الفصل
الثالث

الظواهر التناضحية

Osmosity Phenomena

3-1 مقدمة:

أ- الظواهر الفعالة والمنفعلة:

تحدث الظواهر المنفعلة في الأغشية الخاملة ، فهي تخضع للمبدأ الثاني في الثرموداينماك ويمكن تفسيرها على أساس:

الميل إلى مساواة الطاقات الكامنة *Potential energies* والجهود *Potentials*، فمثلاً تحرك جزيئات من مكان ذي تركيز مرتفع إلى تركيز أقل (انتقال حسب تدرج التركيز) كهجرة الكاتيونات (شوارد موجبة) نحو القطب السالب أو الأنيونات (شوارد سالبة) نحو القطب الموجب لفرق الجهد الكهربائي (انتقال حسب تدرج الجهد الكهربائي) أما في الأغشية الحية، فإنه بالإضافة للظواهر المنفعلة تحدث ظواهرفعالة يمكن أن تكون على آحد الشكلين:

أ- الشكل المسرع أو المضخم للظاهرة المنفعلة.

ب- في الاتجاه المعاكس للظاهرة المنفعلة.

ومعنى ذلك أن الجزيئات تتحرك بعكس تدرج التركيز وهذا يعني حركتها من مكان ذي تركيز منخفض إلى مكان ذي تركيز مرتفع، كهجرة الإيونات ضد تدرج الجهد الكهربائي (الأنيون نحو القطب السالب، والكاتيون نحو القطب الموجب).

ولكي تحدث الظواهر الفعالة، لا بد أن تكون طاقة التفاعلات البيوكيميائة متجهة لداخل الغشاء، مع ضرورة الانتباه هنا إلى أن الظواهر الفعالة هي من خصائص الأغشية الحية.

ب- الأغشية الحية:

تكون سماكة الغشاء بشكل عام ضعيفة، وهو يفصل مابين وسطين (سوائل أو

غازات) مكوناتهما مختلفه، وإنَّ الخواص (المنفعلة) للغشاء تعود إلى كونه لا يسلك سلوكاً متماثلاً مع الايونات المختلفة أو الجزيئات، ويتميز هذا السلوك بمعاملات مماثلة لما تم تحديده عند هجرة الجسيمات من حيث:

1- حركية الجسمات داخل الغشاء.

2- معامل انتشار الجسيمات داخل الغشاء.

3- نفوذية الغشاء للجسيم.

وهناك عدة نماذج للأغشية:

- الغشاء النصف نفوذ الذي لا يسمح بالاجتياز إلا للمذيب لذا فإنه يملك نفوذية معدومة للجسيمات الأخرى.
- غشاء الفصل الذي يسمح بمرور المذيب والجزيئات الصغيرة والايونات الصغيرة للمذاب، لكنه يوقف الجسيمات الكبيرة (جزيئات كبيرة أو ايونات كبيرة) وبالتالي فإن دوره مماثل لدورالمرشح بأبعاد جزيئية.
- الغشاء الانتقائي الذي لا يسمح بالمرور إلا لنمط ايوني أو جزيئي محدد.

وبصورة عامة تسمح الأغشية بمرور عدة أنماط من الجزيئات أو الايونات لكن بحركيات مختلفة.

3-2 ظواهر أولية:

3-2-1 التناضح (التنافذ)

لنعتبر جزئين (1 و 2) سطحاهما الافقيان كبيران (كي لا تتسبب تغيرات الحجم بتغيرات معتبرة في ارتفاع السائل ومن ثم الضغط) مفصولين بغشاء نصف

نفوذ، نضع في الأول محلول اسمولاريته (C_1) وفي الثاني الماء النقي، فنرى بأن حجم المحلول يزداد، بينما حجم المذيب (الماء) يتناقص، ولا يمكن أن يحصل التوازن أبداً وتتوقف الظاهرة عندما يختفي الماء كلياً من الجزء الثاني(2).

