

القسم الثاني: الدراسة البيئية للهائمات

Ecological study of plankton

أولاً: تأثير العوامل البيئية على الهائمات

The impact of environmental factors on plankton

أ- العوامل الفيزيائية Physical Factors

1- درجة الحرارة Temperature:

تعد درجة الحرارة من العوامل البيئية المهمة التي تؤثر على الصفات الفيزيائية والكيميائية والاحيائية للبيئة المائية وبالتالي فهي تؤثر على الاحياء التي تعيش فيها بصورة مباشرة او غير مباشرة. اذ تؤثر درجة الحرارة على الهائمات من حيث السلوك والأنشطة والنمو والتكاثر والمعدلات الفسيولوجية كالتفاعلات الأنزيمية والايضية والتنفس وحجم الجسم ووقت التوليد وغيرها، وبذلك تكون محددة لكمية ونوعية الهائمات فضلا عن انتشارها وتوزيعها في البيئة.

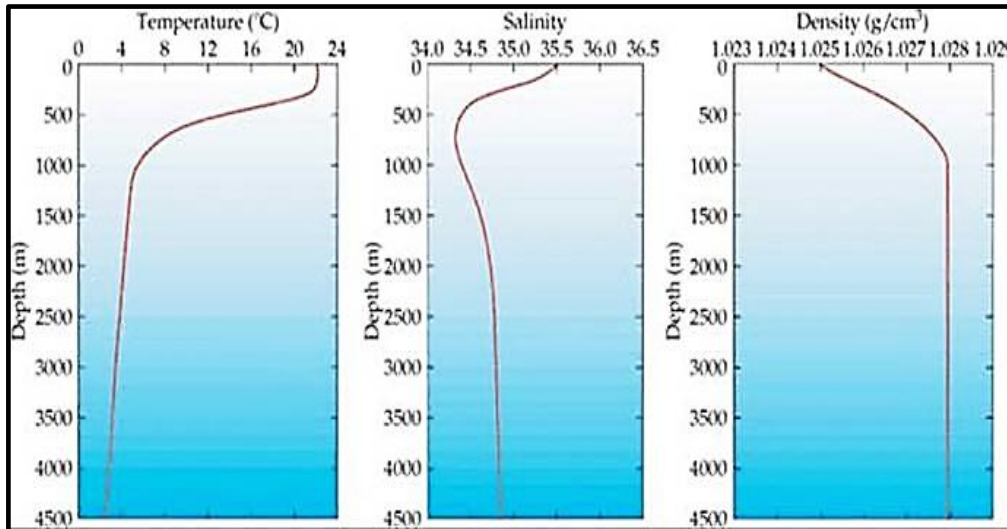
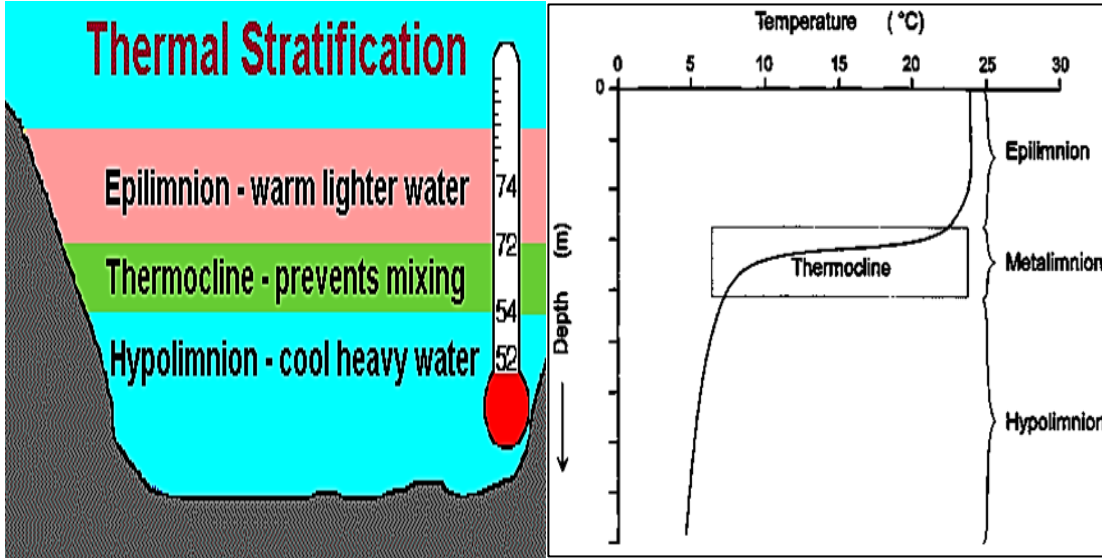
ولدرجة الحرارة دور مهم في التواجد الفصلي والتوزيع الجغرافي للهائمات بشكل عام وللهائمات النباتية (الطحالب) بشكل خاص سواءً في المياه العذبة أو المالحة ، إذ يحدث النمو الجيد لطحالب المياه العذبة في درجة حرارة تتراوح بين 22-30 درجة مئوية . ونلاحظ أهمية درجة الحرارة في نمو الطحالب من خلال تأثيرها في معدل إنقسام الخلايا وتكوين الصبغات في أثناء عملية البناء الضوئي وبذلك تؤثر في عملية التكاثر وزيادة اعدادها، إذ تزداد معدلات النمو بمقدار 1.8-2.9 مرة عند زيادة درجة الحرارة من 10- 20 درجة مئوية . وتختلف درجة الحرارة المثلى للنمو بين أنواع الطحالب ، حيث تتراوح بين 18-30 درجة مئوية للدياتومات و 20- 25 درجة مئوية للطحالب الخضرة و 35-40 درجة مئوية للخضر المزرقّة. ولذلك فان وجود أنواع معينة من الطحالب في بعض الأنهار والبحيرات يعد مؤشراً (دليل حيوي) لدرجات حرارة المياه التي تتواجد فيها.

