

9. BOŞALTIM SİSTEMİ

Omurgalılarda böbreğin fonksiyonu gonadlardan farklı olmasına karşın bu iki organın kanalları gerek gelişimleri gerekse fonksiyonları bakımından birbirleriyle yakın ilişkilidirler ve ne boşaltım sistemi ne de üreme sistemi bir diğeri ile ilişkilendirilmeden incelenemez. Bu bakımdan çoğu kez her iki sistem birlikte ürogenital veya ürinogenital sistem olarak tartışılır. Ancak her iki sistemin de kendine özgü yapıları ve görevleri olması ve tanımlarda pratik kolaylık sağlanabilmesi için ayrı ayrı incelenenlerdir.

Su ve tuz bileşenlerinin kontrolü, metabolizma artıklarının atılması, boşaltım organlarının görevlerindendir. Metabolizmanın son ürünleri **CO₂, amonyak, üre, ürik asit, keratin, pigmentler ve inorganik tuzlar**'dır. CO₂'in atılması solunum sistemi ile gerçekleştirilir. Diğer artık maddeler ise suda erimiş halde bulunduklarından **idrar** olarak adlandırılırlar ve boşaltım ve idrar organları ile dışarı atılırlar.

Boşaltım organları, boşaltım kanallarının distal açıklıklarının yakınında yer alan birkaç yapı dışında embriyonik mezoderm'den oluşurlar.

Böbreğin Yapısı

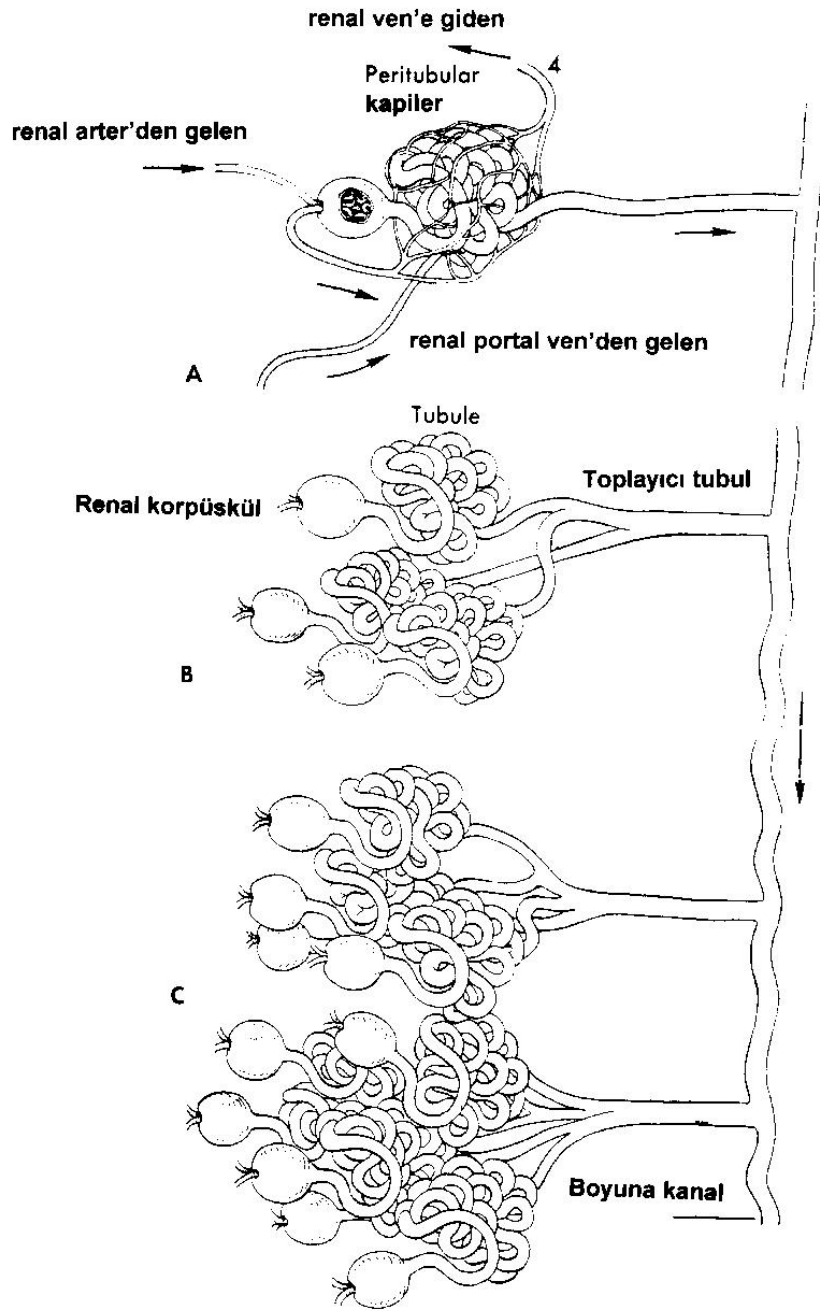
Tipik omurgalı böbreğinin fonksiyonel birimi iki kısımdan oluşur:

1. Renal veya Malpigi korpüskülü (Renal veya malpigi cisimciği), 2. Nefrik veya urinifer tubülü (Şekil 9 - 1).

Malpigi Cisimciği: Glomerulus ve Bowman kapsülü'nden ibarettir.

Glomerulus: Kan kapiler yumağıdır. Kan basıncı aracılığıyla suyu, tuzları ve bazı diğer maddeleri kanın dışına süzer. Bazı türlerde glomeruluslar çıplak gözle veya bir el lupa ile görülebilecek kadar büyüktürler. Bazılarında ise mikroskobiktirler. Glomeruluslar kan damarlarının modifikasyonları olarak belirirler ve dorsal aortanın segmental dallarından oluşurlar. Glomerulusu bu anlamda afferent glomerular arteriol meydana getirir ve glomerulustan da efferent glomerular arteriol olarak çıkar. Efferent glomerular arteriol, böbrek tubüllerini çevreleyen kapiler yataklarına açılır. Tubüllerin çevresindeki kapiler yataklar renal vene giden venülleri oluştururlar.

Önde yer alan embriyonik veya larval glomeruluslar sölom içinde asılı halde durur ve **eksternal glomerulus**'lar olarak adlandırılırlar (Şekil 9 - 2). Bowman kapsülü ile çevrili olmadıkları için **internal glomerulus**'lardan ayrılırlar.



Şekil 9 - 1. Omurgalı böbreğinin temel planı, şematik. **A**, Malpighii cisimciği ve toplayıcı kanalın oluşumu, **B**, Malpigi cisimciğinin vücudun bir segmentinde replikasyonu; **C**, Tek segmentteki tubül artışı ile nefrogenik mezodermdeki metamerizmin kırılması.

Bowman Kapsülü: Glomerulus'u çevreleyen kase şeklinde çift duvarlı bir yapıdır. Bowman kapsülü duvarları arasındaki boşluk nefrik tubül olarak devam eder. Bowman kapsülü ve çevrelemiş olduğu glomerulus renal korpüskül veya malpigi cisimciğini oluşturur.