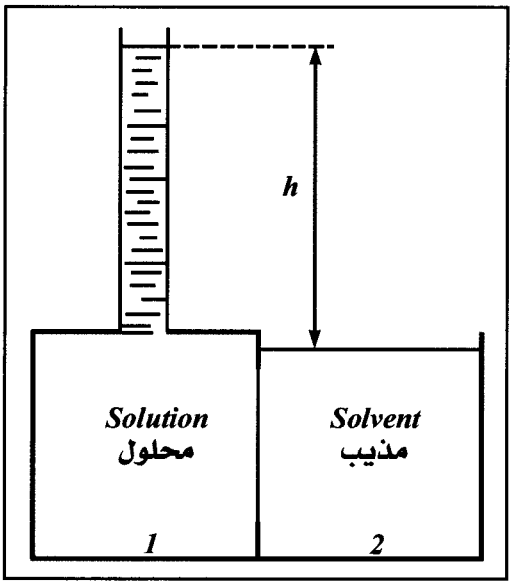
والآن فإذا أخذنا نفس الترتيب ووضعنا في الجزء (2) محلول اسمولاريته (C_2) أقل من (C_1) فنرى بأن الحجم في الجزء (1) يزداد، بينما يتناقص الحجم في الجزء(2) ويتم التوازن عندما تكون $(C_1 = C_2)$.

في الحالتين يحصل انتقال للماء مجتازاً الغشاء من الوسط ذو (الاسمولاريته الضعيفة) نحو الوسط ذو (الاسمولاريته القوية) بحيث يتم تساوي الاسمولاريته. إن ماحصل في التجربة الثانية مستحيل في التجربة الأولى، عبارة عن أن تناضحية (الاسمولاريته) المذيب النقي هي دائماً معدومة مهما كان حجمه.

يسمى انتقال المذيب فقط بالتناضح (تنافذ)، وهو يعود إلى فرق الجهد الكيميائي للمذيب على طرفي الغشاء، حيث يكون الجهد الكيميائي للمذيب عظيماً عندما يكون المذيب نقياً ويتناقص كلما ازدادت تناضحية (اسمولاريته) المحلول، ولهذا يمكننا القول بأن التناضح مماثل لانتشار المذيب.

3-2-2 الضغط التناضحي *Osmotic Pressure*

إذا أعدنا إجراء التجربة الأولى بحيث يكون سطح الجزء الأول ضعيفاً ومغلقاً بانبوب شفاف عمودي نصف قطره صغير، بحيث إنه عندما يبدأ المذيب بالدخول إلى المحلول، بالتناضح يرتفع المحلول في الانبوب وبالتالي يرتفع ضغطه الخاص، وعندما يصل المحلول إلى الارتفاع (h) (انظر الشكل 1-3)



الشكل (3-1) ويبين دور الضغط التناضحي

يتوقف عن التحرك ويحصل التوازن، ويستمر هذا التوازن طالما أن (P_1) ضغط المحلول أكبر من (P_2) ضغط المذيب:

$$P_1 - P_2 = h\rho g = P \qquad (3\text{-}1)$$

3-2-3 تعريف *Definition* :

عندما يتحقق التوازن ، يكون تدفق الماء (المذيب) معدوماً، والضغط $(P = P_1 - P_2)$ يتسبب بإحداث تدفق من الجزء (1) نحو الجزء (2) وهذا يدل على وجود ضغط يوازن (P) وله نفس القيمة.

يسمى هذا الضغط الذي يقوم بسحب الماء نحو المحلول بالضغط التناضحي $(\tilde{w})$ للمحلول والأجهزة التي تسمح بهذا القياس هي مقاييس التناضح الغشائية .

ومن المهم الملاحظة بأن الضغط التناضحي لمحلول لا يظهر إلا عندما يكون المحلول مفصولاً عن المذيب بغشاء نصف نفوذ *Semiosmosis*.

