نقل المواد عبر الغشاء البلازمي

The movement of substances across membrane

توجد الخلية في البيئة التي تعيش فيها ويفصلها عنها الغشاء الخلوي وان وظيفة كل الاغشية الخلوية هي عملها كحاجز barrier , وعبر هذا الغشاء فأن المواد الاولية تتحرك باستمرار بطريقة مسيطر عليها بعناية , ومع ذلك يجب ان يسمح بحركة المغذيات الى الخلية , وفي حال عدم حصول الميكروبات microbes على المغذيات من البيئة التي يعيش فيها فأن ذلك يؤدي الى استنفاد امداداتها من الاحماض الامينية والنيكلوتيدات amino acid and nucleotides والعناصر الاخرى التي تحتاجها للبقاء على قيد الحياة. وفي حال ازدهار النمو المكروبي وتكاثره فيجب ان تمتلك مصدر وفير للطاقة. ان مصدر الطاقة يستعمل لتوليد الطاقة العامة للخلية وهو بشكل المركب ATP adenosine triphosphate . ومن الواضح ان الحصول على مصادر المغذيات والطاقة هو احد اهم الوظائف للكائن الحي , ومبدئياً يتولى الغشاء البلازمي هذه الوظيفة. ومن الضروري فهم كيف تحدث هذه الحركة لفهم كيف تقوم الخلية بوظائفها.

ان المواد قطبية الصغيرة جداً مثل الماء والايونات الصغيرة والجزيئات الصغيرة الذائبة في الماء يحتمل ان تدخل الخلية من خلال مسامات pores. والمواد الاولية غير القطبية مثل الدهون والجسيمات غير المشحونة مثل (الجزيئات والايونات) تذوب ثم تمر من خلال دهون الغشاء. بقية المواد المتبقية تتحرك خلال الغشاء بواسطة جزيئات حاملة. ومعظم الجزيئات الكبيرة تكون غير قادرة على دخول الخلية بدون مساعدة حوامل متخصصة.

ان علماء الاحياء المجهرية microbiologists غالباً ما يشيرون للكاربون والاوكسجين والهيدروجين والكبريت والفسفور بمصطلح العناصر الكبيرة Macroelements او المغذيات الكبيرة Macronutrients , وذلك يعود لكون الميكروبات تحتاجها بكميات كبيرة. وهذه العناصر تتواجد في الجزيئات العضوية مثل البروتينات والدهون والاحماض النووية والكربوهيدرات. اما العناصر الكبيرة Macroelements الاخرى هي البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والحديد فتتواجد بهيئة ايونات موجبة cations , وبشكل عام فأن هذه العناصر تساهم في تفعيل واستقرارية جزيئات ومركبات الخلية مثل الانزيمات والرايبوسومات لذلك فهي مهمة جداً كونها تدخل في العمليات الخلوية والتي تشمل صناعة البروتينات والمحافظة على مستويات الطاقة وغيرها من العمليات. العناصر الاخرى تحتاجها الخلية لكن بكميات قليلة جداً لذلك سميت بالـ micronutrients or trace elements . بعض المكروبات تكون قادرة على

تصنيع جميع الجزيئات العضوية التي تحتاجها من العناصر الكبيرة Macroelements , والبعض الاخر من المكروبات يكون غير قادر على تصنيع جزيئات معينة والتي تحتاجها للبقاء على قيد الحياة , هذه الجزيئات تسمى بعوامل النمو growth factors والتي يجب ان يحصل عليها من البيئة التي يعيش فيها. هناك ثلاث انواع من عوامل النمو الجزيئات growth factors هي amino acids, purines and pyrimidines, and vitamins .

البكتريا يمكنها اخذ الجزيئات الذائبة فقط. وان عملية الاخذ تكون متخصصة لمادة معينة تحتاجها الخلية دون غيرها من العناصر , حيث من غير المفيد ان تأخذ الخلية جميع المواد التي يمكن ان تكون لا تحتاجها. الخلية البكتيرية تكون قادرة على نقل المغذيات الى داخل الخلية عندما تكون تركيزها داخل الخلية اعلى من خارج الخلية , بمعنى أنها تكون قادرة على تحريك المغذيات نحو منطقة التركيز المرتفع, وهذه الآلية مهمة لكون البكتريا غالباً ما تعيش في بيئات فقيرة المغذيات. وفي ضوء التنوع الهائل للعناصر الغذائية وتعقيد مهمة نقلها , فليس من المستغرب ان تستخدم البكتريا العديد من آليات النقل المختلفة.