Nefrik Tubül: Nefrik tubül, bir ucu ile Bowman kapsülünden orijinlenir ve duvarları kapsülün dış duvarının devamı halindedir. Diğer ucu ile böbrek boşaltım kanalına açılır. Nefrik tubüller mikroskobik ve kıvrıntılı olup glomerular süzüntüyü toplar ve esas **boşaltım kanalı**' na taşır.

Boşaltım Kanalı: Nefrogenik mezodermin anterior ucunda meydana gelir. Ve ilk tubüllerin uzantıları halinde devam eder. Her kanal kloaka açılincaya kadar gelişimine devam eder.

Malpigi cisimcikleri ve nefrik tubüllerin fonksiyonu:

Kan sıvısı, glomerulus kılcalarından ve bowman kapsülü duvarlarından geçerek nefrik tubüllere gelir. Fakat kan hücreleri ve bazı büyük moleküllerin bu duvarlardan süzülmesi engellenir. Böylece tubülün proksimal ucundaki filtrat (süzüntü) kan plazmasına çok benzer. Çoğunlukla sudan ibarettir. Metabolik artıklara ilave olarak şeker tuz gibi hala vücuda faydalı olan maddeleri içerir. Bu süzüntü tubülden aşağı geçerken, tubül duvarlarından tubülü çevreleyen efferent arteriol kılcal damarlarına geri emilim olur (reabsorbsiyon), böylece fazla su ve faydalı maddeler kana geri verilir. Sonuç olarak, geri kalan idrar bileşim bakımından kan plazmasından oldukça farklı olur. Özellikle yoğunluğu fazla olan üre ve ürik asit içerir.

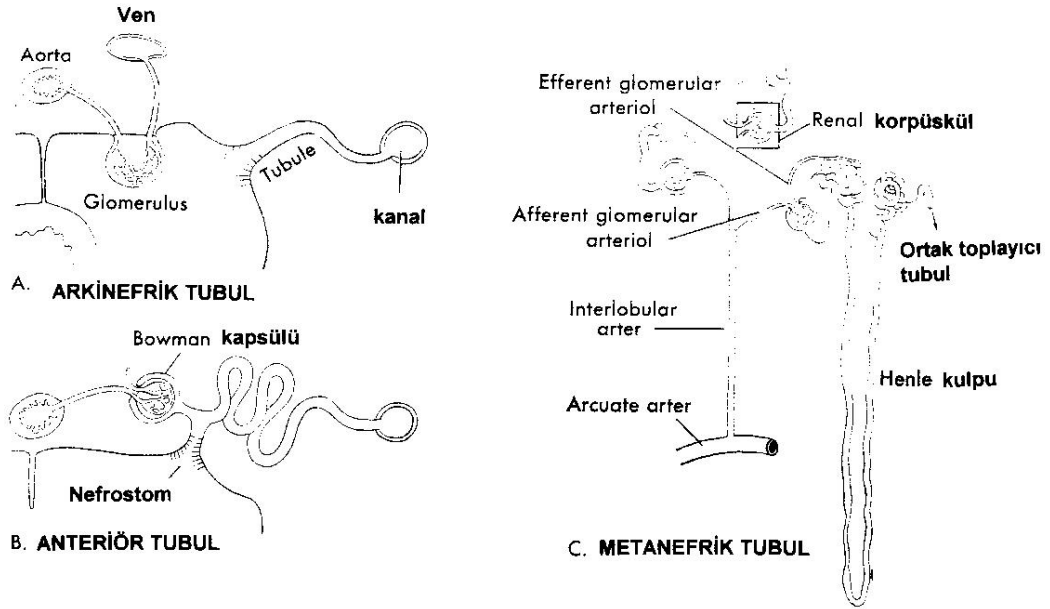
Böbrek Tipleri

Omurgalıların evriminde ardışık gelen ve biri diğerinin yerini alan bir seri böbrek tipi boşaltım organı olarak görev yapar (Şekil 9 - 3). Bu tipleri aşağıdaki şekilde tanımlayabiliriz:

1. Arkinefroz: Primitif veya ata omurgalılarda varolduğu düşünülen böbrek tipidir.

Arkinefroz'un yapısı: Her vücut segmentinin iki yanında ardışık dizili bir seri **arkinefrik tubül**' den ibarettir. Bu tubüllerin her biri silli, huni şeklinde bir açıklıkla (**nefrostrom**) sölom'a açılır (Şekil 9 - 2A). Glomerulusların tümü eksternaldir ve nefrostomun karşısına gelecek şekilde sölom içinde asılı dururlar. Glomeruluslardan dışarı çıkan (süzülen) sıvı nefrostomlar tarafından toplanır ve arkinefrik tubüllere aktarılır. Arkinefrik tubüller, vücut boşluğunun dorsal duvarında her bir yanda uzanan **arkinefrik kanal**' lara açılırlar. Bu kanallar vücut boşluğu boyunca uzanırlar (Şekil 9 -4).

Arkinefroz'un dağılımı: Hiç bir ergin omurgalıda görülmez. Cyclostomat'lardan *Myxinae* cinsinin larvalarında ve amfibi'lerin Coecilidae (Apoda) türleri larvalarında görülürler.



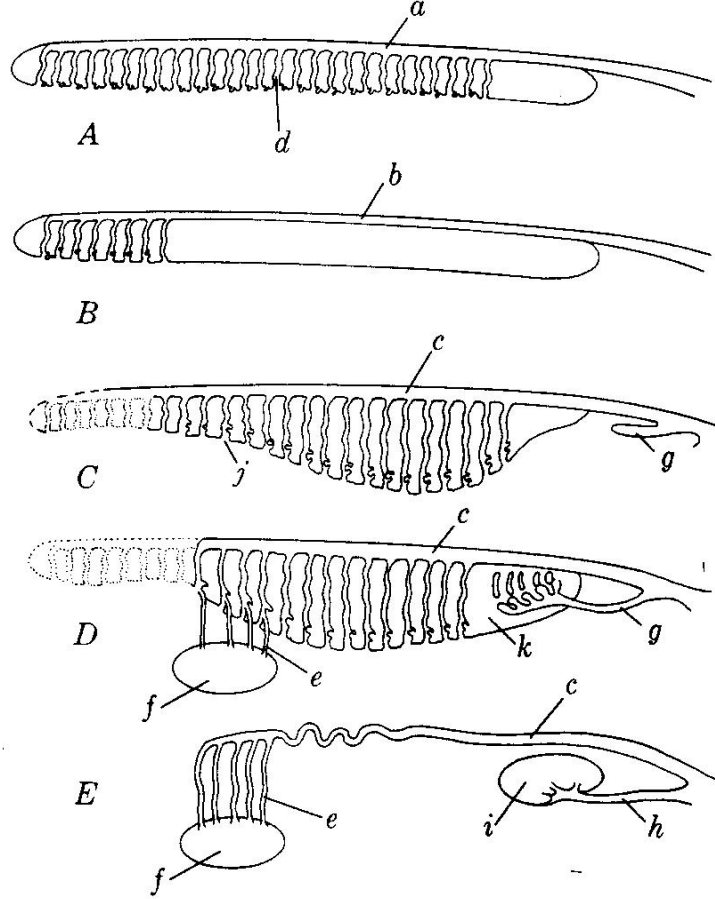
Şekil 9 - 2. Böbrek tubülleri ve ilişkili glomeruluslarda meydana gelen özelleşmeler