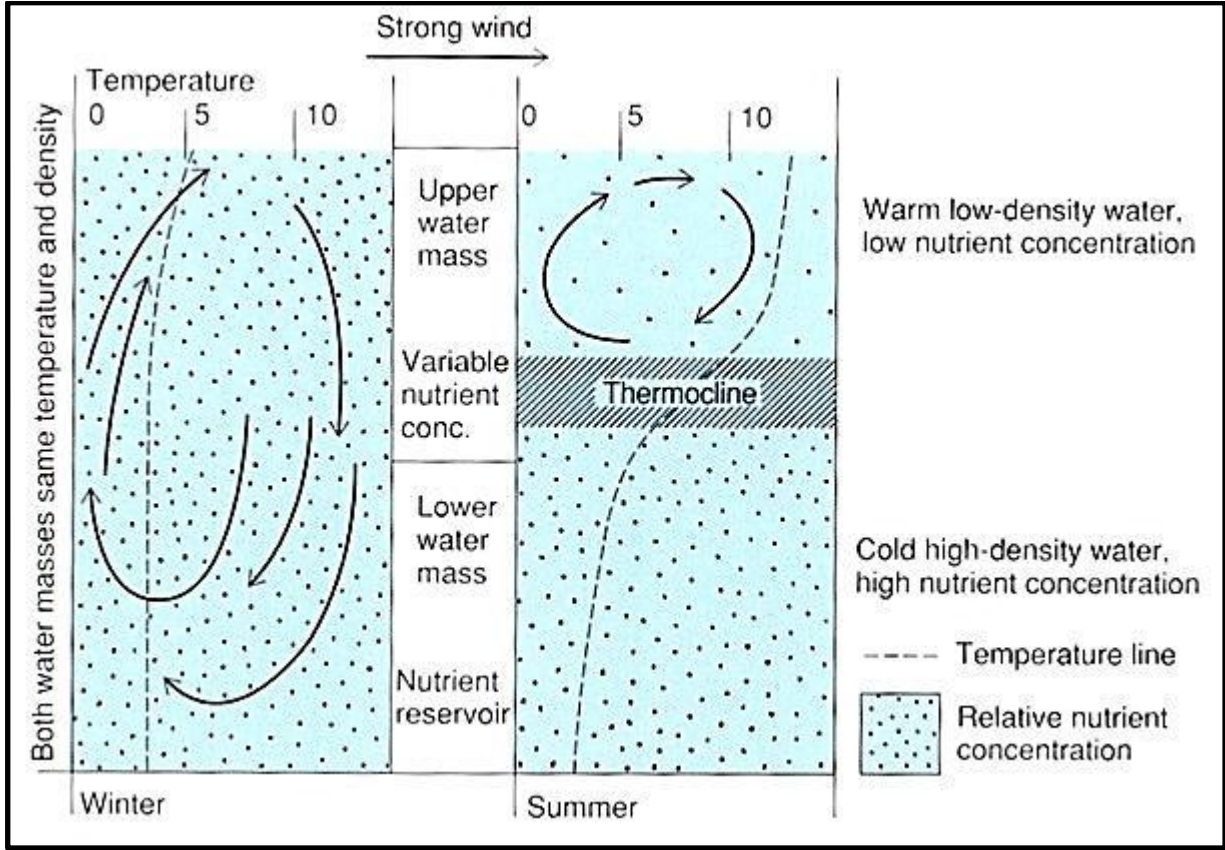
كما ان للحرارة تاثير على الصفات الفيزيائية للماء (كالكثافة واللزوجة)، فمثلا ان زيادة درجة الحرارة للمسطحات المائية في المناطق المعتدلة ذات العمق الكافي (أكثر من 10 أمتار) تسبب بظاهرة التتضيد الحراري (التطبيق الحراري) Thermal stratification (شكل 6) والتي تتكون من الطبقات الحرارية في الصيف نتيجة تأثير حرارة الشمس على كثافة الماء . فعندما تسخن الطبقة العليا من المياه تقل كثافتها عن الطبقة السفلى الباردة . وتسمى الطبقة العليا epilimnion أما الطبقة السفلى فيطلق عليها hypolimnion . وتنفصل هاتان الطبقتان بواسطة طبقة وسطى تسمى metalimnion او طبقة الانحدار الحراري Thermocline وهذه الطبقة سمكها لا يزيد على عدة

امتار وفيها يحدث تغير حاد في درجة الحرارة من الدافئة في الاعلى الى الباردة في الاسفل يدعى بالانحدار الحراري (شكل 6 أ ، ب).