يمكن ان تكون الاليات التي تتحرك بها المواد عبر الاغشية سلبية passive او نشطة active. في النقل السلبي passive transport او النقل غير النشط او النقل غير الفعال جميعها مصطلحات تعبّر عن احد الانواع الرئيسية للنقل في الخلية , وتمثل الصفة الرئيسة للنقل غير النشط في الخلية عدم حاجته للطاقة أي ان المواد تنتقل بين جانبي الغشاء الخلوي دون الحاجة الى استهلاك الطاقة. وفيه تنتقل العناصر عبر الغشاء الخلوي الى الخلية او خارجها من منطقة التركيز العالي لهذه العناصر الى منطقة التركيز المنخفض. ويتم تقسيم العمليات السلبية passive processes من النقل الى ثلاثة انواع رئيسية بحسب المادة المنقولة , وهي *simple diffusion, facilitated diffusion*, and *osmosis*.

أما في العمليات النشطة active processes فأن الخلية تصرف طاقة بهيئة المركب ATP ويمكنها نقل المواد عكس تدرج التركيز. هذه العمليات تشمل : primary and secondary active transport, and group translocation.

اما عمليتي الـ endocytosis and exocytosis تحصل في الخلايا الحقيقة النواة فتتم بآلية منفصلة عن اليات نقل المواد عبر الغشاء البلازمي. وفيما يأتي توضيح لهذه الانواع من النقل.

⇐ **الانتشار البسيط simple diffusion**

احد انواع النقل غير النشط التي لا تحتاج الى أي مساعدة للانتقال بين جانبي الغشاء الخلوي. حيث ينتقل المذاب من الجانب ذات التركيز الاعلى الى الجانب ذات التركيز المنخفض, ان معدل الـ passive diffusion يعتمد على مقدار تدرج التركيز للجزيئات خارج الخلية وداخل الخلية. ولأخذ العناصر الغذائية بشكل كاف يتطلب تدرج كبير في التركيز. وفي حال عدم استهلاك الخلية للمغذيات الداخلة اليها بشكل اني , فأن معدل الانتشار سوف ينخفض نتيجة تراكم المغذيات داخل الخلية. ان معظم المواد لا يمكن ان تنتقل بشكل حر خلال الغشاء البلازمي, إلا ان بعض الغازات يمكن ان تنتقل بالانتشار بسهولة وتشمل O_2 and CO_2 حيث يمكنها ان تدخل الخلية بواسطة الانتشار السلبي, وكذلك هناك القليل من المواد يمكنها المرور من خلال المسامات pores ومثل هكذا انتشار يتأثر بحجم وشحنة الجسيمات المنتشرة ودرجة الحرارة والذوبانية والتركيز وكذلك يتأثر بشحنة سطح المسام. المسامات من المحتمل تمتلك قطر اقل من 0.8 نانوميتر, لذلك فأن الماء H_2O والجزيئات الصغيرة الذائبة في الماء والايونات مثل H^+, K^+, Na^+, Cl^- يمكنها ان تمر خلال هذه المسامات. اما الجزيئات الاكبر والايونات والمواد القطبية polar يجب ان تدخل الخلية بواسطة آليات نقل اخرى. وجميع هذه الأليات تتطلب بروتينات متخصصة يشار لها ببروتينات النقل **transport proteins**. وهذه تعتبر احد الاسباب لتسمية الغشاء بانتقائي النفاذية selective permeable او شبه النفوذ semipermeable.