ملاحظة *Note*:

في حالة المحاليل البيولوجية، يسمى مجموع التراكيز المولية لمختلف المواد المذابة باسمولاريته *Osmolarity* المحلول ويعبر عنها بوحدات:

$$(mmo\ l/l)$$

3-2-4 قانون فان توف :

تبين التجربة أنه من أجل محاليل مخففة تحتوي على جسيمات صغيرة أن الضغط التناضحي:

$$\tilde{w} = RTC \qquad (3\text{-}2)$$

حيث :

$\tilde{w}$: الضغط التناضحي للمحلول.

R : ثابت الغازات المثالية.

T : درجة الحرارة المطلقة.

C : اسمولالتيه لجسيمات غير منتشرة من المحلول.

3-3 الضغوط التناضحية للمحلول *Suspension Osmotic Pressure*

ينتج من المفاهيم السابقة بأن الضغط التناضحي لمحلول يتعلق بتركيز الجسيمات غير القابلة للإنتشار واجتياز الغشاء .

فإذا أطلقنا اسم مذيب على كل ما يجتاز الغشاء ، سنرى أنه وفق خواص هذا المذيب نستطيع تمييز عدة ضغوط تناضحية، وعملياً يوجد ثلاثة ضغوط للسوائل البيولوجية .

3-3-1 الضغط التناضحي لسائل بيولوجي

Biological Suspersion Osmotic Pressure:

هو الضغط التناضحي الموجود بين السائل والماء المفصولين بغشاء نفوذ للماء وغير نفوذ للمذاب.

إن هذا الضغط التناضحي الذي يملك قيمة مرتفعة [(7.6 ضغط جوي أو *770KPa*) من أجل بلازما الدم العادي عند درجة الحرارة *($37C^{\circ}$)*] لا يمكن قياسه مباشرة لأنه لا يوجد قطعياً غشاء نصف نفوذ للماء، وأن تحديده غيرالمباشر يتم بصورة عامة بقياس انخفاض نقطة تجمد السائل وقيمته غالباً ما يعبَّر عنها بالتناضحية *Osmolarity* لأن الضغط التناضحي وانخفاض نقطة التجمد متناسبين مع تناضحية السائل.

ويجب أحياناً الملاحظة بأن الضغط التناضحي متناسب مع درجة الحرارة المطلقة ، بينما التناضحية (الاسمولاليتيه) مستقلة عنها . فعند الكائنات الحية ، لا يظهر أبداً الضغط التناضحي بصورة مطلقة (لا يوجد ماء نقي داخل الكائن الحي) ولا حتى نسبياً (لا يوجد غشاء بيولوجي لا يكون قطعياً نصف نفوذ للماء).

3-3-2 الضغط التناضحي الفعال *The Active Osmotic Pressure*:

مقارنةً مع المكونات العادية لبلازما الدم، تكون الأغشية الخلوية نفوذة جداً للماء والبول *Urina* ، نفوذة للسكر، غير نفوذة للجسيمات الكبيرة. إذ أنها تسلك

سلوكاً كما لو كانت غير نفوذة للأيونات الصغيرة، لهذا فالضغط التناضحي الفعال للبلازما هو إذاً الضغط التناضحي العائد لمكوناتها .

إنَّ الكائنات الحية، وبصورة مطلقة لا يظهر فيها الضغط التناضحي الفعال أبداً لأنه لايوجد مقاطع في الكائن الحي تحتوي فقط الماء، السكر، البول. ولكن على العكس فإن اختلافاتها على طرفي الأغشية الخلوية هي المسؤولة عن تحرك الماء واجتياز هذه الأغشية.

3-3-3 الضغط شبه التناضحي *The Semiosmotic Pressure* :

هو عبارة عن الضغط التناضحي العائد إلى الجسيمات الكبيرة للسائل البيولوجي وقياسه سهل، يتم باستخدام مقياس التناضح الغشائي *Osmoscope*، وقيمته بالطبع صغيرة جداً بالمقارنة مع الضغط التناضحي (*28mmHg*) وهذا يعني (*7.3KPa*) ومن أجل بلازما دم عادي عند ($37C^{\circ}$) . وهو يلعب دوراً أساسياً في التبادلات السائلية ضمن الكائن الحي. ويحدث عند وجود سائلين يحتويان على جسيمات كبيرة مختلفة و يكونان مفصولين بغشاء فصل (نفوذ للماء والجسيمات الصغيرة ، وغير نفوذ للجسيمات الكبيرة والايونات الكبيرة)، مثلاً في التبادلات بين الأوعية الشعرية والوسط البيني، في الترشيح الكبيبي (كتلة من العروق الدموية أو العصبية) ... الخ