تتميز الطبقة العليا epilimnion (المياه السطحية) بارتفاع درجة حرارتها لتكون دافئة ومنتظمة، كما تسبب الرياح المعتدلة دوران المياه في هذه الطبقة، وتكون هي المنطقة المضيئة التي يصل إليها كمية وفيرة من الضوء للقيام بعملية التمثيل الضوئي، كما توجد فيها تراكيز عالية من الأوكسجين الذائب، ويتم تخليق المادة العضوية بواسطة الهائمات النباتية في هذه الطبقة.

أما في طبقة السفلى (المياه العميقة) hypolimnion فتكون درجة الحرارة منخفضة (باردة) ومنتظمة ، وفيها يحدث دوران للمياه أقل كثيرا مما يحدث في الطبقة العليا السطحية الدافئة، وتكون كمية الأوكسجين الذائب قليلة وقد تكون منعدمة (بسبب عدم وجود البناء الضوئي واستهلاك الأوكسجين نتيجة تنفس الاحياء وتحلل الاجسام الميتة للاحياء والفتات العضوي - المواد العضوية- المتساقط الى القاع) ويصل إلي هذه الطبقة قدر بسيط من الضوء وقد لا يصل إليها إطلاقاً . وتمثل هذه الطبقة بيئة فقيرة للنمو رغم توافر المواد الغذائية فيها.





شكل 6 ب: ظاهرة التنضيد الحراري وعملية خلط المياه في الشتاء والصيف

وعندما تموت الهائمات او انها تجبر على الغوص والنزول للأسفل بفعل الامواج والتيارات المائية فانها سوف تسقط إلى الطبقة السفلى hypolimnion ثم تتحلل ، والمواد المغذية الناتجة من التحلل تبقى في نفس الطبقة ولا يمكن الاستفادة منها في عملية البناء الضوئي التي تحدث في الطبقة العليا بسبب انفصال الطبقتين (التنضيد الحراري واختلاف الكثافة) وعدم وجود خلط للمياه بينهما.

ويحدث خلط للماء مرتين في العام في نهاية الصيف وخلال الشتاء -وتساعد الرياح القوية والعواصف في عملية الخلط - وينتهي التطابق الحراري حيث يصعد الماء الموجود في الطبقة السفلى والغني بالمواد المغذية إلى الأعلى ويهبط الماء البارد إلى الأسفل وفي هذا الوقت عادة يحدث الازدهار bloom للهائمات النباتية ثم يتبع ذلك نمو وتكاثر للهائمات الحيوانية ، كما يعاد توزيع الهائمات بشكل عام نتيجة التغير في تركيب وتركيز المواد المغذية عند السطح .

ان ظاهرة التنضيد الحراري وما يتبعها تحدث في المناطق المعتدلة فقط أما في المناطق القطبية فلا يوجد فيها تنضيد حراري، اما إنتاجية الهائمات النباتية في المناطق القطبية فانها تزداد في فصل الصيف عندما يكون الضوء بشدة كافية لذلك، أما المناطق الاستوائية فتكون ظاهرة التنضيد الحراري فيها مستمرة طول العام.

ومن جهة اخرى، ان ارتفاع حرارة المياه سيؤثر على كثافة المياه اذ ان العلاقة بينهما عكسية (شكل 6)، فكلما ارتفعت حرارة المياه قلة كثافتها وذلك سيؤدي الى صعوبة في عملية طفو الهائمات، اذ ان احد اساسيات الطفو ان تكون الخلايا ذات كثافة اقل من كثافة الماء، وهنا يجب على الهائمات تعديل كثافتها بحيث تتناسب مع كثافة الماء المتغيرة بفعل الحرارة او ان على الهائمات ان تبذل جهد اكبر بواسطة اسواطها او اهدابها للبقاء طافية ضمن عمود الماء.

كما ان ارتفاع درجات الحرارة في طبقة المياه العليا سيؤدي الى زيادة معدلات التبخر فيها وبالتالي زيادة ملوحة المياه فيها مما يسبب هجرة بعض الانواع واختفاء انواع اخرى وظهور انواع تفضل تراكيز متوسطة او عالية من الملوحة، بينما تبقى مستويات الملوحة ثابتة تقريبا في الطبقة السفلى وهي اقل من مستوياتها عند السطح، وبذلك تكون لدينا طبقتين مختلفتين في التركيز الملحي، وتسمى هذه الحالة بالتنضيد الملحي. ومن الواضح ان ظاهرة التنضيد الملحي لديها ارتباط قوي مع ظاهرة التنضيد الحراري (شكل 6).

