# جهاز الدوران
# circulatory system

من المعروف بأن هناك علاقة وثيقة بين جميع اجهزة الكائن الحي لأن وظيفة كل جهاز هي تكاملية مع بقية الاجهزة ، ومن أهم هذه العلاقات هي تلك الموجودة بين جهازي الدوران والتنفس في الاسماك وما تلعبه الخياشيم Gills والمثانة الهوائية من دور رئيسي في جهاز الدوران بالرغم من كونها أساسا أعضاء في الجهاز التنفسي. وبما أن الأسماك تعيش في الماء فهي تحتاج الى وفرة دائمة من الاوكسجين في محيطها كما هو الحال مع جميع الكائنات الحية الأخرى التي تعيش على اليابسة وحاجتها الى الهواء الطلق .

- **جهاز الدوران : circulatory system**

يتضمن مجموعة من الدورات الدموية التي تكون في الغالب بسيطة ، وكما هو معروف ان مركز العمل في هذا الجهاز هو القلب ( heart ) والاوعية الدموية والدم والذي هو القاسم المشترك لحركة القلب والاوعية الدموية.

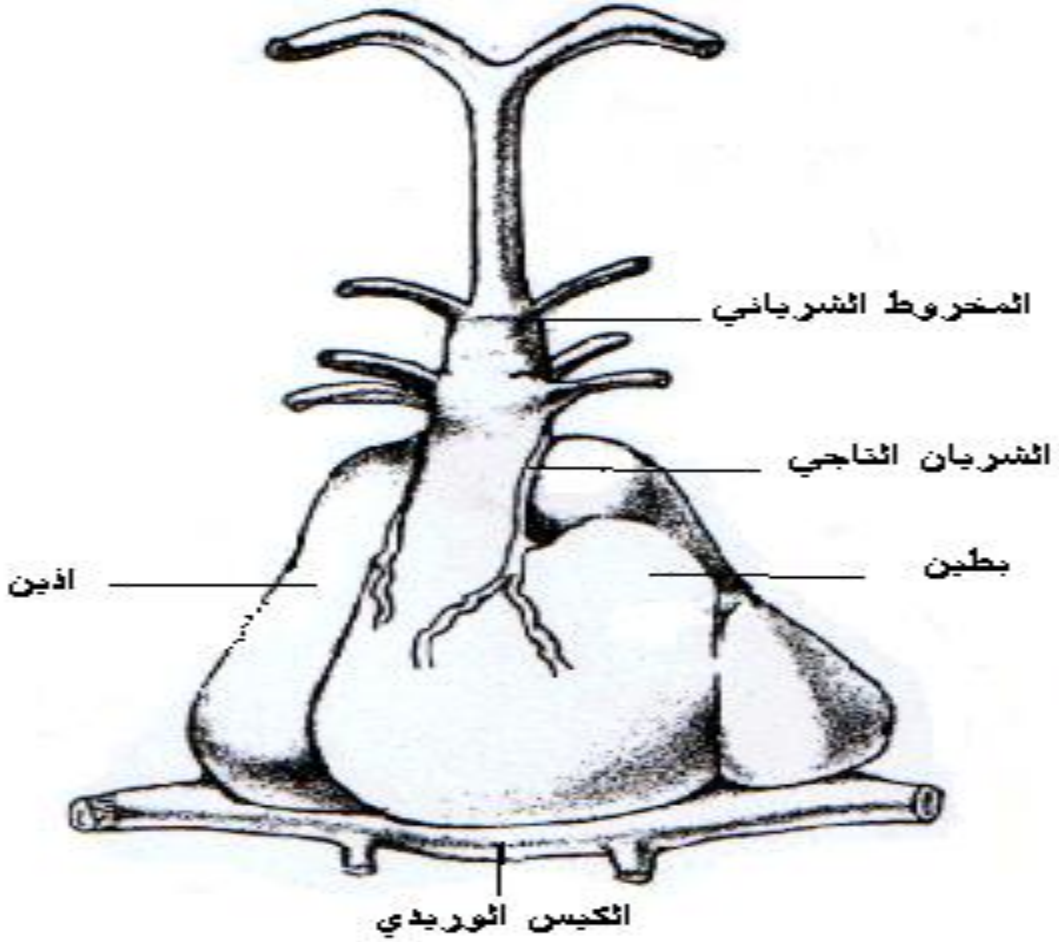
