

KAMBRİYEN DÖNEMİNDEN BUGÜNE VÜCUT PLANI KORUNAN AMFİYOKSÜS GRUBU CANLILARIN EMBRİYONAL GELİŞİMİ*

EMBRYONAL DEVELOPMENT OF AMPHIOXUS GROUP ORGANISMS WHOSE BODY PLAN HAS BEEN PRESERVED FROM THE CAMBRIAN PERIOD TO TODAY

Prof. Dr.

Kazım UYSAL

Kütahya Dumlupınar
Üniversitesi, Fen Edebiyat
Fakültesi, Biyoloji Bölümü

Mail: kazim.uyisal@dpu.edu.tr

ORCID: 0000-0001-6399-6616

İnceleme Makelesi
/
Review Article

Alınma/Received: 20.11.2024

Kabul/Accepted: 27.12.2024

*Bu çalışma 24-26 Ekim 2024 tarihleri arasında Üsküdar Üniversitesi'nde düzenlenen VIII. Uluslararası Bilimler Işığında Yaratılış Kongresinde sunulan "Doğal Seçilimin Seçemediği Canlı: Amphioxus (Lancelet)" başlıklı bildiriden türetilmiştir.

Telif Hakkı: Bu çalışma Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 License altında lisanslanmıştır ([CC BY NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).

Copyright: This article is licensed under Creative Commons AttributionNonCommercial 4.0

International License ([CC BY NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).



ÖZET

Kordata şubesi sefalokordata alt şubesi içinde yer alan canlılar amfiyoksüs (*amphioxus*) olarak adlandırılır. İndirgemeci bir bakışla amfiyoksüs, omurgasız canlılar ile omurgalı canlılar arası geçiş formu olarak görülmüş ve biyoloji, zooloji ve embriyoloji kitaplarında sıklıkla yer verilmiştir. Bunun yanında amfiyoksüs dış dölleme ile üremesi, doğadan kolay elde edilmesi, laboratuvara tutulabilmesi ve yetiştirilebilmesi, hızlı gelişimi gibi bilimsel araştırmalarda sağladığı kolaylıklardan dolayı çok çalışılan canlılardandır.

Evrim görüşüne göre ekolojik şartların değişkenliği evrim hızını belirleyen en önemli faktördür. Cambriyen döneminde ileri organizasyonlu canlıların aniden ortaya çıkma sebebi olarak da ekolojik şartlardaki değişkenlikler gösterilir. Amfiyoksüs grubu canlıların tüm dünya denizlerinde bulunması ve ekolojik şartların en değişken olduğu sahil sularında yaşamasına rağmen Cambriyen döneminden bugüne vücut planlarının çok az değişmesi veya hiç değişmemesi evrim görüşü ile uyumsuz. Çünkü amfiyoksüs, ekolojik şartların çok değişken olduğu sahil sularında dış dölleme ile ürer. Yumurta ve sperm serbest olarak suya bırakılır. Yumurtanın döllemesi ve embriyonal gelişimi su içinde meydana gelir. Bu şartlardan dolayı evrim görüşüne göre amfiyoksüs çok hızlı evrimleşmesi ve değişmesi gerekir. Ancak amfiyoksüs üreme hücrelerinin yapısı, yumurtanın su içinde dölleme biçimi, dölleme zarfı oluşumu, blastomer kader haritası, blastula, gastrula, nörala ve sonrası embriyonal gelişim gibi özellikler de Cambriyen Patlaması'ndan bugüne (yaklaşık 520 milyon yıldır) korunmuştur. Bu durum ilahi irade ve ilmi gerektirir. Hiçbir şekilde mutasyon ve doğal seçim gibi tesadüflere dayalı evrimsel mekanizmalarla izah edilemez. Bu çalışmada amfiyoksüs grubu canlıların embriyonal gelişimi ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Evrim görüşünün amfiyoksüs grubu canlıların omurgasız ve omurgalı canlılar arası geçiş veya ara form olduğu iddialarını embriyonal gelişim ile ilgili verilerin desteklemediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Amfiyoksüs, yaratılış, evrim, embriyonal gelişim.

ABSTRACT

Organisms within the Chordata phylum Cephalochordata subphylum are called amphioxus. From a reductionist perspective, amphioxus has been seen as a transitional form between invertebrate and vertebrate organisms and has been frequently included in biology, zoology and embryology books. In addition, amphioxus is one of the most studied organisms due to the conveniences it provides in scientific research, such as reproduction by external fertilization, easy obtainment from nature, being able to be kept and grown in the laboratory, and rapid development.