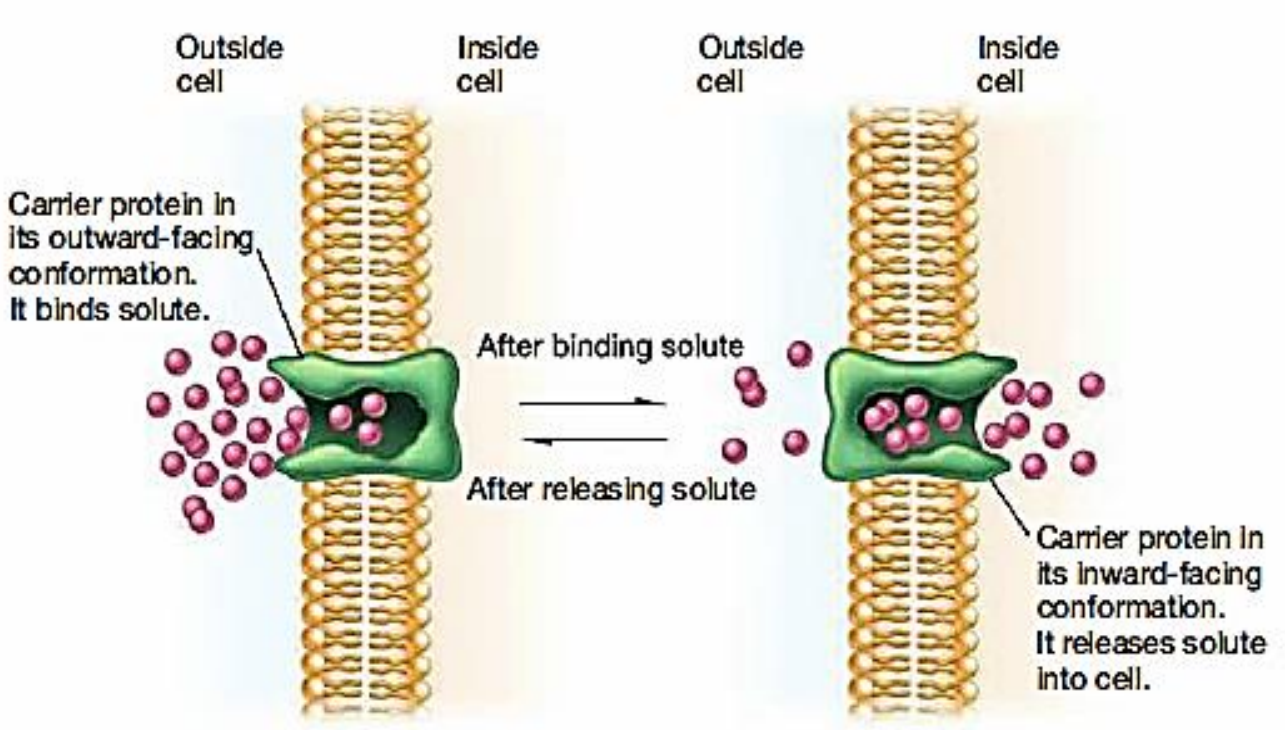
❖ **بروتينات النقـل Transport Proteins**

تستخدم الخلايا البكتيرية العديد من البروتينات الناقلة في عمليات النقل. هذه البروتينات المهمة تكون مطمورة في الغشاء البلازمي ويمكن تصنيفها الى عدة انواع. النوعين الرئيسيين يمثلان القنوات **channels** والحوامل **carriers**. القنوات channels وكما يشير اسمها فهي عبارة عن بروتينات متشكلة مع بعضها لتكون مسامات pores في الغشاء والتي يمكن ان تمر المواد الاولية خلالها. وغالباً ما يتم النقل بعملية النقل الميسر facilitated diffusion من خلال هذه القنوات. القنوات تظهر بعض التخصص للمواد التي تمر خلالها لكنها اقل بكثير مما تظهره الحوامل carriers من تخصص عالي للمواد المنقولة. وسميت الحوامل بهذا الاسم كونها تحمل المواد وتنقلها عبر الغشاء الخلوي.

⇐ الانتشار الميسّر Facilitated Diffusion

خلال الانتشار المسّهل او الميسّر فأن المواد تتحرك عبر الغشاء البلازمي بمساعدة اما القنوات channels او الحوامل carriers بدون صرف أي طاقة. وفي حقيقة الامر ان الغشاء البلازمي يتكون من مسامات مبطنة بالبروتين لأيونات معينة. هذه المسامات لها ترتيب من الشحنات بحيث تسمح بالعبور السريع لأيون محدد. الجزيئات الحاملة هي عبارة عن بروتينات مطمورة في الغشاء وهذه البروتينات متخصصة بالارتباط بجزيئة واحدة او بعدد قليل من الجزيئات وتساعدها في الحركة. واحد الاليات الممكنة في الانتشار الميّسر هي ان الحامل يعمل مثل الباب الدوار او المكوك الذي يوفر قناة مريحة احادية الاتجاه لحركة المواد عبر الغشاء.