ومن التأثيرات الاخرى للحرارة هي تأثيرها على التفاعلات الكيميائية والتي قد تؤثر على الاس الهيدروجيني للماء وبذلك تؤثر على نمو او تواجد الهائمات، فارتفاع درجة حرارة الماء يؤدي الى زياده تبخر الغازات من الماء خصوصا الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون، اذ يكون لثنائي اوكسيد الكربون ارتباط مهم مع الاس الهيدروجيني للماء. ان انواع الهائمات تختلف في تفضيلها للاس الهيدروجيني، فمنها تفضل القاعدي او الحامضي او المتعادل.

2- الضوء Light :

يعد الضوء عاملاً بيئياً مهماً في البيئة المائية، وترتبط قدرته على اختراق المياه مع عوامل عديدة مثل : اللون ودرجة العكورة ووفرة المادة العضوية، ووجود الثلج او الجليد، كذلك يؤثر موقع الشمس من خط العرض والفصل السنوي، والحالة المناخية، والوقت من اليوم (موقع الشمس خلال اليوم) ، فمثلاً، تبلغ الشدة الضوئية 1% مما على السطح في البحار الشمالية على عمق 20 متر، وتصل الى 7.5% في البحر المتوسط على العمق نفسها.

تلعب الإضاءة دوراً مهماً في حياة الهائمات بصورة عامة وللهائمات النباتية بصورة خاصة لكونها ذاتية التغذية وتحتاج الضوء لاتمام تفاعلات عملية البناء الضوئي . وتسمى الطبقة العليا من الماء وتسمى الطبقة العليا من الماء والتي يوجد بها اختراق كافي للضوء بالمنطقة المضئية Photic zone وفيها يكون معدل البناء الضوئي اعلى من معدل التنفس خلال فتره الـ 24 ساعة . وتليها منطقة يصل إليها قدر محدد من الضوء تدعى عمق التعويض Compensation depth وهو العمق الذي يوفر انتاج اولي مساوي لمعدل التنفس وتكون شدة الاضاءة فيه 1% فقط من شدة الضوء عند سطح المياه. وبعبارة اخرى (في هذا العمق يتساوى معدل البناء الضوئي مع معدل التنفس خلال

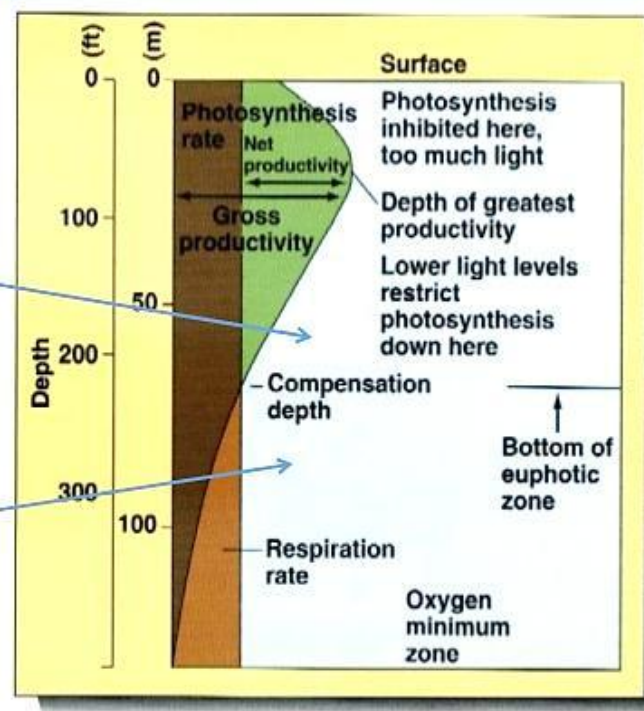
الـ 24 ساعة) (شكل 7)، وتليها منطقة لا يصل إليها الضوء وتسمى المنطقة الداخلية ويصلها الكائنات القابلة للغوص فتسمى بالمنطقة المظلمة Aphotic zone .

ويكون عمق التعويض Compensation depth كبيراً في بعض الأجزاء من المحيطات - المياه البحرية المفتوحة- خصوصاً المياه البحرية الاستوائية النظيفة والصالفة والتي يصل فيها عمق التعويض الى 120 متراً، بينما يكون عمق التعويض قليلاً في السواحل البحرية وبيئة المياه الجارية (كالانهار) بسبب زيادة العكوره بفعل جريان الماء والامواج، اذ يصل عمق التعويض في السواحل البحرية الى حوالي 2.5 متر قرب الشواطئ . أما في المياه العذبة وبيئة المياه الجارية (كالانهار) فيكون على عمق حوالي 5 متر .