2. Pronefroz: Ergin omurgalıların en ilkel ve fonksiyonel böbrek tipi.

Pronefroz'un yapısı: Pronefroz ata arkinefroz böbreğin en ön kısmını temsil eder. Tüm Omurgalıların embriolarında ilk pronefrik tubüller ara mezodermin ön ucundan oluşur. Segmental dizilidirler. Birkaç primitif formda dorsal aortanın segmental kollarından orijinlenen glomeruluslar nefrostomlara yakın bir yerden sölom'a doğru uzanırlar. Bu tür yapılar **external glomerulus**'lardır. Bu yapılar tubüllerle çevrilmemişlerdir. Fakat glomeruluslar çoğunlukla **internal glomerulus** halindedirler, yani Bowman kapsülü ile kuşatılmışlardır. Bu kapsüller, pronefrik tubüllerin proksimal uçlarına yakın bir yerden çıkıntılar halinde oluşurlar. Nefrostomlar vardır ve hala sölom'a açıklıklarını korurlar. Glomerulusların external ve internal oluşlarının özel bir önemi yoktur (Şekil 9 - 2 B).

Bazen larval evrede birkaç glomerulus birleşerek tek haldeki **glomus** adı verilen yapıyı oluşturur. Glomus ve pronefrik tubüller genellikle perikardial veya pleuroperitoneal boşluğun astarından orijinlenen bir örtü ile kuşatılmışlardır (Şekil 9- 5).

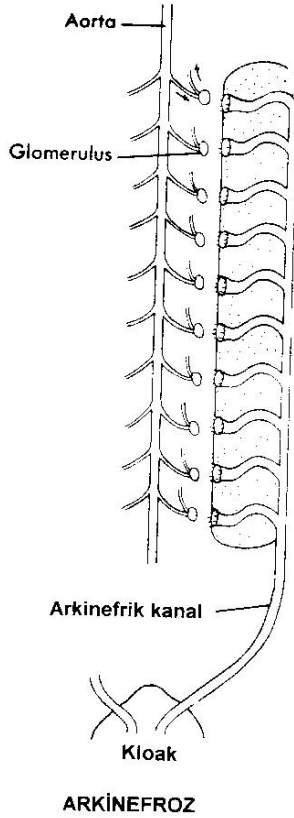
Pronefrozların segmental olmaları, tubüllerin ve ilişkili yapıların az sayıda bulunması, yayılmış haldeki pronefrik böbreklerin gözle görülmelerini zorlaştırır. Örneğin *Petromyzon*'da 13 pronefrik tubül bulunur. 3mm.'lik insan embriyosunda 7, köpek balığı embriyosunda 4, kurbağada 3 çift pronefrik tubül vardır.



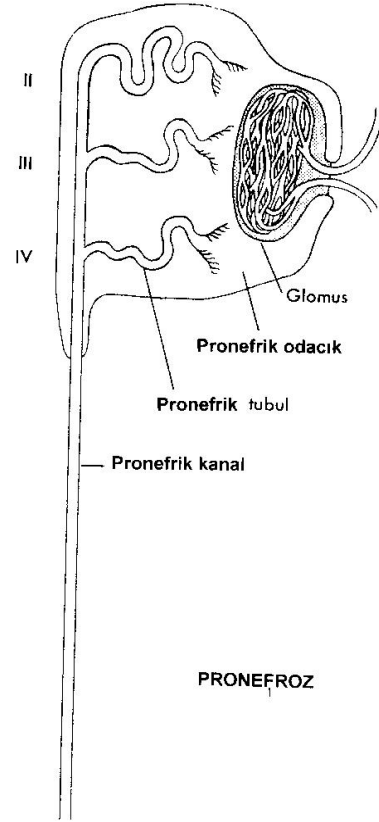
Şekil 9 - 3. Omurgalı böbrek ve kanallarının evrimi. **A**, Arkinefroz; **B**, Pronefroz; **C**, Mesonefroz; **D**, Opistonefroz (erkek); **E**, Metanefroz (erkek) : a, arkinefrik kanal; b, Pronefrik kanal; c, Wolf kanalı; d, Arkinefrik tubül; e, Efferent kanalcık; f, Testis; g, üreter gelişimi; h, üreter; i, metanefrik böbrek; j, nefrostom; k, Opistonefrozun metanefrik kısmı. Dişide efferent kanalcıklar gonadlara geçmezler ve Wolf kanalı metanefrik böbrekte vestigial olarak kalır.

Pronefrik tubüller birleşerek **pronefrik kanal**'ı oluştururlar (kökeni arkinefrik kanaldır). Pronefrik kanal arkaya doğru gelişir ve posteriörden kloak'a açılır.

Pronefrozlar, bulundukları organizmalar için önem taşımanın yanında pronefrik kanalın oluşmasında rol oynamaları ile de evrimsel bir özelliğe sahiptirler. Çünkü pronefrik kanal, pronefrozlar kaybolduktan sonra da varlığını korur. Bazı amfibi larvalarının fonksiyonel böbrekleridir. Diğer yüksek omurgalıların embriyolarında ise geçici bir süre bulunurlar.