According to the evolution view, the variability of ecological conditions is the most important factor determining the speed of evolution. The reason for the sudden emergence of advanced organized organisms in the Cambrian period is also shown as the variability of ecological conditions. Although the amphioxus group of organisms is found in all the seas of the world and lives in coastal waters where ecological conditions are the most variable, the fact that their body plans have changed very little or not at all since the Cambrian period is incompatible with the evolution view. Because amphioxus reproduces by external fertilization in coastal waters where ecological conditions are very variable. Eggs and sperm are released freely into the water. Fertilization and embryonal development of the egg occur in water. Due to these conditions, according to the evolution view, amphioxus must evolve and change very quickly. However, the structure of amphioxus reproductive cells, the way the egg is fertilized in water, the formation of the fertilization envelope, the blastomere fate map, blastula, gastrula, neurula and subsequent embryonal development have been preserved from the Cambrian explosion to the present (approximately 520 million years). This situation requires divine will and knowledge. It can in no way be explained by evolutionary mechanisms based on coincidences such as mutation and natural selection. In this study, studies on the embryonal development of amphioxus group organisms were examined. It was observed that the data on embryonal development did not support the evolutionary view's claims that amphioxus group organisms are transitional or intermediate forms between invertebrates and vertebrates.

Key words: Amphioxus, creation, evolution, embryonal development.

1. GİRİŞ

Amfiyoksüs (amphioxus); sahil sularında yaşayan, suyu filtreleyerek beslenen, yarı saydam, balık benzeri canlılardır. Yaşam süreleri türe göre 2-8 yıl arasında değişir (Fernandez ve Gutierrez 2009; Bertrand ve Escriva 2011; D'aniello ve ark. 2023). Tüm amfiyoksüs türleri gonokorizm (ayrı eşeyli) sergiler. Bazı türlerde nadiren hermafroditizm görülür. Hermofrodit vakalarda erkek bireylerde az sayıda dişi gonad tespit edilmiştir. Omurgalılarının aksine çok sayıda bölümlü gonadları vardır. Bazı bölgelerde insan gıdası olarak kullanılır. Üreme dönemi dışında ringa balığı tadında olmasına rağmen gonad olgunlaşma dönemi olan ilkbaharda etin lezzeti azalır ve üreme mevsiminde kötü bir tada sahip olur.

Amfiyoksüs, sırtta bulunan notokord (sırt ipliği) nedeniyle omurgasız ve omurgalı arası geçiş formu olarak görülmüştür (Haeckel 1905; Escriva 2018). Notokord, embriyonal gelişimin erken evresinde mezodermle aynı zamanda ve benzer şekilde yaratılır. Amfiyoksüs grubu canlıların Kambriyen döneminde veya öncesinde yaratıldığı tahmin edilmektedir. Bugün dünya üzerinde yaşayan 35 kadar amfiyoksüs türü vardır. Amfiyoksüs türlerinin vücut planları Kambriyen döneminden günümüze yaklaşık 520 milyon yıldır korunmuştur (Manzanares ve ark., 2000; Chen ve ark. 2003; Edvardsen ve ark. 2005; Chen 2009; Bertrand ve Escriva 2011; Louis ve ark., 2012). Bu durum, amfiyoksüs grubu canlıların genom yapısı ve genomu kontrol eden mekanizmaların korunduğu anlamına gelir.

Bu çalışmada evrim görüşünü desteklediği ve omurgasız-omurgalı canlılar arası geçiş formu olduğu iddia edilen amfiyoksüs grubu canlıların embriyonal gelişimleri hakkındaki literatür verileri incelenmiştir. Amfiyoksüs grubu canlıların embriyonal gelişimi ile ilgili veriler evrim ve yaratılış bağlamında değerlendirilmiştir. Ekolojik şartların en değişken olduğu Dünya denizlerinin tüm sahil sularında yayılış gösteren ve dış döllenme ile üreyen amfiyoksüs grubu canlıların yaklaşık 520 milyon yıldır korunan embriyonal gelişimi ile ilgili mekanizmaların evrim görüşünün iddia ettiği gibi mutasyon ve doğal seçim ile ne oluşabileceği ne de sürdürülebileceği sonucuna varılmıştır. Amfiyoksüs grubu canlıların embriyonal gelişimi ile ilgili bilimsel verilerin ilahi bir irade ve ilmi gerektirdiği vurgulanmıştır.