ويفقد حوالي 25% من ضوء الشمس في المياه المتلاطمة ، نتيجة الانعكاس ويقل الفقد في المياه الهادئة . وتستطيع الكلوروفيلات امتصاص الضوء الأحمر والأزرق في الطبقات العليا للمياه . وعندما يفقد الضوء الأحمر في الأمتار العشرة العليا تستمر الكلوروفيلات في عملها بامتصاص الضوء الأزرق حتى عمق 50 متر . أما الكاروتينات فيمكنها امتصاص الضوء على عمق أكثر من 50 متر . وتؤدي الإضاءة الشديدة على سطح الماء في بعض الحالات إلى قتل الهائمات النباتية او الاضرار بصبغات البناء الضوئي وهذا يستلزم أن تحمي هذه الكائنات نفسها بتغيير مكانها او بإنتاج صبغات إضافية أو بتغيير نفاذية جدار الخلية .

Compensation Depth

- Depth at which rate of **photosynthesis** = rate of **respiration**
- **Above** that depth phytoplankton make enough food
- **Below** that depth phytoplankton starve



شكل 7: عمق التعويض Compensation depth

3- العكورة

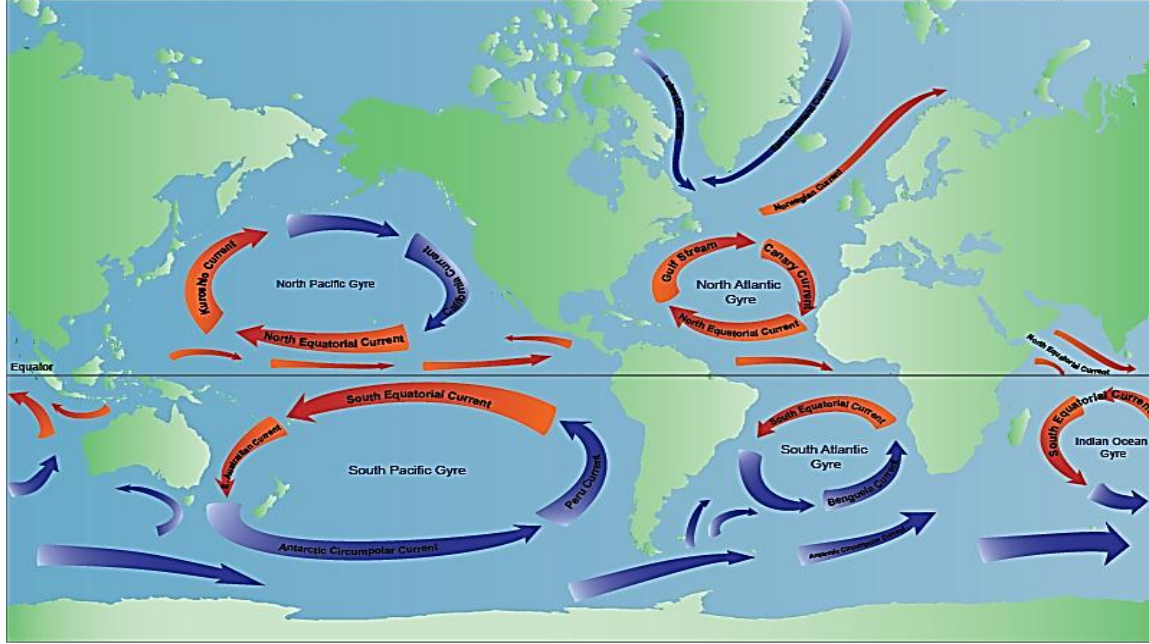
هناك عدة أسباب تؤدي الى تكوين العكورة او الكدرة في الماء منها المواد العالقة الصلبة مثل الطين والجرين ومنها المواد العضوية واللاعضوية الدقيقة والنباتات الطافية وأيضاً الهائمات والأحياء المجهرية الأخرى، وتعد العكورة من الخصائص الفيزيائية التي تتسبب في عدم نفاذ الضوء خلال عمود الماء مما يؤدي الى التأثير في عملية البناء الضوئي للهائمات النباتية (الطحالب) فضلاً عن العمليات الحيوية الأخرى. وبذلك فان للعكورة علاقة عكسية مع نمو وازدهار الهائمات النباتية. كما تتأثر الهائمات الحيوانية بشكل غير مباشر بالضوء من خلال استجابتها السلبية او الايجابية للضوء، فتقوم بالهجرة العمودية اليومية بين السطح والقاع لغرض الحصول على الغذاء. وتختلف المياه فيما بينها بالنسبة لشدة عكورتها فمنها الرائق جدا كمياه العيون والينابيع والابار وكثير من البحيرات والمحيطات في حين غالبية الانهار تكون عكرة جدا.