ملاحظة *Note* :

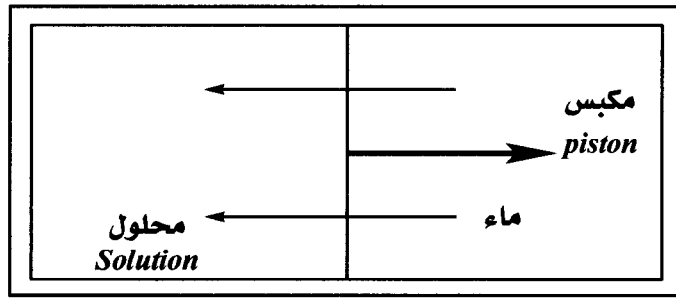
في الطب، يسمى مجموع التراكيز المولية لمختلف المواد المذابة في المحلول باسمولاليته المحلول *osmolality* ويعبر عنها بوحدات (*mmol/kg*) .

3-4 شغل التخفيف (التناضح) *osmosis work* وشغل التركيز (منع التناضح) *antiosmosis work*:

لنعتبر اسطوانة مغلقة من الطرفين، مقسومة إلى جزئين بمكبس نصف نفوذ، انظر (الشكل 2-3) .

نضع في أحد الجزئين محلولاً حجمه الابتدائي (V_1) يحتوي على (n) مول مذاب و بالتالي فإن الاسمولاريته تعطى بالعلاقة التالية:

$$C_1 = \frac{n}{V_1} \qquad (3\text{-}3)$$



الشكل (2-3) مكبس نصف نفوذ

نستنتج وبشكل تلقائي بأن المكبس يتحرك نحو الماء، وبفعل التناضح، يمر الماء نحو المحلول الذي يزداد حجمه، بينما يتناقص حجم الماء.

وبما أن تحرك المكبس ناتج عن خضوعه لقوة، أي استهلاك للشغل إذاً، فهناك تغير للطاقة.

3-4-1 التفسير الكمي *Qualitative Intrepretation*:

رأينا أنه تحت تأثير الضغط (P) الذي يسببه المكبس يتغير حجم المائع بمقدار (dV) وتتغير طاقته بمقدار (dE)، والتي تعطى بالعلاقة الرياضية التالية:

$$dE = -dW = -PdV \qquad (3\text{-}4)$$

وبما أن الضغط المؤثر في هذه الحالة هو الضغط التناظمي $(\tilde{w} = P)$ لذا :

$$dE = -\tilde{w}dV \qquad (3\text{-}5)$$

وكذلك :

$$\tilde{w} = CRT = \frac{nRT}{V} \qquad (3\text{-}6)$$

ومنه نجد أنّ :

$$dE = \frac{-nRTdV}{V} \qquad (3\text{-}7)$$

فعندما يكون هذا التحول عند نفس درجة الحرارة *adiabatic* وعكوس *reversable* فإن المكبس يتوقف عن التحرك عندما يصبح حجم المحلول (V_2) وتناضحيته $(C_2 = \frac{n}{V_2})$. وهكذا نجد أنّ مقدار التغير في الطاقة يساوي إلى:

$$\Delta E = \int_{V_1}^{V_2} -nRT\frac{dV}{V} = nRT\,log\frac{V_1}{V_2} = nRT\,log\frac{C_2}{C_1} \qquad (3\text{-}8)$$

والآن عندما يمر عدد (n) مول من التناضحية (C_1) الى التناضحيه (C_2) نميز الآتي:

1- إذا كانت $(C_2 \langle C_1)$ (تخفيف) *dilution* تكون (ΔE) سالبة والمحلول يفقد مقداراً من الطاقة وتحدث الظاهرة تلقائياً والتخفيف يكون منفعلاً.