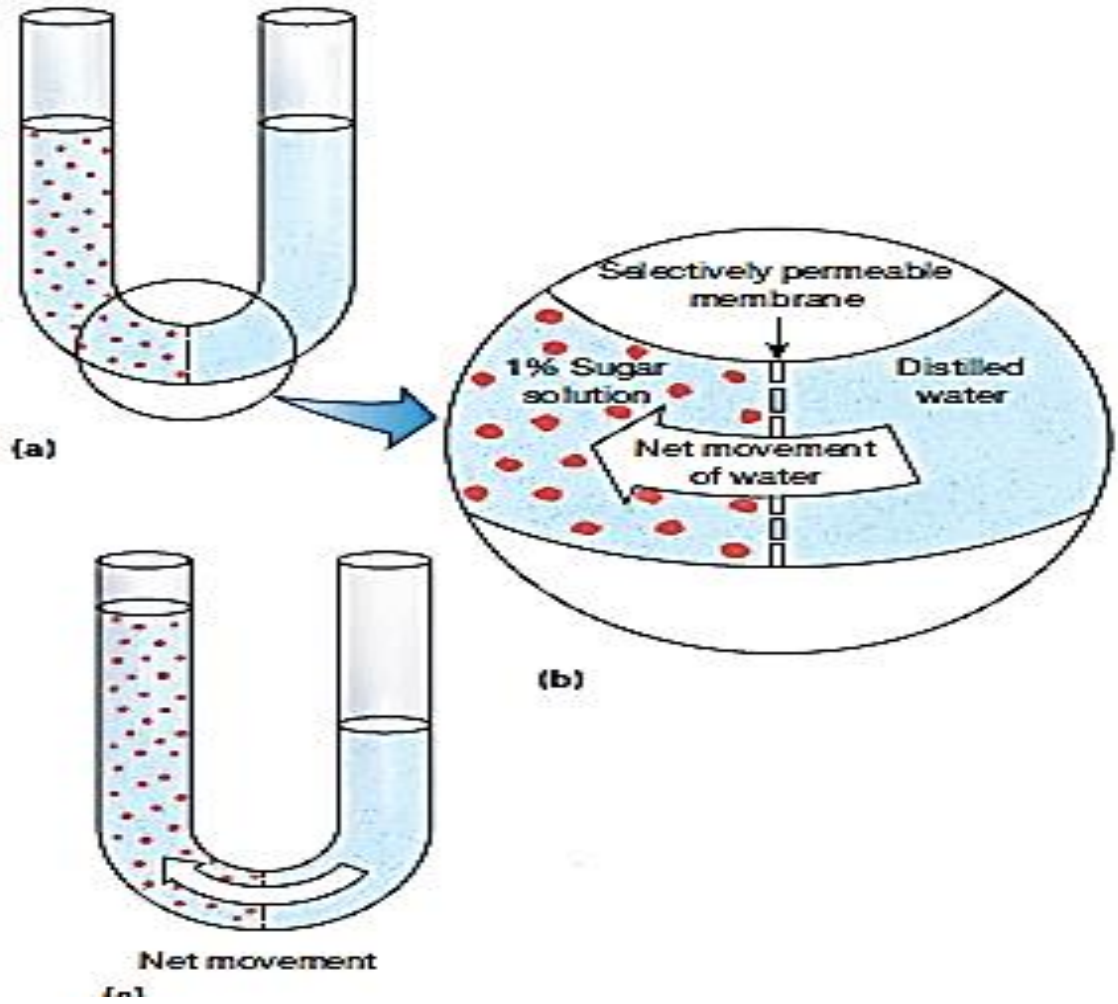
الجزيئات الحاملة carrier molecules يمكن ان تصبح مشبعة حيث ان الجزيئات المتماثلة او المتشابهة تتنافس في وقت واحد على نفس الحامل. تحدث حالة الاشباع عندما تكون جميع الجزيئات الحاملة تنقل مادة الانتشار بأسرع ما يمكن. تحت هذه الظروف فأن معدل الانتشار يصل الى الحد الاعلى ولا يمكن زيادته اكثر. وعندما تتمكن الجزيئة الحاملة من نقل اكثر من مادة واحدة فأن المواد تتنافس على الحامل بالنسبة لتراكيزهم. فعلى سبيل المثال: اذا كانت كمية المادة A ضعف ما موجود من المادة B فأن المادة A تتحرك عبر الغشاء اسرع بمرتين من المادة B.



