمر موازيا لهذه الأغشية، ويخرج من الجانب الآخر أكثر تركيزا . ويمر المذيب عبر الأغشية فى مسار حلزونى تجاه محور الأنبوب المثقب حيث يتجمع ويخرج من خلاله إلى خارج الأسطوانة . ويبلغ قطر الأسطوانة ٠,١ متر وطولها ٠,٩ متر ، وتحتوى على ٥ أمتار مربعة من الأغشية. ويمكن توصيل ستة وحدات من هذا النوع بعضها ببعض بداخل وعاء واحد، يضخ فيه المحلول المراد تنقيته.



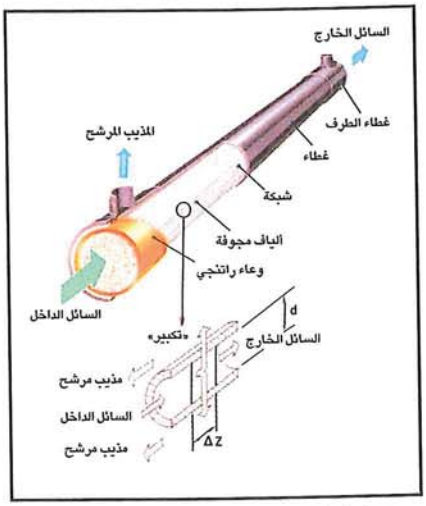
● شكل (٩) رسم تخطيطي لوحدة الفصل الحلزونية .

ويمتاز هذا النوع بصغر حجمه مقارنة بوحدات الترشيح الأنبوبية والمسطحة .

● وحدات الألياف المجوفة

تتكون وحدات الألياف المجوفة من حزمة من الألياف الرفيعة يتراوح قطرها بين ٠,١–٢ مم، موضوعة فى أنبوب كما فى شكل (١٠) . وفى تطبيقات التناضح العكسى – حيث يكون الضغط مرتفعا – يضخ المحلول المراد تنقيته خارج الألياف من أحد طرفى الأنبوب إلى الطرف الأخر، ويمر المذيب خلال ذلك عبر جدران الألياف المتكون عليها الأغشية، ليسرى داخل تجويفاتها، ويجمع عند مخرج منفصل بنهاية الألياف. أما فى حالة تطبيقات الترشيح الفائق – الضغط أقل – فإن المحلول يضخ فى داخل الألياف، ويخرج المذيب من خارجها.

وتحتوى الوحدة من هذا النوع على ٣٠٠٠ ليفة غشائية، ويبلغ طولها حوالى ١ متر، وتكون مساحة الأغشية بها عالية ، فى حدود ٠,٥٩–١٩ م٢ لكل وحدة .



● شكل (١٠) رسم توضيحي لوحدة الألياف المجوفة .