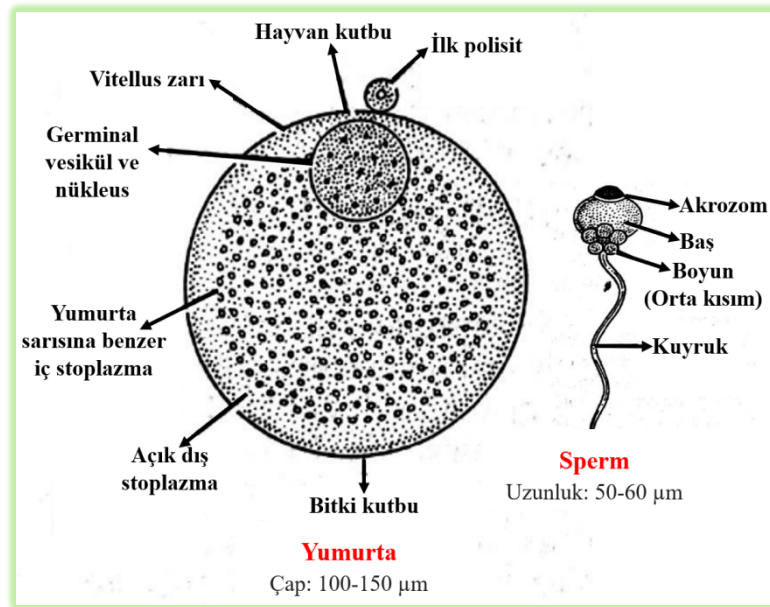
2.YAŞAM DÖNGÜSÜ

Üreme döneminde gündüz dip bölgede kısmen hareketsiz olan amfiyoksüs gece pelajik sularda oldukça hareketlidir ve milyonlarca gamet bırakır. Gastrulasyonun sonunda embriyo, döllenme zarı içinde saat yönünün tersine dönmeye başlar. Nörüla haline gelir gelmez de yumurtadan çıkar ve genç nörülalar olarak planktonik topluluğa katılır. Türe ve çevre şartlarına bağlı olarak bir aydan birkaç aya kadar pelajikte plankton olarak kalır. Metamorfoz tamamlandıktan sonra yavaş yavaş gençlere dönüşür ve atası gibi bentik zeminindeki yuvalara geri döner (Şekil 1).

Canlıların embriyonal gelişiminde görülen bu tür benzerlikler hiçbir zaman evrim görüşünü desteklemez. Çünkü evrimsel görüşe göre insana amfiyoksüs grubu canlılardan çok daha yakın olan balık, kurbağa ve tavuk gibi hayvanların ilk embriyonal gelişimleri özellikle blastulaları oldukça farklıdır. Evrimsel görüşe göre akrabalık yaklaştıkça benzerlik de artmalıdır. Oysa hayvanlar arası ilk embriyonal gelişimler ve blastulalar esas alındığında içinden çıkılmaz bir farklılıkla karşılaşılır. Hiçbir şekilde filogenetik olarak gösterilen akrabalık derecesi ile doğru orantılı bir korelasyona rastlanmaz. Bundan dolayı benzerliği esas alan evrim görüşünün hiçbir temeli yoktur. Bu görüş, ilmi verileri zorlama ve yanlı olarak değerlendiren ve ateizme alet eden bir görüştür.

3.1. Amfiyoksüs Yumurta ve Spermi

Amfiyoksüs grubu canlılarda yumurtalar küçüktür (100-150 μm) ve az miktarda yumurta sarısı ihtiva eder (Holland ve Onai 2012). Amfiyoksüs yumurtası alesital (isolesital veya oligolesital) tiptir. Bu tip yumurtalarda vitellus (lecithus) miktarı azdır. Vitellus, yumurta içine homojen veya homejene yakın dağıtılmıştır. Bu özelliği ile amfiyoksüs yumurtası insan ve memeli hayvan yumurtalarına benzer. Amfiyoksüs spermi yumurtadan çok daha küçük olup 50-60 μm uzunluğundadır (Şekil 2).



Şekil 2. Döllenenmemiş amfiyoksüs yumurtası ve spermi.