## القلب : Heart

القلب عبارة عن مضخة عضلية بسيطة التركيب ، ذات حجم صغير توجد في الفراغ التاموري( Pericardium ) الذي يوجد عادة تحت البلعوم وخلف الخياشيم مباشرة . يتألف القلب النموذجي في الاسماك من اربع ردهات متتالية في الاسماك الغضروفية ومن ثلاث ردهات في الاسماك العظمية . (في الاسماك الغضروفية) هي :

1. الكيس او المجمع الوريدي Sinus venosus : و يوجد عند الطرف الخلفي للقلب و هو ذو جدران رقيقة نسبيا .
2. الاذين Atrium : ويقع أمام الكيس الوريدي وهو ذو جدران أكثر سمكا من الكيس الوريدي .

3. البطين : Ventricle يقع اسفل الاذين مباشرة وله جدران سميكة .

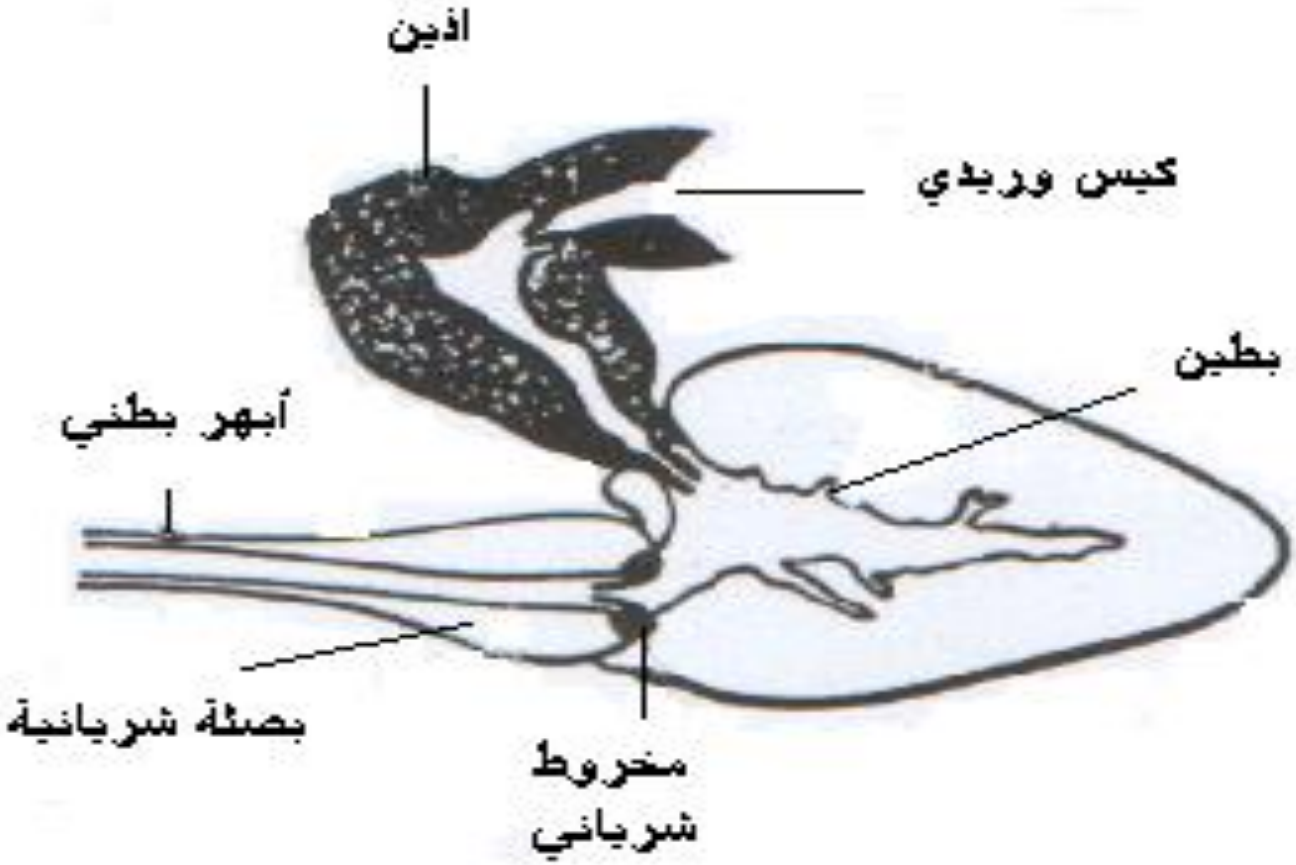
4. المخروط الشرياني : Conus arteriosus يقع امام البطين وهو عبارة عن كيس مخروطي طرفه العريض يتصل بالبطين خلفيا ويمتد أماميا حيث يضيق تدريجيا وهو ذو جدران سميكة ويحتوي على صمامات تتحكم بجريان واتجاه الدم ، ولا توجد هذه الردهة في الاسماك العظمية (شكل1)