2- إذا كانت $(C_2 \rangle C_1)$ (تركيز) *concentration* تكون (ΔE) موجبة والمحلول يتلقى مقدار من الطاقة وهذا لايمكن أن يحدث تلقائياً، وهذه الظاهرة تكون ظاهرة فعالة.

3-4-2 عمل الكلية *Kidney Function*:

وبهدف توضيح مقدار التغير في الطاقة أثناء عمل الكلية، ابتداء من بلازما تناضحية (اسمولارتيه) *(300 mmol/l)* تنتج الكلية البول *urina* باسمولاريته *(600 mmol/l)* أي أنه عندما تنتج الكلية لتراً واحداً من البول فإن *(600 mmol/l)* تكون قد انتقلت من التناضحية (الاسمولارتيه) $(C_1 = 300mmol/l)$ إلى الاسمولاريته $(C_2 = 600mmol/l)$ وباستخدام العلاقة الرياضية (3-8) نجد أن :

$$\Delta E = (0.6)\cdot(8.31)\cdot(273+37)\log\frac{600}{300} = 1066\,Joules$$

حيث $R=8.31$ ونلاحظ بأن (ΔE) موجبة لأن البول أكثر تركيزاً من البلازما . والكلية تقدم الطاقة للبول، وهذه الظاهرة هي ظاهرة فعالة.

3-5 التدفق السائلي *The Fluid Fluxion*:

3-5-1 تدفق المذيب *The Solvant Fluxion*

لنعتبر محلولاً معيناً نشير إليه بالرقم (1) ضغطه التناضحي $(\tilde{w}_1)$ ويخضع لضغط (P_1) مفصولاً عن المذيب النقي الذي ضغطه (P_2) بغشاء نصف نفوذ.

فعندما لا يكون التوازن بينهما محققاً، نجد أن المذيب يجتاز الغشاء بتدفق *Flux* $(\varnothing)$.

حيث إن:

$$\varnothing_{1\to 2} = KS(P_1 - P_2 - \tilde{w}_1) \qquad (3\text{-}9)$$

حيث :

K : معامل يتعلق بطبيعة وسماكة الغشاء .

S : مساحة سطح الغشاء .

أما عندما يحتوي الجزء (2) على محلول ضغطه التناضحي $(\tilde{w}_2)$ فإننا نجد:

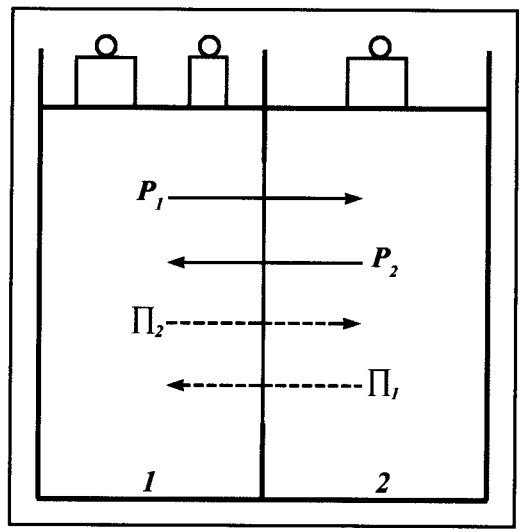
$$\varnothing_{1\to 2} = KS(P_1 - P_2 - \tilde{w}_1 + \tilde{w}_2) \qquad (3\text{-}10)$$

3-5-2 تدفق المذيب و الجسيمات الصغيرة:

Solvant and minor molecules Fluxion

عندما يفصل الغشاء الفاصل محلولين مختلفين (1 و2) انظر (الشكل 3-3) ضغوطهما شبه التناضحية هي على الترتيب (Π_1 و Π_2) وتخضع لضغوط (P_1 وP_2) فإن تدفق الماء والجسيمات الصغيرة القابلة للانتشار واجتياز الغشاء يعطى بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\varnothing_{1\to 2} = KS(P_1 - P_2 - \Pi_1 - \Pi_2) \qquad (3\text{-}11)$$