4- الامواج والتيارات المائية Waves and currents

ان لحركة الماء أهمية عظمى كعامل بيئي لا تقل عن أهمية كل من الحرارة والضوء على سبيل المثال. فبدون حركة الماء سوف تتأثر الحياة بشكل كبير. ولحركة الماء الدور المهم في مزج الكتل المائية بعضها مع البعض الآخر الامر الذي ينتج عنه مزج غاز الأوكسجين الذي يذوب في الطبقات العليا ويبقى في المياه السطحية لفترة طويلة في حالة توقف حركة الماء. كما أن الفعاليات الحيوية والتغذية ودورات الحياة لكثير من الأحياء المائية وتحلل المواد العضوية وتفسخها تتأثر كثيراً بهذه الحركة، فالتذبذب في سرعة التيار قد يقع تحت تأثير عوامل عديدة منها المناخ و الانحدار و الطبيعة الجيولوجية للمسطحات المائية.

توجد حركتين مهمتين للمياه وهما الامواج والتيارات المائية. فالامواج ناتجة من حركة الرياح وتأثيرها على سطح الماء، وكلما كانت الرياح سريعة وقوية كلما كان تأثيرها اكبر على المياه مسببة حدوث امواج كبيرة تسبب الخلط لطبقات المسطح المائي مما ينتج عنه رفع المغذيات من القاع الى كل عمود الماء وصولاً للسطح وازدحامها الى اذابة كميات اكبر من الغازات وخصوصاً الاوكسجين، وهذا سيؤدي بطبيعة الحال الى نتائج ايجابية تتمثل بدعم نمو الهائمات النباتية والحيوانية لتوفر المغذيات والاكسجين، ولكن هناك نتائج سلبية تتمثل في القضاء على بعض الهائمات بسبب تغير مكان نموها المفضل.

التيارات المائية عامل طبيعي هام له دور في انتشار الهائمات من مكان لآخر أفقياً أو عند مستويات عمودية مختلفة، أما إذا كانت التيارات هابطة فأنها قد تذهب بالعديد من الهائمات من الطبقات السطحية المضيئة إلى الطبقات المظلمة فيقضي عليها أو قد تصادفها في الطبقات العميقة تيارات أفقية أخرى فتأخذ هذه العوالق معها إلى مناطق أخرى فتصعد إلى السطح مع التيارات الصاعدة فتزدهر إذا كانت الظروف البيئية ملائمة لنموها (شكل 8).



شكل 8: التيارات المائية البحرية على النطاق العالمي

ب-العوامل الكيميائية Chemical Factors

1- المغذيات Nutrients :

تعد المغذيات (المواد الغذائية او المغذية) الموجودة في البيئات المائية من العوامل المهمة التي تؤثر على نمو الهائمات النباتية . ومن الواضح أن غياب احد العناصر الأساسية أو وجوده بتركيزات منخفضة يؤدي إلى نقص النمو . ولذلك تبذل الجهود لمعرفة المواد المغذية التي يتحتم وجودها لإحداث أقصى نمو للهائمات النباتية وكذلك تحديد أكثر هذه المواد تأثيراً على النمو . ومن العناصر المحددة لنمو للهائمات النباتية في المياه العذبة CO_2 ; Fe ; S ; P ; Mg ; Mn ; Si ; Zn بينما في المياه المالحة يكون N ; P ; Si هي العناصر المحددة للنمو .

وعموماً فان اهم العناصر الغذائية الرئيسية بالنسبة للهائمات هي النيتروجين والفوسفات (PO_4) [النيتروجين يكون بعدة صور كيميائية وهي الأمونيوم (NH_4)، والنترت (NO_2)، و نترات (NO_3)].

تستطيع معظم الهائمات النباتية استخدام النترات والنترت والامونيا كمصادر نيتروجينية ، بالرغم من أن بعض الطحالب السوطية لا يمكنها النمو على النترات او النترت، ولا يكون النترت موجوداً بوفرة في المياه الطبيعية مثل الأنواع الاخرى من المصادر النيتروجينية وتستطيع الطحالب الزرقاء المخضرة المثبتة للنيتروجين استخدام غاز النيتروجين الموجود في الماء وتحويله الى المركبات النيتروجينية بفضل امتلاكها للحويصلات المغايرة Heterocyst.

يوجد **الفوسفور** في البيئات المائية الطبيعية في صورته غير عضوية ويعتبر الاورثوفوسفات orthophosphate هو المصدر الرئيسي الوحيد للفوسفور الغير عضوي للطحالب بالرغم من أن معظمها يمكنها الحصول على الفسفور من المركبات الفسفورية العضوية المختلفة . ويبدو أن خلايا الهائمات النباتية تخزن الفوسفات الزائد عن حاجتها وذلك لاستخدامه عندما يقل التركيز في البيئة المحيطة ، وهذا المخزون يمكن الخلايا من مواصلة النمو لبعض الوقت عند نقص الغذاء في الماء بدرجة كبيرة. كما تمثل النواتج الإخراجية للهائمات الحيوانية مصدر مهما للفوسفور في الماء وقد اثبت بعض العلماء أن تركيز الفوسفات والنيروجين في البيئات المائية يكون مرتفعاً إثناء الشتاء ثم ينقص بدرجة ملحوظة بعد الازدهار الطحلبي في الربيع.