(شكل 1) قلب احد الأسماك الغضروفية – سمك القرش

- في الاسماك العظمية يعوض عن المخروط الشرياني وذلك بأندماج يعرف بالبصيلة الشريانية ( Bulbus arteriosus ) وهي عبارة عن الامتداد الخلفي للابهر البطني عند اتصاله بالبطين ، تتكون جدران هذه البصيلة من عضلات غير مخططة ونسيج مرن وعليه فأنها غير قابلة للانقباض والانبساط عكس ما يجري في المخروط الشرياني الذي تحتوي جدرانه على عضلات قلبية مخططة تعمل على انقباض وانبساط هذا المخروط كبقية الحجرات الثلاث الباقية ، وعليه فهذه الردهة تكون الرابعة في قلب الاسماك الغضروفية في حين توجد البصيلة الشريانية ( التي لا تعتبر ردهة) في قلوب الاسماك العظمية.

- تتوسع البصيلة الشريانية عندما ينبض القلب فتصل الى حجم البطين حيث يمنع الدم في البطين من الرجوع الى الخلف بسبب الصمامات ، ولهذا تقوم جدران البصيلة المرنة بالسماح بضغط قوي للدم المتجه للخياشيم والذي يسمح بدوره بتدفق ثابت تقريبا مقارنة مع التدفق النبضي للمخروط الشرياني (شكل 2). ويقوم الجيب الوريدي بتجميع الدم من جميع انحاء الجسم المختلفة ويدفعة الى الاذين ومنة الى البطين الذي يدفع الدم عبر بصيلة الشريانية في اتجاة واحد الى الابهر البطني ومنة الى الاوعية الدموية الواردة للخياشيم حيت يتم اكسدتة ثم يخرج عن طريق الاوعية الدموية الصادرة في الخياشيم ليتم توزيعة على اجزاء الجسم المختلفة .




(شكل 2) تركيب القلب والاوعية الدموية في الاسماك العظمية

## الاوعية الدموية :

يخرج وعاء دموي من المخروط الشرياني يسمى الابهر البطني في قلب اسماك القرش (كلب البحر) ويمتد أماميا بين الأكياس الخيشومية (اليمنى واليسرى) ، ويخرج من الابهر البطني خمسة ازواج من الاوعية الخيشومية الواردة ، تتفرع داخل الصفائح الخيشومية الى الشعيرات الدموية التي تحمل الدم الوريدي لهذه الصفائح (شكل 3) . تتجمع هذه الشعيرات مكونة اوعية اخرى هي الاوعية الخيشومية الصادرة التي تحمل الدم الشرياني من الخياشيم وتكون على شكل حلقات تحيط بالفتحات الخيشومية الداخلية عدا الفتحة الخامسة التي لا توجد لها حلقة بل لها وعاء منفرد يمتد على سطحها الامامي .

يخرج من السطح الاعلى للاوعية الخيشومية الصادرة اوعية اخرى هي الاوعية فوق الخيشومية تمتد الى الخلف والى الداخل حيث تتجمع في وعاء كبير متوسط هو الابهر الظهري الذي يمتد الى الخلف تحت العمود الفقري مباشرة ويرسل اثناء امتداد الاوعية الدموية التي تحمل الدم الشرياني الى اجزاء الجسم كافة ، يمتد الابهر الظهري الى الخلف ليصل منطقة الذيل ويعرف في هذه المنطقة بالشريان الذيلي .