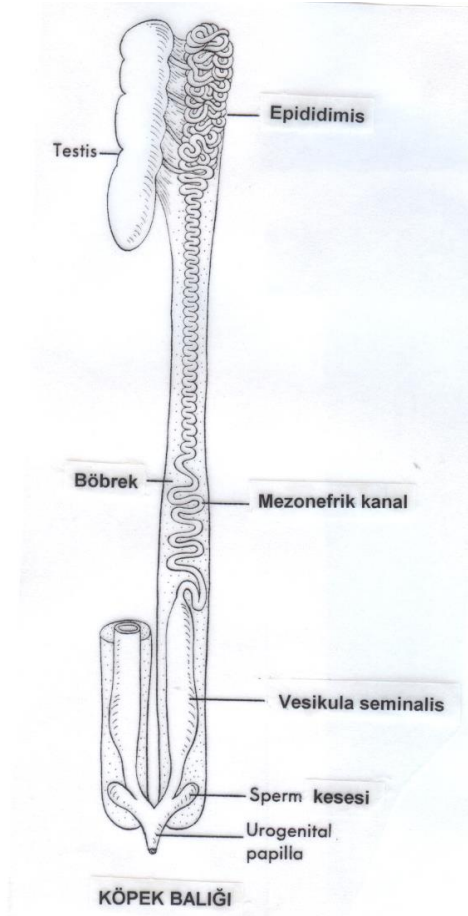
Şekil 9 - 4. Hipotetik primitif böbrek



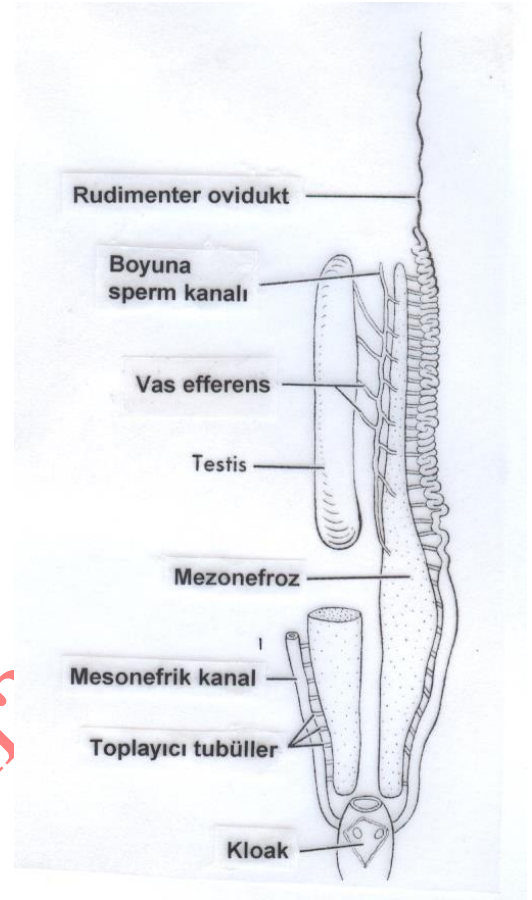
Şekil 9 - 5. Kapsüllenmiş pronefrik böbrek, şematik (15 mm. larval kurbağada. II, III, ve IV, ikinci üçüncü ve dördüncü somit düzeyleri. Glomus üç birleşmiş glomerulusu temsil etmektedir.

Pronefroz'un dağılımı : Pronefroz sadece ergin siklostomatlarda ve birkaç teleostta yaşam boyu kalır. Fakat böbrek olarak fonksiyonunu kaybeder ve lenf kitlesi haline dönüşür. Gerçekte lenf dokusu ilk tubülün belirdiği andan itibaren vardır ve balık büyüdükçe giderek miktarı da artar. Larval *Rana pipiens*'in pronefrozu gelişmenin 90 gününde benzer şekilde lenfoidaldir. Ergin Mixinae'nin pronefrozu periyodik olarak beyaz kan hücrelerini verir ve teleostlarda benzer işlevi yerine getiren pronefrozun kalıntısına benzer. Mixinae ve ergin teleost pronefrozundaki bazı hücreler kromaffin reaksiyon verirler. Buda epinefrin ve yakın aminleri oluşturabildiklerini göstermektedir.

Pronefroz başın hemen arkasında geliştiği için "**Baş böbrek**" olarak ta adlandırılır.



Şekil 9 - 6. Erkek köpek balığında ürogenital sistem. Yardımcı boşaltım kanalları var fakat gösterilmemiştir.



Şekil 9 - 7. Erkek Necturus'ta ürogenital sistem. Böbreğin daralmış baş kısmı sperm transferinde rol oynar ve epididimis olarak da adlandırılır.

3. Mesonefroz ve Opistonefroz: Mesonefroz, pronefrozun posteriöründe gelişen böbrek dokusudur. Mesonefrozun posteriöründe de metanefroz (ergin amniot böbreğini oluşturacak böbrek dokusu) gelişecektir. Anamniotların ergin böbreği sadece mesonefrik dokuyu içermekle kalmaz, aynı zamanda metanefrik dokunun bir kısmını da içerir. Bu nedenle anamniotların böbreği çoğu kez mesonefroz olarak adlandırılırsa da amniot embriyolarındaki mesonefroz böbrekle tamamen homolog değildir. Bu nedenle de opistonefroz olarak adlandırılması tercih edilmektedir.

Mesonefroz ve Opistonefroz'un Yapısı: Her ikisinin yapı ve işlevi birbirine benzerdir ve böbrek olarak adlandırılabilen belirgin bir yapıya sahiptirler.

Pronefrik kanalın altında ara mezodermden yeni tubüller gelişmeye başlar. Bu yeni tubüller mevcut pronefrik kanal ile bağlantı oluşturur. İlk birkaç segmentte bu tubüller segmental olarak dizilmiş olabilirler ve çoğu kez de açık nefrostomları vardır. Pronefrik bölgeye özgü tubüller ile daha arkadaki bu tubüller arasındaki geçiş

aşamalı olur. Geçiş bölgesinde her segmentte segonder ve tersiyer tubüller gelişir (Şekil 9 - 1). Bu ilave tubüller genişler ve bir diğerini aşar. Gelişen böbrekteki metamerizm kaybolur. Böylece evrimsel süreçte ilk kez dorsal vücut duvarı üzerinde söloma çökmüş belirgin bir kitle halindeki boşaltım organı oluşur.

Bir diğer geçiş özelliği ise çoğu türde internal glomeruluslarını ve nefrostomlarını kaybetmiş tubüllerin meydana gelmesidir. Çoğu embriyonik balık ve amfibide oldukça arkaya doğru da nefrostomlar gelişir ve bir kaç nefrostom ergin balıkta da kalıcı olabilir. Nefrostomlar, reptil embriyolarında belirgindir ancak kuş ve memelilerde sadece öndeki birkaç sefalik tubülde görülebilirler. Ergin siklostomat'lardan Myxinae'de gnathostomat'larından çok daha primitiftir.