A model of facilitated diffusion

⇐ التناضح Osmosis

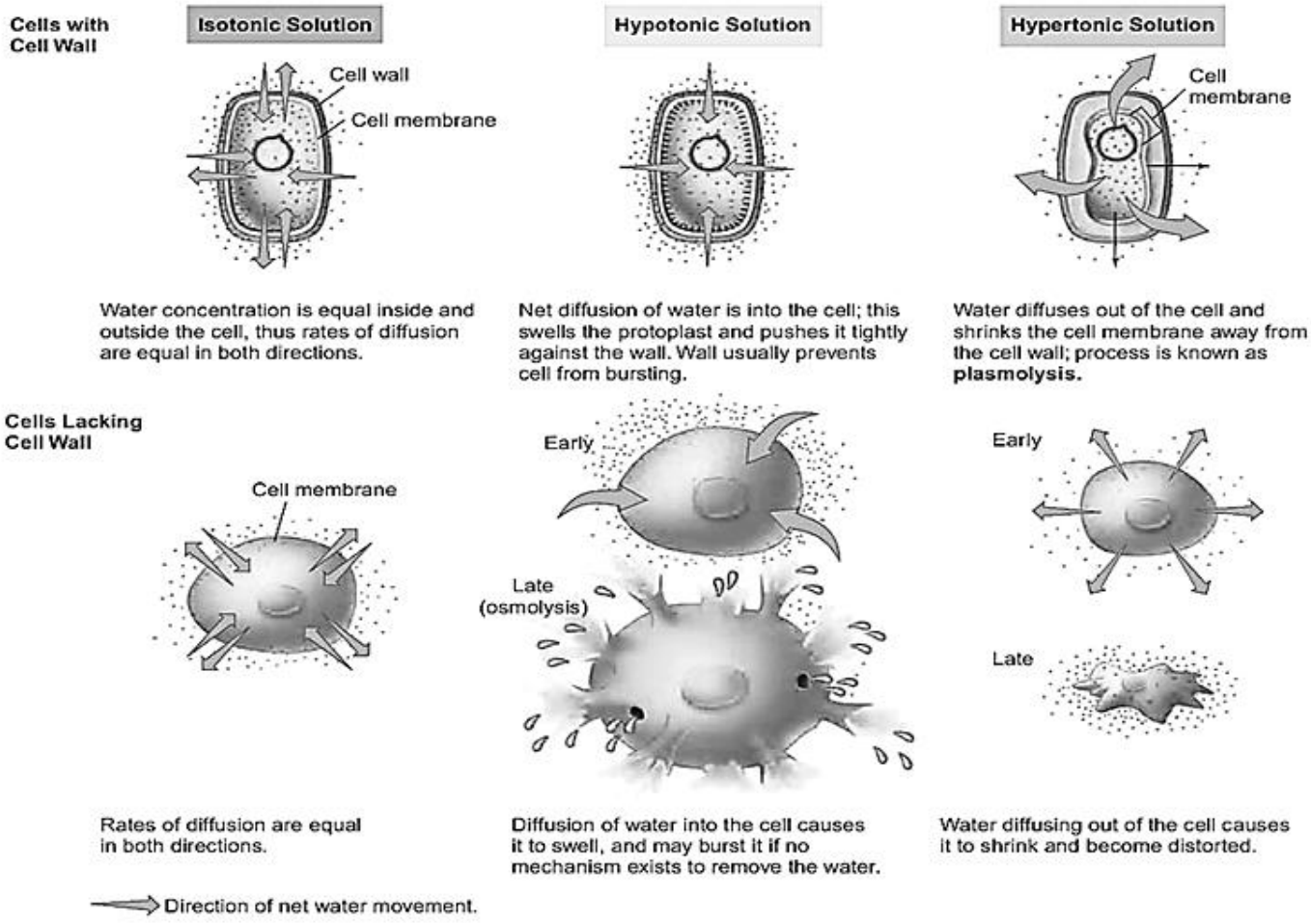
التناضح او التنافذ هو عبارة عن حالة خاصة من الانتشار حيث تنتشر جزيئات الماء عبر الغشاء الانتقائي النفاذية. ومثل باقي انواع النقل غير النشط فأن جهة الانتقال تعتمد على منطقة التركيز الاعلى فينتقل الماء من المنطقة ذات الكثافة المائية المرتفعة أي منخفض نسبة العناصر المذابة الى المنطقة ذات الكثافة المائية المنخفضة ذات التركيز العالي من العناصر المذابة. وتكون العناصر المذابة في هذه الحالة ذات خصائص لا تسمح لها من عبور الغشاء الخلوي. ولأثبات التنافذ او التناضح يمكن ان نصمم حجرتين منفصلتين بواسطة غشاء نفوذ فقط للماء. احد هذه الحجرات تحتوي ماء نقي pure water والحجرة الثانية تحوي جزيئات كبيرة غير قابلة للنفاذ مثل البروتينات او السكر. جزيئات الماء تتحرك في كلا الاتجاهين لكن صافي الحركة من الماء النقي (بتركيز 100%) تكون باتجاه الماء الذي يحتوي الجزيئات الاخرى (تركيز اقل من 100%) , لذلك فأن **التنافذ يكون صافي انسياب جزيئات الماء من منطقة التركيز المرتفع لجزيئات الماء الى منطقة التركيز المنخفض عبر غشاء شبه نفوذ.**