تحتاج الدياتومات **للسيلكون** في صورة ذائبة لبناء جدرها الخلوية المكونة من السيليكا ، كذلك تستخدمه بعض السوطيات من أفراد Chrysophyta لتكوين بعض الحراشيف او تشكيل هيكلها النجمي الشكل المكون من السيليكا. وقد وجد أن محتوى البيئات المائية من السيليكا يكون منخفضاً عند حدوث أقصى معدل لنمو الدياتومات الهائمة في المياه العذبة يتراوح بين 26 – 63% من الوزن الجاف للطحلب وتعتمد هذه النسبة على النوع . ويستطيع طحلب *Skeletonema* التكيف والنمو في البيئات المائية الملحية عندما يكون تركيز السيليكون منخفضاً بدرجة كبيرة ولكن جدره السيليكية تكون رقيقة نسبياً .

2- الملوحة Salinity

يقصد بملوحة المياه هو مجموع تراكيز الأملاح غير العضوية Inorganic salts بالمليغرام في لتر واحد من الماء . اذ تتراوح ملوحة المياه العذبة بين 0-0.5 جزء بالالف، اما المياه المملحة فتكون بحدود 0.5-30 جزء بالالف، والمياه المالحة 30-50 جزء بالالف. تؤثر الأملاح غير العضوية المذابة في المياه العذبة أو المالحة على نمو الهائمات النباتية . ويكون تأثير هذه الأملاح ناتجا عن تركيبها الكيميائي او ناتجا عن نشاطها الازموزي . وتكون الكاتيونات Cations والايونات anions الهامة (مثل الكاربونات والبيكاربونات وايونات المغنيسيوم والكالسيوم) متوفرة بتركيزات عالية في الماء بحيث لا تحد من نمو الهائمات النباتية مثلما يحدث مع العناصر الأساسية (N ; P ; Si) الا في بعض البيئات المائية الفقيرة لهذه الايونات فيكون ذلك مؤثرا على نمو الهائمات.

كما ان ارتفاع درجات الحرارة في طبقة المياه العليا سيؤدي الى زيادة معدلات التبخر فيها وبالتالي زيادة ملوحة المياه لطبقة epilimnion مما يسبب هجرة بعض الانواع واختفاء اخرى وظهور انواع تفضل تراكيز متوسطة او عالية من الملوحة، بينما تبقى مستويات الملوحة ثابتة تقريبا في الطبقة السفلى وهي اقل من مستوياتها عند السطح، وبذلك تكون لدينا طبقتين مختلفتين في التركيز الملحي، وتسمى هذه الحالة بالتنضيد الملحي.

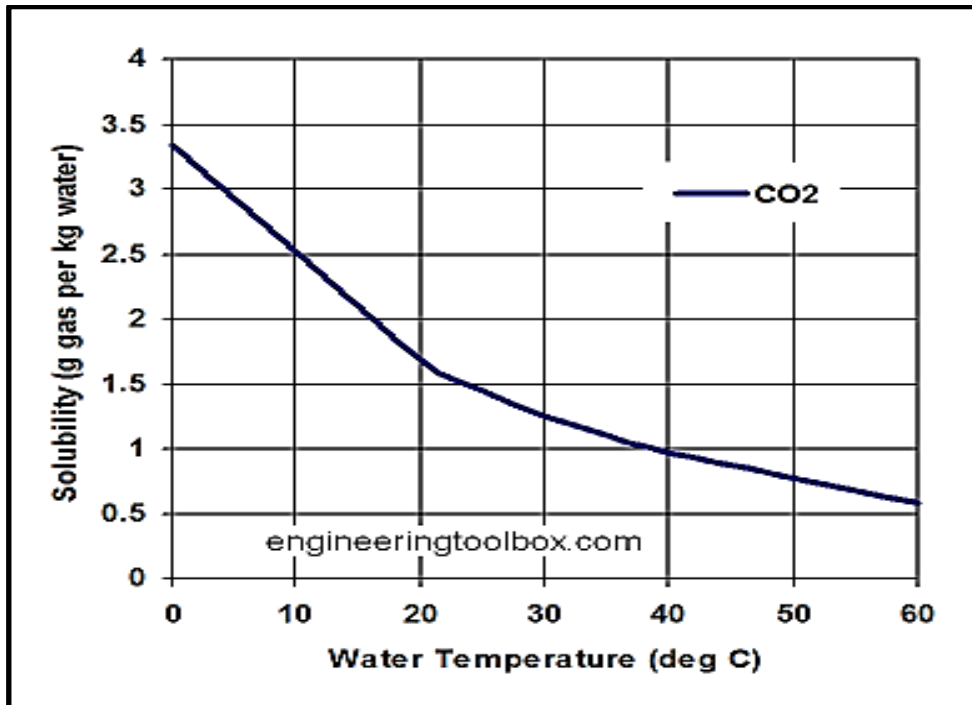
ويؤثر النشاط الازموزي للمواد المذابة في الماء تأثيرا كبيرا على نمو وتوزيع الهائمات. وبعض أنواع الهائمات الموجودة في مصبات الأنهار يمكنها النمو جيدا في درجات ملوحة تتفاوت بين ملوحة منخفضة (الماء العذب > 0.5 جزء بالالف) وملوحة مياه البحار (35 جزء بالالف) او أكثر ، بينما

توجد أنواع أقل مقاومة للملوحة وتحتاج إلى مياه قليلة الملوحة (4-20 جزء بالالف) وقد أوضحت بعض الدراسات أن للهائمات النباتية التي تنمو قرب الشواطئ نسبة ملوحتها مثالية للنمو أقل من ملوحة ماء البحر ، وهذه النسبة تتراوح بين 20 - 25 % .