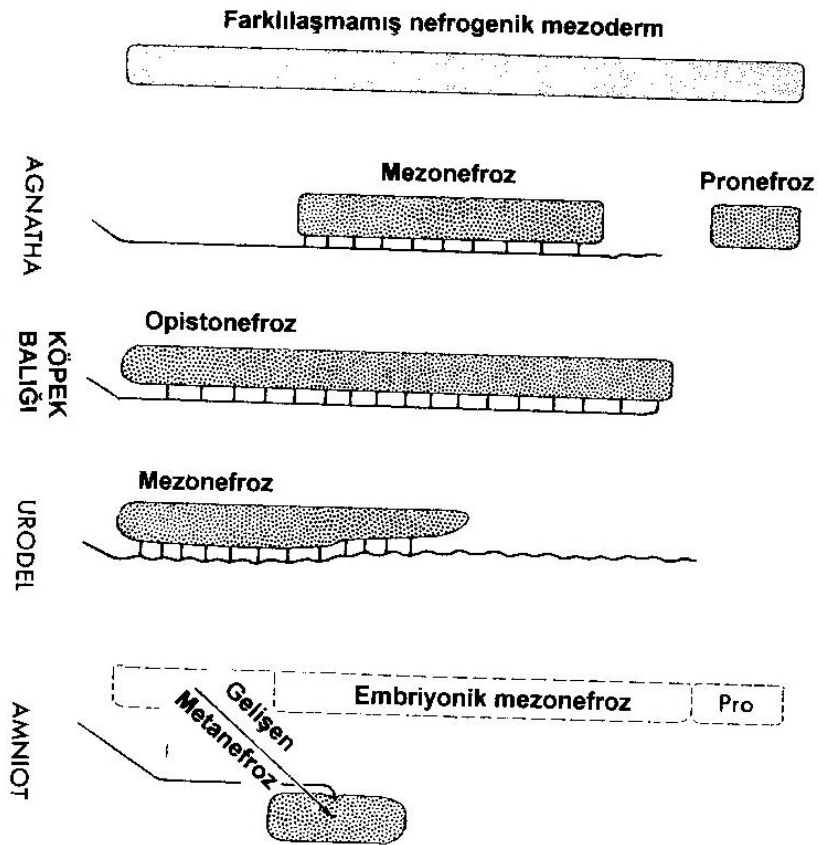
Internal glomerulusların oluşacağı bölgelerde embriyonik tubüller ilk önce hücre kümeleri halindedir. Daha sonra lümen oluştururlar ve uzayarak tubül haline geçerler. Tubülün bir ucu genişler ve kapiler yumağının oluşturduğu glomerulus bu genişleyen kısma doğru göçer. Genişleyen kısım yukarıda tarif edilen çift duvarlı bowman kapsülü halini alır. Bu kapsül içerdiği glomerulusla birlikte renal veya malpigi cisimciğini oluşturur. Mesonefrik tubül gelişip uzarken önce S şeklindedir, sonra S'nin proksimal ve distal lopları daha çok kıvrılmalar yaparak mesonefrik tubül için oldukça karakteristik olan proksimal ve distal yumakları oluştururlar.

Mesonefrik tubüllerin distal uçları eski pronefrik kanalla birleşir. Birleşmeden sonra pronefrik kanal artık **mesonefrik kanal (Wolf kanalı)** olarak adlandırılır. Bir kaç tubülün distal ucu mesonefrik kanala açılmadan önce birleşebilir ve tek bir tüp halinde mesonefrik kanala açılabilir. Bazen bu tubüllerin distal ucundan oluşan tüp mesonefrik kanal yerine doğrudan doğruya kloak'a açılan bir yapı olarak da belirebilir.

Mesonefrik kanallar aynı zamanda spermleri taşırlar. Erkeklerde mesonefrozun öndeki bazı tubülleri spermlerin testislerden mesonefrik kanala geçişinde kullanılırlar. Bu kısım ile birlikte mesonefrik kanalın, spermlerin boşaltıldığı kısmı **epididimis**'tir (Şekil 9 - 6,7). Bu durumlarda erkekte böbreğin anteriör ucu geri kalan kısmından daha büyük veya küçüktür. Dişide bu bölgeye karşılık gelen kısım kalabilir veya kaybolabilir. Mesonefrik kanalın kaudal ucu spermlerin geçici olarak depo edildiği **vesikula seminalis**'i oluşturmak üzere genişleyebilir (Şekil 9 - 6) veya **idrar kesesi** halini alabilir (Şekil 9 - 12). Bazı balıklarda (Petromyzon, Köpek balığı) iki kanal kloaka açılmadan önce bir papilla oluşturmak üzere birleşir (Şekil 9 - 6). Mesonefrik kanal böbreğin yanında (Şekil 9 - 6) veya ventral yüzeyinde uzanır (Şekil 9 - 7) . Böbrek içine gömülü halde de bulunabilir.

Mesonefroz ve Opistonefroz'un dağılımı: Opistonefroz ergin petromyzon'ların, kıkırdaklı balıkların, kemikli balıkların ve amfibilerin fonksiyonel böbrekleridir. Mesonefrik kısım ise reptil, kuş ve memelilerin embriyolarında fonksiyoneldir.

Ergin balık ve amfibilerin böbreği pronefrik böbreğin arkasında gelişmeye başlar. Köpek balıklarında ve Coecilidae'de ergin böbrek sölom boyunca uzanır ve dorsal vücut duvarı karşısında peritonun arkasında yer alır (Şekil 9 - 6, 8).



Şekil 9 - 8. Bazı omurgalılarda nefrogenik mezodermin sonu.

Amniot embriyolarının mesonefrozu ergin balık ve amfibinin böbreğine temelde benzerdir. Sadece çoğu kuşta nefrostomlar körelmiştir ve memelide çok seyrek olarak görülürler. Embriyonik civcivlerde mesonefroz en üst düzeydeki gelişimine inkübasyonun 11. gününde yani embriyonik yaşamın yarısında ulaşır. Memelilerde gelişmenin en üst düzeyine, insanda gebeliğin 9. haftasında yani gebelik süresinin yaklaşık $\frac{1}{4}$ 'lük süresinde ulaşılır.

İnsan fetüsünde mesonefrik tubül embriyonik yaşamın 4. haftasından sonra görülür (20 somitli safha) ve tüm mesonefrik tubüller embriyo 40mm uzunluğa eriştiğinde kaybolurlar.

Mesonefroz esas olarak amniotların embriyonik böbreği olduğu için reptil'lerde monotremat'larda ve marsupial'lerde doğumdan sonra kısa bir süre için fonksiyoneldir. Bu durum bazı kertenkelelerde ilk hibernasyon, bazı yılanlarda ise ilk deri değişimine kadar sürer. Mesonefrozun fonksiyonel olduğu süre içinde yaşamın geri kalan kısmında kullanılacak olan metanefroz ise gelişme sürecini yaşamaktadır. Metanefroz fonksiyonel hale gelince mesonefroz kaybolmaya başlar ve doğumdan sonra sadece artıkları kalır.