ويُعرف الضغط الازموزي او الضغط التناضحي osmosis pressure بأنه الضغط المطلوب لمنع تدفق الماء بواسطة التناضح osmosis. وان اقل كمية من الضغط الهيدروستاتيكي hydrostatic pressure المطلوب لمنع حركة الماء من محلول معين الى ماء نقي هو عبارة الضغط التناضحي للمحلول. ان الضغط التناضحي للمحلول يتناسب مع عدد الجزيئات الذائبة في حجم معين من المحلول. لذلك فأن NaCl والاملاح الاخرى التي تشكل اثنين من الايونات لكل جزيء يمارس ضغط تناضحي ضعف ما يمارسه الكلوكوز وغيرها من المواد غير المتأينة , بشرط ان يكون كل مركب موجود بنفس التركيز.

ان الموضوع المهم لعلماء الاحياء المجهرية بما يخص التناضح والضغط الازموزي , هو كيف تؤثر الجسيمات المذابة في البيئة السائلة على الاحياء المجهرية في هذه البيئات. حيث ان السائل الذي يحيط بالخلايا يكون **isotonic** أي متعادل الضغط مع الخلايا عندما لا يكون هناك اختلاف حاصل في حجم الخلية (تركيز المذاب متساوي على كلا الجانبين). اما السائل الذي يكون **hypotonic** أي منخفض الضغط للخلية عندما تنتفخ او تنفجر الخلية نتيجة حركة الماء من البيئة المحيطة بها الى داخل الخلية (يكون تركيز المذاب داخل الخلية اعلى من خارجها). والضغط المرتفع **hypertonic** للخلية في حال كانت الخلايا تنكمش نتيجة لخروج الماء من الخلايا الى البيئة المحيطة بها (يكون تركيز المذاب خارج الخلية اعلى من داخلها).

البيئة التي تحتوي مواد مذابة تنشأ الضغط التناضحي وهذا الضغط يمكن ان يتجاوز مقدار الضغط داخل الخلية وبهذه الحالة فأن الخلايا سوف تفقد الماء وتعاني من Plasmolysis او الانكماش (shrinking). وفي البكتريا، فان امتلاكها للجدار الخلوي cell wall يحميها من الانفجار عندما تتواجد في وسط منخفض الضغط hypotonic ، ومع ذلك فأن الخلايا الممتلئة بالماء تصبح منتفخة. معظم البكتريا تستطيع تحمل مدى واسع من تراكيز المواد المذابة، حيث ان غشائها الخلوي يمتلك انظمة نقل تنظم حركة المواد المذابة من والى داخل الخلية. لكن في حال كون تراكيز المواد المذابة خارج الخلية كانت عالية جداً فان ذلك يؤدي الى فقدان الماء من داخل الخلية وانكماشها وتوقفها عن النمو وموتها. ولذلك فان استخدام **الملـح والســكر** لحفظ الاغذية استند على نفس المبدأ. وتجدر الاشارة الى ان البكتريا تفضل العيش في بيئة (منخفضة الضغط المعتدل mild hypotonic) وذلك لان هذه الاجواء تسمح بسهولة واستمرارية دخول الماء والمغذيات الى الخلية.