الشكل (3-3) تدفق الجسيمات الصغيرة القابلة للإنتشار

ولهذا التدفق أهمية كبيرة في الفيزيولوجيا، فمن خلاله يخرج الماء والجسيمات الصغيرة المغذية من الوعاء الشعري الشرياني *arterial capillary vessel*. لتذهب نحو الخلايا وكذلك فمن خلاله يعود الماء والفضلات الخلوية إلى الوعاء الشعري الوريدي *venous capillary vessel*.

فعندما يكون المحلول (1) الحاوي على جزيئات صغيرة وايونات قابلة للانتشار وجزيئات كبيرة على تماس بغشاء فصل (بدون محلول في الجهة الأخرى)، فالتدفق الذي يجتاز الغشاء هو:

$$\varnothing_{1\to 2} = KS(P_1 - \Pi_1) \qquad (3\text{-}12)$$

وحتى يكون لهذا التدفق وجود يجب أن يكون المقدار $(P_1 - \Pi_1)$ والمسمى بضغط الترشيح موجباً.

أما عندما يحتوي المحلول على جزيئات صغيرة وإيونات قابلة للانتشار وجزيئات كبيرة مفصولة عن الماء بغشاء فصل، فإن الجزيئات الصغيرة والايونات الصغيرة تنتشر نحو الماء بحيث يحصل التوازن *equilibrium*.

تمارين محلولة

(3-1) تحت فروق ضغوط جزئية متساوية، هل يكون لتدفق الاكسجين وثاني اكسيد الكربون عملياً نفس القيمة المطلقة عند اجتياز غشاء حويصل شعري ولماذا؟

الحـــل:

كلا ، لأن تدفق (CO_2) أكبر من تدفق (O_2) ، حيث إنه في غشاء حويصل شعري يكون (O_2 و CO_2) في الحالة المنحلة وأن معامل انحلالية (O_2) أكبر بكثير من معامل انحلالية (O_2) .

(3-2) ايونات بإشارة مختلفة وحركية مختلفة، هل يهاجران بنفس السرعة؟

الحـــل:

نعم، لأنهما يخضعان معاً إلى تدرج التركيز وتدرج الكمون الكهربائي، وأن تدرج الجهد الكهربائي الملائم يرفع من سرعة الحركية الضعيفة للايون ويخفض حركية الايون المرتفعة.

(3-3) تعطي الكلية (A) لتراً واحداً من البول في اليوم اسمولاريته *(500 mmo l/l)*، وأنه خلال نفس الفترة الزمنية تعطي الكلية (B) ثلاثة لترات باسمولاريته *(320 mmo l/l)* . فإذا كان لاسمولاريته البلازما نفس القيمة لكل من *(A و B)* وتساوي *(290 mmo l/l)*.

أ-ما هي الكلية (A أو B) التي تزيل كمية أكبر من الجسيمات المنحلة؟

ب- ما هي الكلية (A أو B) التي تستهلك طاقة أكبر؟

علماً بأن :

$$R = 8.31 \ \ joul/mole \cdot deg re$$

الحـــل:

أ- تزيل الكلية (A) : $500\ mmol$ في اليوم

ـ تزيل الكلية (B) : $320 \times 3 = 960 mmol$ في اليوم

نرى بأن الكلية (B) تزيل كمية أكبر من الجسيمات المنحلة.

ب- تعطي الكلية (A) في اليوم الواحد إلى البول طاقة قدرها:

$$\Delta E_A = 0.5R(273+37)\log\frac{500}{290} = 702 Joules$$

تعطي الكلية B في اليوم الواحد إلى البول طاقة قدرها:

$$\Delta E_B = 0.32 \cdot 3R(273+37)\log\frac{320}{290} = 243 Joules$$

هكذا نرى بأن الكلية (A) تعطي طاقة أكبر للبول إذاً فهي تستهلك طاقة أكبر.