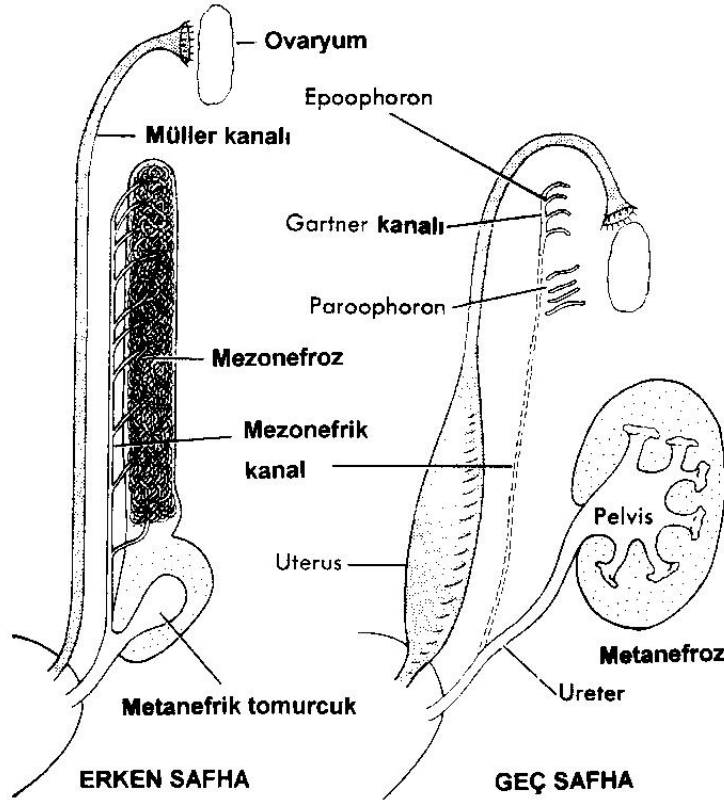
Ergin amniotlarda mesonefrik kalıntılar: Ergin amniotların her iki cinsiyetinde de mesonefroz kalıntıları vardır. Memelilerde kalıntılar epididimisin yakınında yer alan ve **paradidimis** olarak bilinen körelmiş tubüller (Şekil 10 - 3), **epididimis appendix**'i ile ovaryum (**oophoron**)'un yakınında **epoophoron** ve **paraophoron** dur. Mesonefrik kanallar erkek amniotlarda sperm kanalları olarak kalırlar fakat dişide kısılır ve körelirler. **Gartner kanalları** olarak oviduktların mezenterleri içinde kalırlar (Şekil 9 - 9).

4. Metanefroz: Metanefroz veya ergin amniot böbreği nefrogenik mezodermin kaudal ucundan meydana gelir ve gelişme esnasında öne ve yana doğru kayar (Şekil 9 - 8).

Metanefroz'un yapısı: Bir kısmı balık ve amfibilerdeki opisthonefrik böbreğin kaudal kısmı ile aynıdır. Bu kısımdan oluşan tubüllerin sayısı amniotlarda oldukça çoktur (yaklaşık 4½ milyon) ve tubüller son derece kıvrıktırlar. Yeniden bir yapı olarak gelişen metanefrik kısmı ise özel bir kanal olan **metanefrik kanal (üreter)**'ı da oluşturur (Şekil 9 - 9). Mesonefroz fonksiyonel olduğu sürece metanefrik kanal sadece yardımcı idrar kanalı halindedir. Mesonefroz içeriye doğru kıvrılmaya başlayınca metanefrik kanal esas böbrek kanalı halini alır.

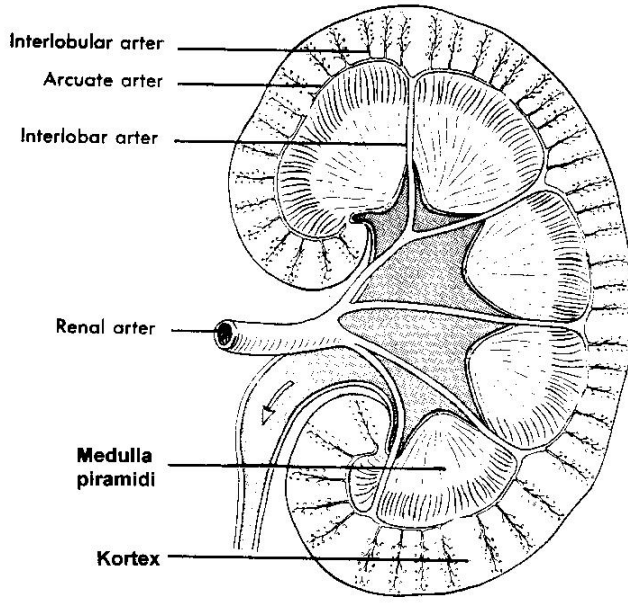
Metanefrik kanal embriyonik mesonefrik kanalın anteriöre doğru yönelmiş **metanefrik tomurcuk**' undan meydana gelir. Tomurcuğun distal ucunu nefrogenik mezodermin arka kısmı çevreler ve buradan da metanefrik tubüller oluşur. Metanefrik tomurcuk, nefrogenik mezodermi bir şapka gibi taşıyacak şekilde öne doğru iter. Metanefrik tomurcuğun proksimal kısmı metanefrik kanal (üreter) halini alır. Distal ucu ise böbreğin **pelvis** bölgesini oluşturur. Pelvis'in çoğu parmak şeklindeki çıkıntısı toplayıcı tubüller olarak nefrogenik mezodermi sarar. Aynı zamanda şapka şeklindeki nefrogenik doku da metanefrik tubüller olarak organize olur. Bu tubüller **S** şeklinde başlarlar her tubülün üst kolu toplayıcı tubüle doğru büyür ve sonuçta toplayıcı tubüle

açılır. Alt kolu ise glomerulus gelişince, bowman kapsülünü oluşturmak üzere invaginasyona uğrar.



Şekil 9 - 9. Dişi amniotların ürogenital sisteminde meydana gelen değişiklikler. Erken evrede (sol) mesonefrik böbrek ve kanalları var ve metanefrik tomurcuk oluşmuş. Farklılaşmamış Müller kanalı da vardır. İleri evrede mesonefrik böbrek ve kanalı gerilemiş ve Müller kanalı dişi üreme kanalını oluşturmak üzere farklılaşmış.

Memellilerin metanefrozu aşağı amniotlarınkinden çok daha büyük bir organizasyona sahiptir. Bu organizasyon metanefrik tubülün proksimal ve distal kıvrıntılı kısımları arasında uzun, ince **U** şeklindeki **Henle kulpu**' nun gelişmesiyle oluşturulur (Şekil 9 - 2). Henle kulpları uzamaya başlayınca böbrek üzerinden renal pelvise doğru büyürler. Böbrek böylece renal korpüskülün yoğunlaştığı **cortex** kısmı ile yüzbinlerce henle kulpu ve toplayıcı tubülün yer aldığı **medulla** kısmını içerir. (Şekil 9 - 10) Henle kulpu tuz ve suyun reabsorbsiyonunda görev yapar. Henle kulpları ve toplayıcı tubüller frontal kesitte çizgili görünümde renal medulla'yı oluştururlar (Şekil 9 - 10). Birkaç veya birçok konik **piramit** halinde bir araya gelmişlerdir. Piramitler daralarak kör uçlu yapılar halinde (**renal papilla**) pelvise açılırlar. Her toplayıcı tubül bir miktar metanefrik tubüldeki süzüntüyü çeker ve piramidin uç kısmına yakın yerden pelvis bölgesine boşaltır.



Şekil 9 - 10. Memeli böbreği. Sagittal kesit. Renal ven gösterilmemiştir. Gri bölge pelvis ve üreteri göstermektedir. Glomeruluslar cortex'le sınırlandırılmıştır. Henle kulpları medulla piramidlerine toplayıcı tubüllerle birlikte uzanmaktadır. Evcil kedide sadece bir piramid vardır.