⇐ النقل الفعال Active Transport

بالمقارنة مع العمليات السلبية passive processes فأن النقل الفعال active transport ينقل الجزيئات والايونات عكس تدرج التركيز من المناطق ذات التركيز الواطئ الى مناطق التركيز العالي. هذه العملية تشبه دحرجة شيء بصعوبة. وتتطلب صرف طاقة من خلال التحلل المائي لمركب ATP (ATP Hydrolysis). يعتبر النقل الفعال مهم للأحياء المجهرية في نقل المغذيات خصوصاً تلك التي تتواجد في بيئة ذات تراكيز واطئة من المغذيات. ان النقل الفعال يشبه الانتشار الميسر في كونه يتطلب حوامل بروتينية والتي تعمل كحوامل وانزيمات carriers and enzymes. هذه البروتينات تظهر تخصص عالي حيث ان كل حامل متخصص بنقل مادة معينة مفردة , او قد تكون متخصص بالقليل من المواد المتقاربة تركيبياً. وكما في الانتشار الميسر فأن حوامل النقل الفعال تخضع ايضاً للتشبع والمنافسة على مواقع الارتباط بواسطة الجزيئات المتماثلة. والنقل الفعال يختلف عن الانتشار الميسر بكونه يستعمل طاقة ايضية وكذلك يختلف بقدرته على تركيز المواد. ان المثبطات الايضية التي توقف انتاج الطاقة تكبح النقل الفعال لكن لا تؤثر على النقل الميسر بشكل مباشر. وفي الخلية البكتيرية هناك ثلاث انواع

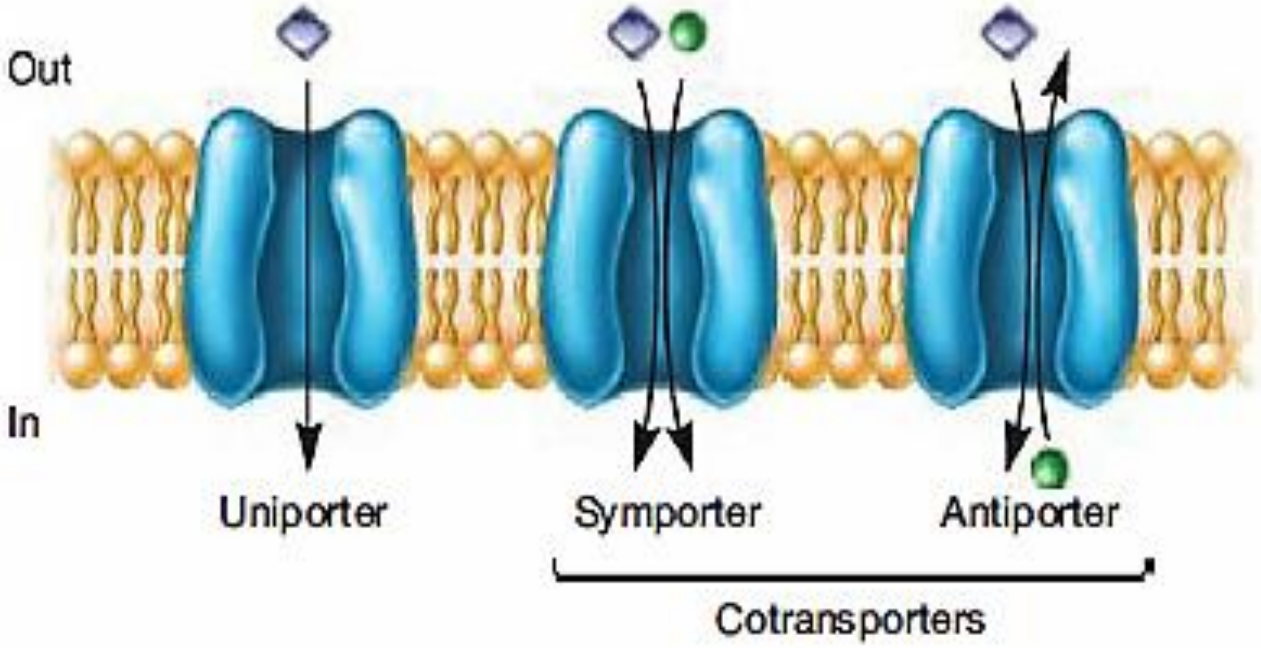
من النقل الفعال وهي primary active transport, secondary active transport, and group translocation . تختلف هذه الانواع فيما بينها من حيث الطاقة المستخدمة لحركة النقل وكذلك فيما اذا كانت الجزيئة المنقولة قد تم تحويرها عند دخولها للخلية ام لا.