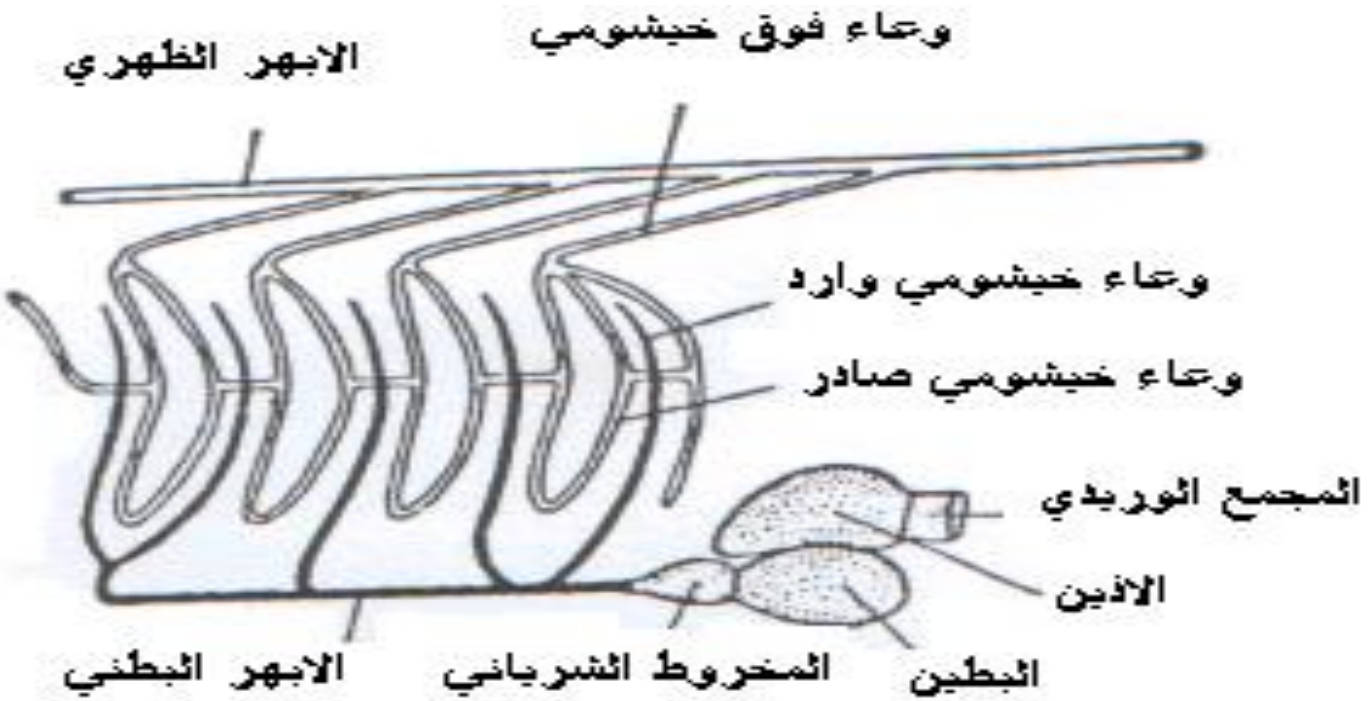
- يتجمع الدم الوريدي من الرأس في وريدين كبيرين هما : الوريدان الرئيسيان الاماميان ، كما يتجمع من الجذع في وريدين رئيسيين خلفيين . يتحد الوريد الرئيسي الامامي مع الوريد الرئيسي الخلفي التابع لكل جانب من جانبي الجسم في مستوى المجمع الوريدي ويتكون من اتحادهما وعاء عرضي قصير يسمى (قناة كوفييه)، وبهذا تحدث دورتان دمويتان بسيطتان هما :

- 1 – **الدورة الكلوية البابية :**

حيث يذهب الدم الراجع من الذيل في الوريد الذيلي الى الكليتين اولا خلال وريدين كلويين بابيين ينشآن من تفرع الوريد الذيلي ، وينقسم الوريد الكلوي البابي الى عدة فروع تحمل الدم الى الكلية المقابلة له ، ثم يتجمع الدم الخارج من الكليتين في الوريدين الرئيسيين الخلفيين .