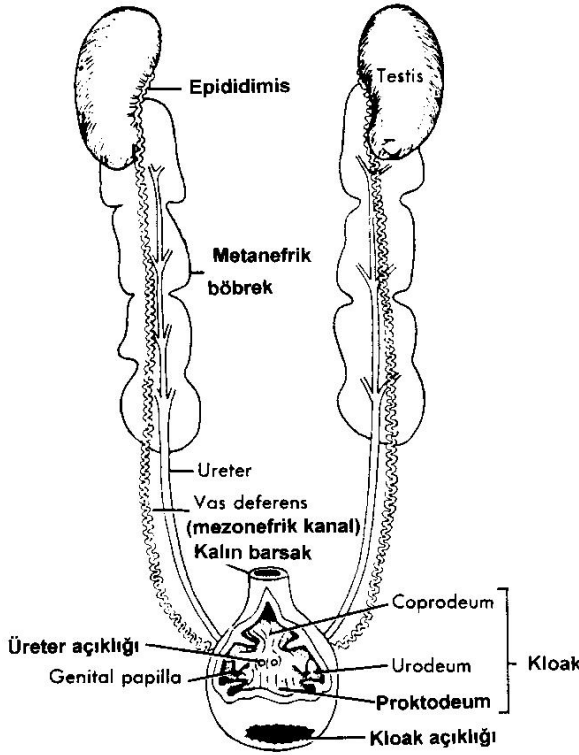
Reptillerin metanefrik tubüllerinde henle kulpu yoktur. Kuşların ise benzer yapıları oldukça kısadır. Glomeruluslar hacim bakımından indirgenmiştir ve bowman kapsülleri içinde 2 veya 3 kısa vasküler yumak içerirler. Küçük glomeruluslar suyun tutulması sonucu bu tür yapıya uğramıştır.

Çoğu metanefrik böbrek lobludur (reptiller, kuşlar, probosidler, balinalar, bazı karnivorlar). Her lob birçok tubülden oluşan bir öbek içerir.

Loblaşma aynı zamanda yeni doğmuş bebeklerde de görülür. Fakat sonra kaybolur. Yılan ve bacaksız kertenkelelerde böbrekler vücut yapılarına uygun olarak uzamış haldedir. Kuşların böbrekleri kalça ve iliumun durumuna uygun konumlanmıştır. Çoğu ergin memelide böbrek yüzeyi düzdür ve ana hatlarıyla fasülye tanesi şeklindedir. Ortadaki çentik (**hilum**) renal arter, renal ven, sinüsler ve üreterin girip çıktığı yerlerdir.

Embriyonik orijin olarak mesonefrik kanaldan tomurcuklanan üreterler reptillerde, kuşlarda ve monotrematlarda kloaka açılırlar (Şekil 10 - 14). Birkaç erkek reptilde üreterler mesonefrik kanallara açılmaya devam ederler.

Metanefroz böbrekler, reptil ve kuşlarda iki veya daha çok renal arter serisi ile arterial kan damarlarıyla donatılırlar. Memelilerde daima tek renal arter vardır. Fakat çoğunlukla böbreğe ulaşmadan önce çatallanır. Memeli böbreğine girdikten sonra renal arter dallara ayrılır ve kortekse doğru ışınal olarak inter lobar arterler halinde giderler (Şekil 9 - 10). Korteksin kaidesinde inter lobar arterler arcuate arterleri verirler ve bu arterler korteksin kaidesi boyunca bir yay halinde böbrek yüzeyine az çok paralel halde yer alırlar. Arkuat arterlerden inter lobular arterler oluşur ve bunlar da glomeruluslarla sonlanan afferent glomerular arteriollerini oluştururlar.



Şekil 9 - 11. Domuz yavrusunda ürogenital sistem.

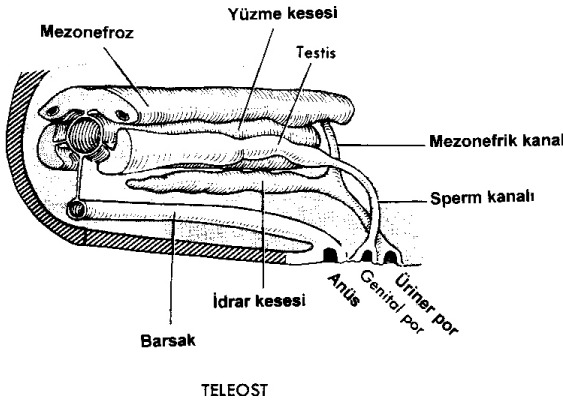
İdrar kesesi :

Omurgalıların çoğunda idrar kesesi vardır. Sadece balıklar arasında siklostomat ve elasmobraş'lar, yılanlar, timsahlar ve bazı kertenkeleler ve hemen hemen tüm kuşlarda idrar kesesi yoktur. Çoğu balıkta mesonefrik kanalın terminal bölgesi genişleyerek tüpsü yapıdaki idrar kesesini oluşturur (Şekil 9 - 12).

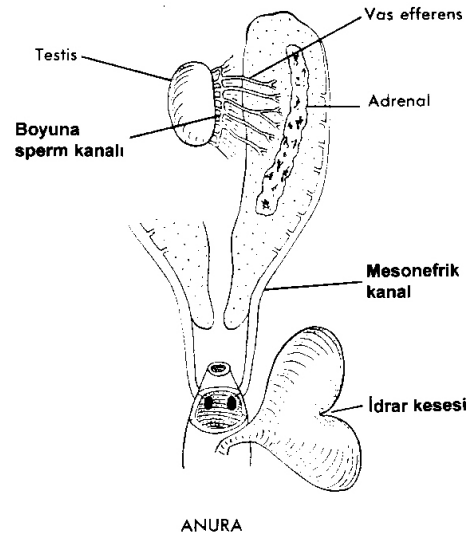
Dipnoi'de idrar kesesi kloakın dorsal duvarının evaginasyonu ile meydana gelir. Tetrapod'ların idrar kesesi ise kloakın ventral duvarının evaginasyonu sonucu oluşur (Şekil 9 - 13). Amniot embriyolarında idrar kesesini oluşturan evaginasyon ekstra embriyonik membran (allantois) olarak ventral vücut duvarının dışında devam eder (Şekil 3 - 4B). Ergin idrar kesesine sadece allantoisin kaide kısmı – kloakın proksimalindeki kısım – katılır. Kaplumbağa ve çoğu kertenkelenin büyük idrar keseleri vardır ve kaplumbağaların iki yardımcı idrar kesesi bulunabilir (Şekil 10 - 8).

Dişi kaplumbağa, yardımcı idrar kesesini, yumurtaları için bir saklama yeri hazırlamak üzere toprağı nemlendirmek için su taşımada kullanır. Amfibi ve reptil'lerde idrar kloaktan idrar kesesine geri alınır. Memeli'lerde böbrek kanalları idrar kesesine açılırlar ve idrar da idrar kesesinden üretra yolu ile boşaltılır. Tetrapod idrar kesesinin adaptif değeri suyu depolama kapasitesindendir. Aksi takdirde su vücuttan elimine edilecekti. Hipofiz bezinden salgılanan antidiüretik hormon (ADH)

Glomeruluslardan efferent glomerular arteriol olarak çıkan damarlar doğrudan doğruya tubülleri çevreleyen kapiler yataklarına geçerler. Metanefroz bir veya birkaç renal ven ile boşaltılır. Reptillerde, kuşlarda ve monotrematlarda böbrekler renal portal sistem yoluyla efferent ven ağına sahiptirler. Portal damarlar peritubular kapiler yataklarında sonlanırlar.