Yumurta hücresinde çekirdeğin bulunduğu kısma hayvan kutbu, karşısında bulunan diğer kısma ise bitki kutbu denir (Şekil 2). Yumurtanın bitki kutbundaki sitoplazma germ plazmasını ihtiva eder. Germ plazması, üreme sistemi ve üreme hücrelerini oluşturan yani kalıtsal bilgiyi bir sonraki nesle aktaran genetik materyali bulduran plazmadır. Germ hattında meydana gelen mutasyonlar kalıcıdır, yani sonraki nesillere nakledilir (Holland ve Onai 2012).

Yumurtayı bulan spermın baş tarafında bulunan akrozom örtüde proteolitik enzimler vardır ve yumurta ile buluşunca serbest bırakılır. Yumurtayı çevreleyen jelatinimsi yapı ve vitellin zarı spermde bulunan proteolitik enzimler tarafından delinir ve sperm çekirdeği yumurta içine bırakılır. Yumurta ve sperm çekirdeklerinin kaynaşması olayına döllenme denir.

Olgunlaşmış oositin ilk mayoz bölünmesi yumurtlamadan önce tamamlanır ve ilk kutup hücresi oluşur. Ardından ikinci mayoz başlanır. İkinci mayoz bölünmenin metafaz

safhasında bölünme durdurulur. Bu safhada durdurulan bölünme yumurtlama sonrasında döllenme ile tetiklenir ve 10 dakika içinde tamamlanır. İkinci mayoz bölünme ikinci kutup hücrelerinin oluşmasına ve anneye ait kromozomların hayvan kutbuna göç etmesine neden olur. Giriş noktasından bağımsız olarak, sperm çekirdeği önce yumurtanın bitki kutbuna göç eder. Sonra hayvan kutbuna gelir ve maternal kromozomlara katılır (Carvalho ve ark. 2021).

Bir hücreli evrede (zigot) yumurta hücresi, eşit şekilde dağılmış yüksek miktarda granül nedeniyle yarı opak ve vitellin zarı ile çevrilidir. Vitellin zarı yumurta hücresini çevreleyen ince, koruyucu bir zardır. Bu zar döllenmeden önce spermin yumurtayı tanınmasında ve ona bağlanmasında önemli rol oynar. Döllenmeden sonra ise döllenme zarfını oluşturarak sertleşir ve başka spermelerin yumurtaya girmesini engeller. Bu, polispermi (birden fazla spermle döllenme) olayını önleyerek normal gelişimi sağlar. Memelilerde vitellin zarı yerine zona pellucida adı verilen bir yapı bulunur, ancak işlevleri benzerdir. İlk bölünmeler, gastrulasyon ve nörolasyonun ilk evreleri döllenme zarfı içinde gerçekleşir (Holland ve Onai 2012; Carvalho ve ark. 2021).

Bilindiği gibi amfiyoksüs gibi balıklar başta olmak üzere birçok su canlısı da dış döllenme ile ürer. Yani aynı ortamda aynı anda birçok türe ait milyonlarca yumurta ve sperm bulunur. Ancak aynı türe ait yumurta ve sperm birbirlerini tanır. Bir türe ait bir yumurta başka bir türe ait bir sperm kabul etmez. Anahtar-kilit misali yumurta, farklı olan sperm tanımaz ve içeri almaz.

Ayrıca bir yumurta sadece bir spermle döllenir. Halbuki aynı ortamda aynı türe ait milyonlarca sperm bulunur. Yumurta, döllendikten sonra aynı türe ait de olsa ikinci bir spermin yumurtayı döllemesine izin verilmez. Yumurta ve sperm arası nasıl bir etkileşimin olduğu ve böylesine hikmetli bir işin nasıl başarıldığı bugün bile esrarını koruyan bir durumdur. Olayın mekanizması tam bilinmese de döllenme sürecindeki bu muhteşem ve hikmetli mekanizmanın türleri korumak için olduğu çok açıktır. Hikmetli bir iş, tesadüflerle yapılamaz. Aynı hikmetli işin tüm dünya denizlerinde milyarlarca tekrarı üstelik aynı işin yaklaşık 520 milyon yıldır değişmeden yapılması imkânsızdır. Türlerin korunması için çok ince olan vitellin zarına böylesi hikmetli bir mekanizmanın yerleştirilmesi, aynı mekanizmanın tüm dünya denizlerinde ekolojik şartların en değişken olduğu sahil sularında tekrarlanması ve yaklaşık 520 milyon yıldır sürdürülmesi olayın ilahi irade ve ilim ile olduğunun açık delilidir.