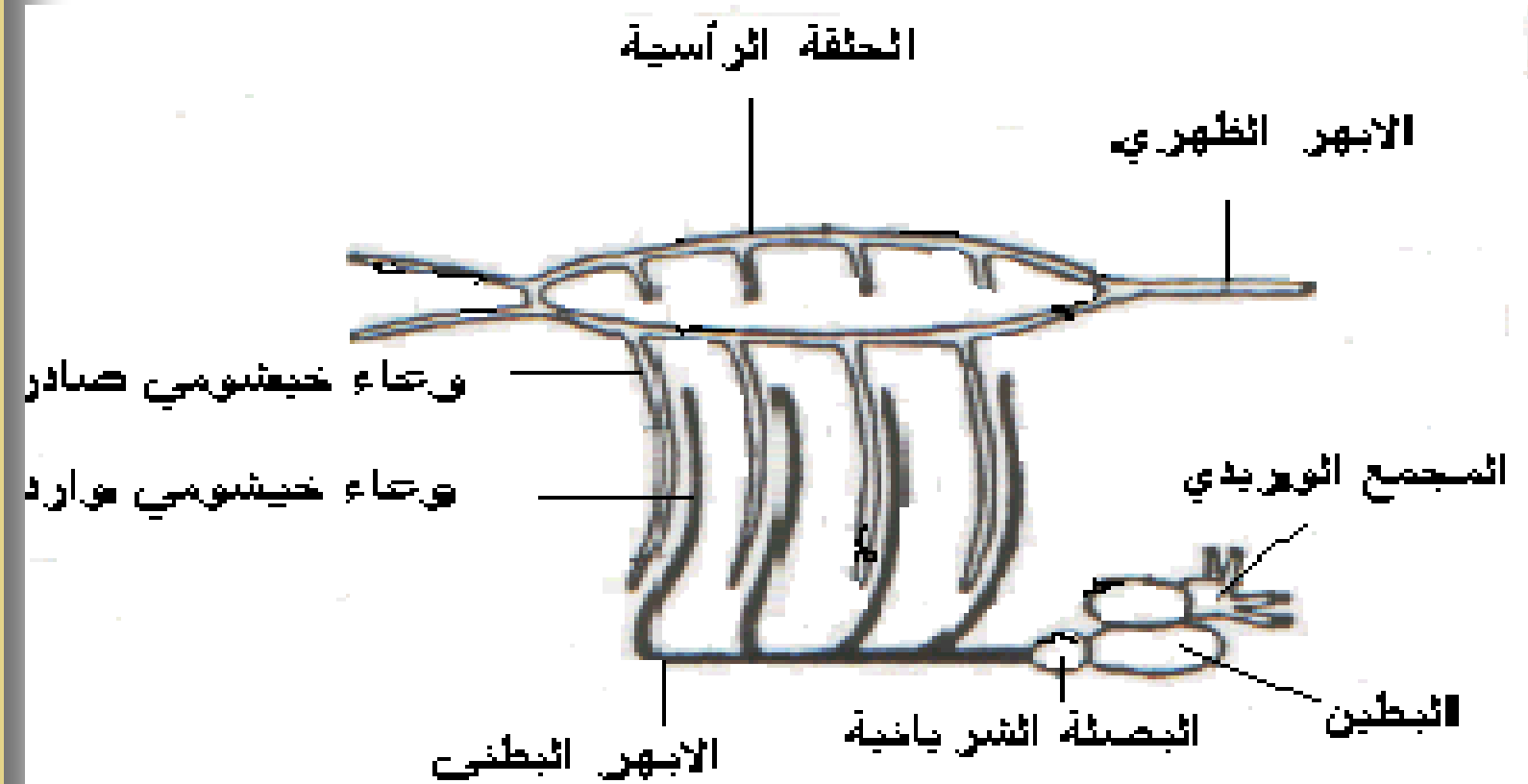
2 – **الدورة الكبدية البابية :**

يتم نقل الدم المتجمع في المعدة والامعاء والبنكرياس والطحال الى الكبد خلال وريد كبدي بابي ، ثم ينقل الدم بعد ذلك من الكبد خلال وريدين كبديين يصبان في المجمع الوريدي مباشرة .