Şekil 9 - 12. Erkek teleost (Turna balığı)'da ürogenital sistemin kaudal ucu. Sol yandan görünüş. İdrar kesesi böbrek kanalı gibi belirir.



Şekil 9 - 13. Erkek kurbağada ürogenital sistem. Ventral görünüş.

birkaç türde suyun aktif olarak geri emilmesine neden olur ve ADH'un salgılanması da hipertonic kan tarafından uyarılır. İdrar kesesi özellikle suyun depolanmasının hayati öneme sahip olduğu kuru habitatlarda yaşayan hayvanlar için oldukça kullanışlı bir yapıdır.

Boşaltım ve Çevre

Omurgalıların yaşadığı 3 temel çevre vardır: Tatlı su, tuzlu su ve kara. Bu çevrelerden herbiri vücut sıvılarının su ve tuz bileşenlerini düzenlemesi yönünden farklı problemler içerir.

Tatlı su hayvanlarında su regülasyonu: Ata omurgalıların tatlı suda geliştikleri söylenmektedir ve balık evriminin erken safhaları bu ortamda gelişmiştir. Tatlı suda yaşayan hayvanlar hem derileri yoluyla absorblıyarak hem de besinle birlikte yutarak vücutlarına fazla su alırlar. Böylece tatlı suda yaşayan hayvanlar doku sıvısından daha az yoğunluktaki bir ortamla karşı karşıyadırlar. Problem vücuda giren fazla suyun atılmasıdır. Diğer taraftan tuz tatlı suda azdır. Tuzun tek kaynağı aldıkları besinlerdir. Bu nedenle tatlı su organizmaları vücuttan tuz atılımını önlemek zorundadırlar. Fazla suyun vücuttan atılması ve tuzun geri alınması omurgalı böbreğinin ilk fonksiyonlarından. Kan damarları yumakları olan glomeruluslar kan dışında suyu vücut boşluğuna boşaltırlar ve söloma açılan kıvrıntılı tubüller süzüntüyü toplarlar. Tuzu bu süzüntüden tekrar geri alırlar ve süzüntüyü son haliyle boşaltım kanalına boşaltarak kloaka aktarırlar.

Atasal balıklar daha sonra tuzlu suya adaptasyon sağlayınca farklı bir su-tuz problemiyle karşı karşıya kaldılar. Dokularında fazla suyun birikmesi yerine fazla tuzun birikmesi söz konusu oldu. Dolayısıyla yaşamları için en büyük problem suyun vücutta tutulması ve fazla suyun atılması oldu. Böbreklerdeki yapısal modifikasyonlar bu problemlerin çözümüne yardımcı oldu. Modifikasyonlardan biri böbrek tubüllerinin distal segmentlerinin kısalması veya kaybı idi. Bu segmentler tuzun reabsorbsiyonunu ve suyun boşaltımını sağlıyorlardı. Bir diğer modifikasyon glomerulusların bazı denizel balıklarda kaybı ve bazılarında zayıfça damar yumağı içererek kistli yapı benzeri bir hal almalarıydı. Tubüllerin kısalması ve glomerulusların kaybı deniz balıklarında tuz salgılanmasını arttırdı ve suyun tutulmasını sağladı.

Omurgalıların ilk kez denizel ortamda ortaya çıktıklarını düşünenler de vardır ve bunların düşüncesine göre böbrekler esas olarak inorganik tuzların sulu eriyiğinin hayvandan uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Çünkü kan deniz suyu ile izotoniktir ve daha sonra tatlı suyla karşılaştıklarında aynı mekanizma bu kez fazla suyun atılmasında kullanıldı. Böylece hiçbir balıkta böbrekler azotlu artıkların atılmasında birinci derecede öneme sahip olmadığı için şimdiye kadar metabolizma sonucu oluşan azotlu artıkların böbrekler tarafından boşaltımına yönelik bir şey söylenmemiştir. Metabolik artıkların boşaltımı muhtemelen böbreğin daha sonraki fonksiyonlarından biridir. Reptil, kuş ve memelilerin böbreği azotlu artıkların atılmasına hizmet ettiği gibi su ve elektrolit düzeyini de düzenlerler.

Omurgalılarda böbrek dışı tuz atılımı:

Denizel balıklar tuz atılımı için eksternal yapılar geliştirmişlerdir. Büyük miktarlardaki tuz, solungaç yüzeylerinde yer alan klor salgılayıcı bezler ve elasmobranş'larda rektal bezler tarafından atılır. Ekstra renal tuz atılımı ile böbrek tubülleri ve glomeruluslardaki modifikasyonlar sonucu suyun tutulması çoğu tuzlu suda yaşayan balıkta idrar atılımını azaltmıştır.

Tetrapodlarda da böbreklerden bağımsız olarak tuz atılımı ile ilgili organlar vardır. Bu durum özellikle denizel reptiller ve deniz kuşları gibi tuzlu su içeren türler için söz konusudur. Bu özellik aynı zamanda karasal ortamda, çorak habitatlarda yaşayan ve bu nedenle su tutma zorunda olan bazı karasal kertenkeleler ve yılanlar için de geçerlidir. Bu görevi yerine tuz salgılayan **nasal bez**'ler getirir.

Nasal bezleri orbitlerin üst tarafından kemik cepler içine yerleşmiş çift haldeki büyük bezler olup uzun kanallar ile salgılarını burun deliklerine bırakırlar. Gaganın açıldığı yerden gaganın ucuna uzanan bir oluk vardır. Sodyum klorür ve potasyum içeren suyu içen kuş 15 dakika içinde bu tuzları içeren damlaları bu oluğa bırakırlar ve gaganın sallanması ile gaganın ucuna doğru akar.

Kertenkelelerde nasal bezler esas olarak potasyum bezleri olup nasal kanalın tabanında yer alırlar ve küçük kanallar vasıtasıyla nasal geçide açılırlar. Beyazımsı kabuk halindeki sodyum klorür ve potasyum nasal kanalda veya burun deliğinde görülebilir.

Çorak çevrede tuzun atılımı ve suyun tutulması ile ilgili başka adaptasyonlar da vardır. Bazı tetrapodlarda su **kloak astarı** tarafından geri emildiği için idrar daha yoğun halde boşaltılır. Boşaltımı yapılan diğer azotlu artıklar suda çözülmeyen ürik asit şeklindedir. Bazı çöl yılanlarında suyu muhafaza eden **aglomerular böbrekler** vardır. Elektrolit boşaltımı ise esas olarak hormonlar ile düzenlenir.

Prof. Dr. M. Nihat AKTAÇ