3.2. Döllenme Zarfı

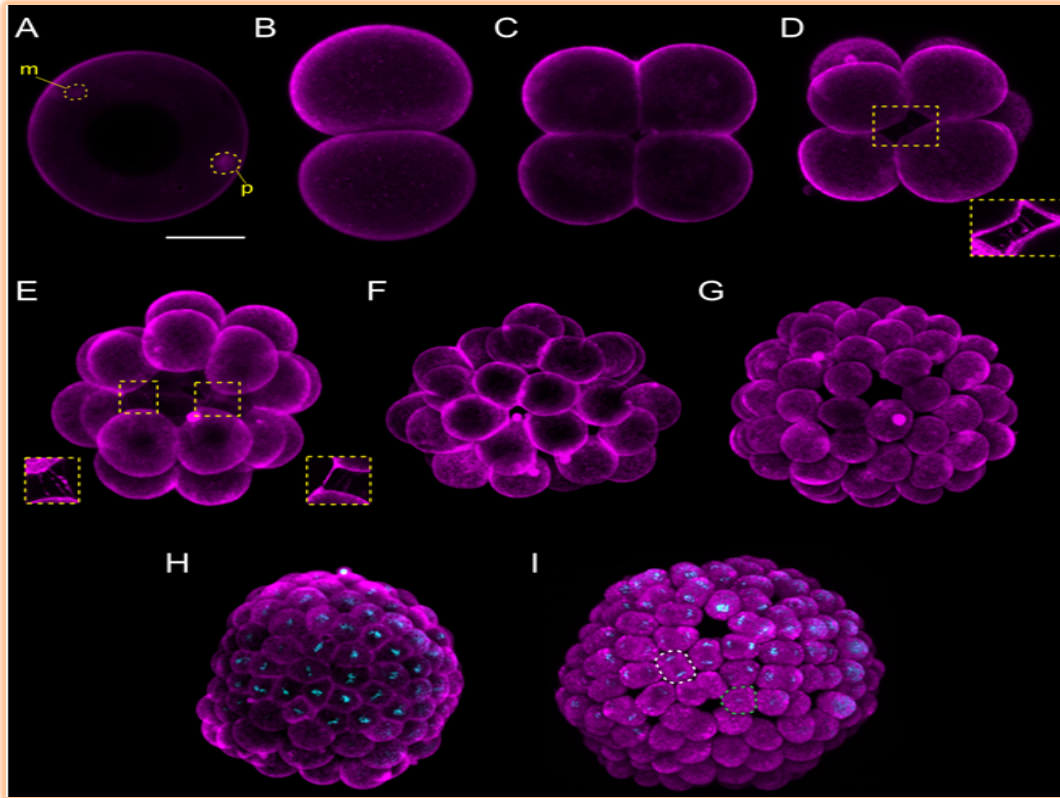
Yeni yaratılan zigotlar, dış etkilerden korunmak için döllenme zarfı içindedirler. Döllenme zarfı, döllenmeden hemen sonra yumurta hücresinin çevresinde yaratılan koruyucu bir yapıdır. Bu zarf, spermin yumurtayı döllemesiyle tetiklenen bir reaksiyon sonucu oluşur. Döllenme zarfı, çoklu döllenmeyi (polispermi) önleyerek embriyonun normal gelişimine vesile olur. Ayrıca dışarıdan gelen zararlı maddelerin embriyoya girmesi engellenir. Embriyoyu çevresel etkenlerden izole ederek güvenli bir gelişim ortamı sağlar.

Döllenme zarfı yaratılması için öncelikle sperm, yumurtanın dış zarına (vitellin zarına) bağlanır. Sperm hücresinin başında bulunan enzimlerle yumurta zarı delinir. Sperm yumurtanın sitoplazmasına girer. Yumurta içindeki kortikal granüller (hücre zarının hemen altında bulunan özel veziküller) hücre zarına taşınır. Granüller, yumurta zarına salındıktan sonra muhtevasını dışarı bırakır. Kortikal granüllerden salınan maddeler, vitellin zarının kimyasal yapısını değiştirir. Bu değişim sonucunda vitellin zarı sertleşir ve kalınlaşır. Döllenme zarfı da embriyonal gelişimi koruma altına alan hikmetli bir yapıdır. Döllenmeden