(شكل 3) جهاز الدوران في الاسماك الغضروفية ( كلب البحر)

ان الدورة الدموية في الاسماك الغضروفية لا تختلف في جوهرها عن الدورة الدموية في الاسماك العظمية حيث يخرج الابهر البطني من البطين حيث يمتد الى الامام ويعطي اربعة ازواج من الاوعية الخيشومية الواردة ، تتفرع هذه الاوعية داخل الخياشيم الى الشعيرات الدموية التي تتجمع ثانية على شكل اوعية خيشومية صادرة ، وتصب جميع الأوعية الخيشومية الصادرة في وعاء دائري يوجد أعلى البلعوم يعرف بالحلقة الرأسية Circulus cephalicus (شكل 4)، ثم يخرج من الطرف الخلفي لهذه الحلقة الابهر الظهري الذي يمتد للخلف على طول الجسم حيث يقوم بتوزيع الدم الشرياني الى مختلف الاعضاء.




(شكل 4) الجهاز الدوري في الاسماك العظمية

## دم الاسماك : The blood of fishes

يعتبر حجم الدم في جسم الاسماك صغيرا جدا مقارنة بالفقاريات الاخرى ، و حركته بطيئة في الاوردة والشرايين ما عدا بعض الاسماك السابحة لمسافات طويلة مثل اسماك ابو سيف والتونة . يتراوح حجم الدم في الاسماك العظمية عادة بين حوالي 2–4 مل / 100 غم . إلا أن الدراسات الحديثة اكدت بأن حجم الدم في هذه الاسماك اقترب من الحجم في الأسماك الغضروفية حيث تراوح بين 5–7 مل / 100 غم.

- ويكون حجم الدم في اسماك التونة مرتفعا ويتراوح بين 8 مل / 100 غم في الاسماك ذات الوزن 9 كغم الى 13 مل في الأسماك التي تزن 4.5 كغم ، وهناك معلومات تشير بأنه بصغر حجم هذه الاسماك يزداد حجم الدم .كما تشير بعض الدراسات الى ان الاسماك العظمية الحديثة لها جهاز وعائي متكامل ولا تحتاج الى حجم كبير من الدم لنقل الأوكسجين والمواد الأخرى . في حين ان حجم الدم في اسماك الجلكي ( اللامبري ) يكون اكبر ويبلغ حوالي 8.5 مل / 100 غم واكثر من هذا الحجم في اسماك الجريث إذ يبلغ حوالي 17 مل / 100 غم .

جهاز الدوران يتضمن ايضا شبكة رقيقة من الانابيب تعرف بالجهاز اللمفاوي بالاضافة الى الاوعية الدموية ، تنتشر هذه الشبكة بالانسجة الضامة في اجزاء مختلفة من الجسم حيث يقوم هذا الجهاز بجمع بلازما الدم التي تترشح خلال الاوعية الدقيقة ، وتمتلك بعض الأسماك جيوبا لمفاوية عند مكان اتصال الاوعية اللمفاوية مع الاوردة . يقوم الدم بنقل العديد من المواد العضوية واللاعضوية مثل الفيتامينات والهرمونات وعدد من البروتينات الى خلايا الجسم والتي يكون تركيزها من 2–6 غم / 100 مل من بلازما الدم . تضم البروتينات هذه شكلين من الالفا جلوبيولين وشكلين من البيتا والغاما جلوبيولين ، وكذلك تحتوي على الالبومين والترانسفرين وغيرها

تستخدم هذه المواد في استجابات مناعة معينة وفي معادلة تغيرات الاس الهيدروجيني pH وتنظيم الضغط الازموزي المهم لحركة الماء خلال جدران الاوعية الشعرية. ويقوم جهاز الدوران اثناء الدورة الدموية بنقل الغازات بين الاعضاء المختلفة بالاضافة الى نقل سكر كلوكوز الى الانسجة المتخلفة كما يقوم جهاز الدوران بنقل المواد المهضومة من القناة الهضمية الى الكبد ثم الى اجزاء الجسم المختلفة وعن طريقة ايضا يتم نقل الكرات الدموية الحمراء من مكان تكوينها في الكلية الى اجزاء الجسم المختلفة ، كما يقوم بنقل المواد الغريبة الى الكليتين حيث يتم افرازها .