⇐ **النقل الفعال الابتدائي Primary Active Transport**

هذا النوع من النقل يتم بواسطة حوامل يطلق عليها اسم النواقل الاولية النشطة primary active transporters , هذه النواقل تستعمل الطاقة المجهزة بواسطة التحلل المائي لمركب ATP لتحريك او لنقل المواد عكس تدرج التركيز من دون ان يجرى أي تحوير على تركيبة المادة المنقولة. ان النواقل الاولية النشطة هي من نوع **uniporters** والتي تحرك جزيئة مفردة عبر الغشاء. احد اهم هذه النواقل هي ATP-binding cassette transporters (ABC transporters) . هذا النوع من النواقل ABC يستعمل لتوريد المواد import , اما النواقل الـ ABC الاخرى فتستعمل لتصدير المواد export (بمعنى طرحها خارج الخلية).

⇐ **النقل الفعال الثانوي Secondary Active Transport**

هذا النوع يُقرن الطاقة الكامنة في تدرجات الايونات لنقل المواد دون تحوير المادة , بمعنى اخر ان هذا النوع من النقل لا يستخدم الطاقة بشكل ATP ولكن يستخدم الطاقة الناتجة من التدرج في تركيز المواد المنقولة بواسطة هذا النوع من النقل. ان نواقل النقل الثانوي عبارة عن نواقل مشتركة cotransporters , بمعنى اخر انها تقوم بنقل مادتين او عنصرين بوقت واحد , حيث ان الايون الذي يمتلك طاقة نقل متدرجة والمادة المرافقة للأيون يجري انتقالهما عبر الغشاء.



وعندما يتحرك الايون والمادة الاخرى بوقت واحد وبنفس الاتجاه تسمى هذه الحالة بالـ **symport** , وفي هذه الحالة يكون احد المواد المنقولة عكس اتجاه التركيز والمادة الاخرى التي تنتقل معها بنفس الاتجاه تكون مع اتجاه التركيز وبذلك تنتج طاقة من اختلاف تدرج التراكيز تستفاد منها في نقل المادة عكس تدرج التركيز . وعندما تتحرك مادتين باتجاهين متعاكسين وفي وقت واحد تسمى بالـ **antiport** , وفي هذه الحالة يتم الحصول على الطاقة من اختلاف تدرج التركيز او انحدار الايونات لكلا المادتين المنقولتين.

⇐ Group Translocation

ان الخاصية المميزة لهذا النوع من النقل هي ان المواد المنقولة بهذه الطريقة يتم تحويرها كيميائياً , لذلك فأنها لا يمكن ان تنتشر وتعود الى الخارج. ان افضل الانواع المعروفة لـ group translocation هو phosphoenolpyruvate: sugar phosphotransferase system (PTS) والموجود في البكتريا. ان PTS ينقل العديد من السكريات حيث يتم (فسفرتها الجزيئة المنقولة phosphorylating بمعنى اضافة مجموعة فسفور للسكر) بمعنى أخر تحويرها كيميائياً , باستخدام phosphoenolpyruvate (PEP) كواهب للفوسفات. هذه العملية تسمح للجزيئات مثل الكلوكوز بالتراكم عكس تدرج التركيز. ولكون ان الجزيئات المتحورة داخل الخلية تختلف عن تلك التي في الخارج , لذلك لا يوجد تدرج واقعي في التركيز.