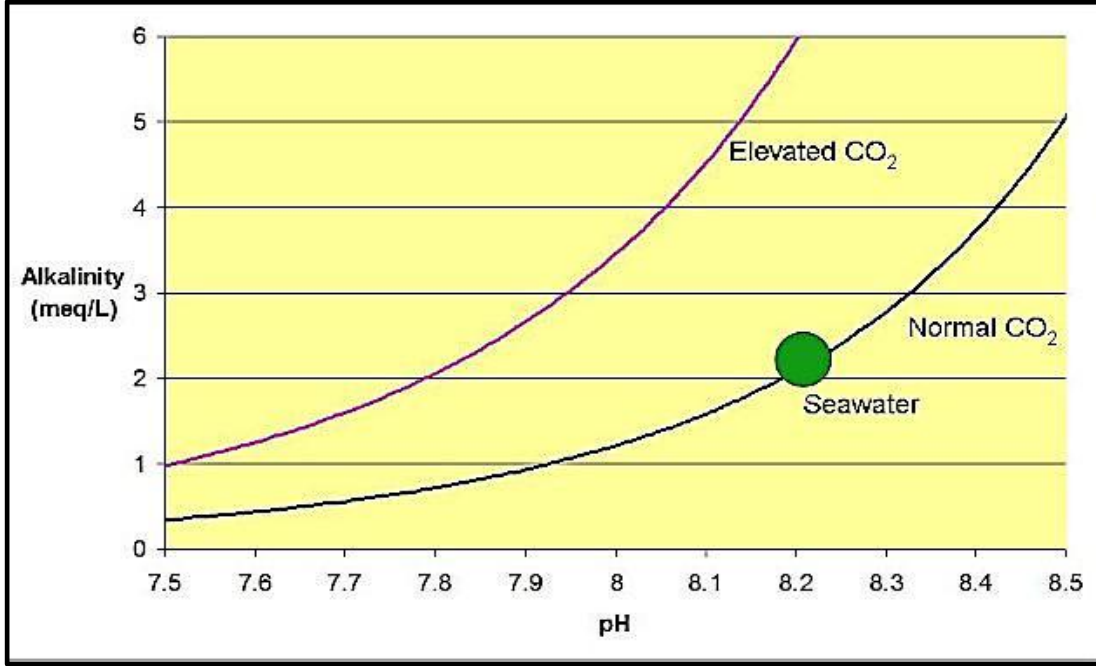
3- الأس الهيدروجيني pH

يعد الأس الهيدروجيني pH احد العوامل المهمة المؤثرة على الهائمات إذ أن الظروف الحامضية أو القاعدية قد تؤدي إلى تحلل بعض مركبات الخلايا أو تحطم بعض الأنزيمات أو تآثر على تواجد المغذيات بصورتها المفضلة للهائمات أو قد تؤدي إلى عملية اخذ المغذيات نفاذاً إلى داخل الخلايا. وتتأثر قاعدية الماء بعوامل مختلفة أهمها تركيز ثاني أكسيد الكربون (شكل 10). حيث تعزى الزيادة في الـ pH بسبب بعض الفضلات التي ترمى في المياه و احتواء هذه الفضلات على $CaCO_3$ و $NaOH$ ، كذلك زيادة الأوكسجين المذاب وكثافة الهائمات النباتية والنباتات المائية . وكما سبق، فإن للحرارة تأثيراتها على التفاعلات الكيميائية والتي قد تؤثر على الأس الهيدروجيني للماء وبذلك تؤثر على نمو أو تواجد الهائمات، فارتفاع درجة حرارة الماء يؤدي إلى زياده تبخر الغازات من الماء خصوصا الأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون(شكل 9). ان انواع الهائمات تختلف في تفضيلها للأس الهيدروجيني، فمنها تفضل القاعدي او الحامضي او المتعادل.

تؤثر قيمة الأس الهيدروجيني في سمية بعض العناصر النادرة تجاه الأحياء المختلفة ومنها الهائمات، إذ وجد ان هنالك علاقة عكسية بين قيمة الأس الهيدروجيني وسمية عناصر النحاس والرصاص والكاديوم تجاه الأحياء المائية.



شكل 9: علاقة تركيز CO₂ مع درجة الحرارة في المياه.



شكل 10: علاقة تركيز CO₂ مع الاس الهيدروجيني والقاعدية في المياه.