تمثل خلايا الدم بنوعيها كرات الدم الحمراء Red (RBC)Erythrocytes blood cells وكرات الدم البيضاء White (WBC)Leucocytes blood cells حوالي نصف حجم الدم ويمثل البلازما النصف الاخر، تتكون خلايا الدم في النسيج المكون للدم Hematopoietic tissus الموجود بالكليتين ، تكون كرات الدم الحمراء معظم الخلايا الدموية وتتميز بامتلاكها النواة وتمتد فترة حياتها الى حوالي 18 شهرا ومن المعروف ان الكرات الحمراء الخاصة بالثديات لاتمتلك انوية وتمتد فترة حياتها ثلاثة اشهر فقط، لون الكريات الحمراء أحمر بسبب الهيموجلوبين الذي يتكون من بروتين الجلوبين عديم اللون و صبغة الهيم الحمراء المصفرة والتي تحتوي على الحديد .

- تتكون جزيئة الهيموجلوبين في الاسماك الغضروفية والعظمية من اربع سلاسل معقدة ذات وزن جزيئي يبلغ حوالي 70– 61 كيلو دالتون. يقوم الهيموجلوبين بنقل الاوكسجين وذلك بالاتحاد مع الحديدوز الموجود في صبغة الهيم، وهذا الاتحاد يكون عكسيا اعتمادا على الضغط الجزئي Partial pressure للاوكسجين . توجد انواع قليلة تفتقر الى الهيموجلوبين ومثالها بعض اسماك الجليد في القطب الجنوبي ويرقات الانقليس رقيقة الرأس ذات الدم عديم اللون .

كريات الدم الحمراء في الاسماك عادة تكون بيضوية الشكل وفي عدد محدود من الاسماك تكون ذات شكل دائري تقريبا مثل اسماك الجلكي ، اما الاسماك الغضروفية تكون فيها الكريات الحمراء كبيرة الحجم ، اما في الاسماك العظمية فتكون صغيرة الحجم وتكون اكبر في الاسماك الرئوية . ان نسبة الدم المكون من خلايا حمراء (نسبة الخلايا المضغوطة) تدعى بـ "مكداس الدم" hematocrit، وهذه النسبة مرتبطة مع عدد الكريات الحمراء ، وتكون هذه النسبة اقل من 25% في الاسماك الغضروفية بينما تتراوح النسبة في معظم الاسماك العظمية بين % 20 – 30 مع وجود نسب تصل الى حوالي 42% في بعض الانواع البحرية مثل اسماك البوري *Mugil cephalus* والتونة زرقاء الزعنفة.

يتراوح تركيز الهيموجلوبين في دم الاسماك والمعبر عنه بالغرام لكل 100 مل بين 7 – 10 عادة ويمكن ان تتغير الكريات الحمراء وبالتالي مكداس الدم و تركيز الهيموجلوبين مع الموسم ودرجة الحرارة وحالة الغذاء والصحة العامة للاسماك. ان كريات الدم البيضاء ليس بالكثيرة مثل الكريات الحمراء ، تضم الكريات البيضاء اربعة انواع هي :

- 1- الخلايا الحبيبية Granulocytes
- 2- الاقراص الدموية Thrombocytes
- 3- الخلايا اللمفية Lymphocytes
- 4- الخلايا وحيدة النواة Monocytes (وجودها غير اكيد في بعض الأسماك)

- اما تكوين خلايا الدم في الاسماك فيحدث في العديد من الاعضاء الداخلية ، وغالبا ما تتكون الكريات الحمراء في الكلية والطحال ، واكثر الاماكن اهمية هو رأس الكلية . تتكون الكريات البيضاء في الكلية ايضا في العديد من الاسماك العظمية ، كما يوجد عضو يدعى عضو " ليدج" في الاسماك الغضروفية هو الذي يقوم بهذه العملية حيث يرتبط بجدار القناة الهضمية وغالبا ما يوجد على امتداد المريء. وهناك أنسجة أخرى مماثلة تقوم بنفس العمل مثل المساريق ومحجر العين وانسجة الدماغ وقاعدة القحف ، وفي بعض الأنواع يقوم الطحال بتكوين الخلايا الحمراء .

- تعمل الأقراص الدموية على تخثر الدم ، فهي تحمل مادة كيميائية تقوم بتحويل البروثرومبين الى ثرومبين ، وهذه الاقراص اكثر عددا من بقية الكريات البيضاء في العديد من الاسماك البحرية ، اذ تؤلف حوالي نصف العدد الكلي . تضم الكريات الحبيبية ثلاثة انواع من الخلايا تسمى حسب خصائصها الصبغية وهي : المتعادلة والحامضية والقاعدية والاخيرة نادرا ما توجد في الاسماك عدا بعض الانواع البحرية . الخلايا الحامضية هي الاخرى غير موجودة دائما ولكن المتعادلة شائعة في اغلب الانواع . إن الخلايا الحبيبية هي التهامية ، اذ تشترك في التصدي للامراض وقد يزداد عددها عندما تصاب الاسماك بالبكتريا .

- تضم الخلايا اللمفية الخلايا الملتهمة الكبيرة وخلايا بلازمية وخلايا لمفية صغيرة قد تكون نشطة في انتاج البروتين. ويمكن ان تؤلف الخلايا اللمفية اكثر من 90% من الكريات البيضاء في اسماك الكارب والسلمون المرقط . تشمل سعة الأوكسجين في دم الاسماك على الاوكسجين الذائب فضلا عن ذلك المتحد مع الهيموجلوبين في الكريات الحمراء ، هذا وقد وجد ان سعة الاوكسجين في دم سمكة جليد القطب الجنوبي جنس Chaenocephalus وهو خالي من الهيموجلوبين تتراوح بين 1.08 – 0.45 مل / 100 غم، بينما تتراوح السعة في معظم الاسماك العظمية من 12 – 8 حجم في المائة .

- للاسماك النشطة جدا كالأسماك الزرقاء والأسماك المتكيفة للمياه قليلة الاوكسجين سعة اوكسجين تصل الى 20 حجم بالمائة ، وسعة الأوكسجين المحمول بالدم في اسماك القرش والقوابع تكون عادة اقل مما في الاسماك العظمية وهي تتراوح بين 3.5 – 6 حجم بالمائة .

اما العوامل التي يعتمد عليها المحتوى الحقيقي للدم من الأوكسجين فهي تشمل : الضغط الجزئي للاوكسجين في المحيط والضغط الجزئي لثاني اوكسيد الكربون والاس الهيدروجيني ودرجة الحرارة فضلا عن نشاط الاسماك ، ويكون الدم في الابهر الظهري مشبعا بالاوكسجين بنسبة 85% – 90 عادة ، بينما يكون الدم الوريدي مشبعا بدرجة 30% – 60 ، وقد لوحظ في سمك السلمون المرقط المعرض لتمرين مجهد أن الدم عند عودته الى القلب لا يحمل اوكسيجينا .

يكتسب تداخل العلاقات بين ثاني اوكسيد الكربون والاس الهيدروجيني وانجذاب الاوكسجين للدم اهمية خاصة ، وإحدى هذه العلاقات هي التي تدعى " تأثير بور Bohr effect، وتنص هذه العلاقة على انه " في الاس الهيدروجيني الواطيء تقل الفة الاوكسجين للهيموجلوبين وذلك بسبب تغير ترتيب جزيئة الهيموجلوبين نتيجة لزيادة تركيز آيون الهيدروجين .و يكون هذا التأثير بارزا في الأسماك المتأقلمة للبيئات ذات المحتوى العالي من الاوكسجين والمنخفض من ثاني اوكسيد الكربون.والفائدة الواضحة التي تكسبها هذه الانواع هي : بوجود ضغط جزئي واطيء لثاني اوكسيد الكربون في الخياشيم يمكن للدم ان يحمل الاوكسجين بسهولة ، وفي الانسجة وعند ضغط جزئي عال لثاني اوكسيد الكربون يستطيع التحرر بغض النظر عن ضغطه الجزئي.