hemen sonra yumurtanın koruma altına alınması, bunun için özel moleküllerin görevli olması oldukça hayret vericidir. Yumurta içinde bulunan ilgili çok sayıda molekül akıllıca hareket ederek hücre zarına taşınır ve muhtevasını dışarı bırakır. Yapılan işin son derece hikmetli olması, işi yapanın ise cansız ve akılsız moleküller olması arasında uyumsuzluk vardır. Bu zıtlık, yumurta içinde bulunan ilgili moleküllerin hem tasarımının hem de idaresinin ilahi bir ilim ve kudretle olması ile açıklanabilir.

3.3. Zigottan Sonraki Bölünmeler

Amfiyoksüs zigotunda hem anneden alınan DNA (maternal DNA) hem de babadan alınan DNA (paternal DNA) mevcuttur (Şekil 3 A). Amfiyoksüs yumurtasının ilk yarıklanması (bölünme şekli) radyal holoblastiktir (total ekual). Yani bölünme, blastomerleri hayvan-bitki eksenini boyunca tamamen ayırır. İlk bölünmenin başlangıç noktası yumurtanın hayvan kutbundan başlatılır. İlk bölünme neticesinde iki benzer şekilli blastomer yaratılır (Şekil 3B). İki blastomerin her birinden tam bir canlı yaratılabilir. Ancak iki blastomerden yalnızca biri germ plazmasını miras alır (Holland ve Onai, 2012). Germ plazmasını miras alan hücre, ileride canlının üreme hücrelerini (gametlerini=sperm ve yumurta) oluşturacak olan özel bir sitoplazmik materyali taşır ve gelecekteki üreme hücrelerinin gelişimi için gerekli olan RNA'lar, proteinler ve diğer molekülleri ihtiva eder (Carvalho ve ark. 2021).



Şekil 3. Amfiyoksüs grubu canlılarda (*Branchiostoma lanceolatum*) döllenme, bölünme ve blastula evreleri (Carvalho ve ark. 2021). Zigotta (A), m harfi ile maternal DNA (anneden alınan DNA); p harfi ile paternal DNA (babadan alınan DNA) gösterilmiştir. Ölçek çubuğu: 50 μ m (0,05 mm)'dir. I'da beyaz kesikli çizgi telofazdaki bir hücreyi ve yeşil kesikli çizgi sitokinez sonrası bir hücreyi ifade eder.

İkinci bölünme meridional olup birincisine dik açıyla gerçekleşir ve yaklaşık eşit büyüklükte dört blastomer yaratılır (Şekil 3C). Bu aşamada blastomerler güçlü bir şekilde yapışık değildir. Bu safhada blastomerlerin ayrılması ikizlerin hatta dördüzlerin yaratılmasına yol açabilir (Carvalho ve ark. 2021; Holland ve Onai 2012). Segmentasyon, ekvatorial bir

bölünme ile devam eder ve sonunda dört hayvan ve dört bitki kutbunda olmak üzere 8 blastomer yaratılır. Bu sekiz blastomerden hayvan kutbunda olanlar bitki kutbunda olanlardan biraz daha küçüktür (Şekil 3D). Blastomerler, kısa mikrovilluslar ve bitişik blastomerler arasındaki boşluğu köprüleyen ince filopodiyal uzantılarla bir arada tutulur. Filopodiyal uzantılar, hücre yüzeyinde bulunan ince uzun ipliksi yapılardır (Şekil 3D).

Sekiz blastomerli evrenin ardından gerçekleştirilen meridyonal bölünme ile 16 (Şekil 3E), bundan sonra gerçekleştirilen ekvatorial bölünme ile de 32 blastomer yaratılır (Şekil 3F). 32 blastomerli aşamada embriyo, blastosöl adı verilen merkezi bir boşluk ve bu boşluğun etrafında dizilen tek katmanlı hücrelerden oluşur. Blastomerler düzenli olarak bölünerek 64 hücreli aşama (Şekil 3G) ardından 128 hücreli aşama (Şekil 3H) oluşturulur (Carvalho ve ark. 2021).

Sekizinci bölünme ile 128 hücreden 256 hücre yaratılır. Sekizinci hücre bölünmesi safhasında embriyo içinde asenkron bölünmeler başlar. Bu safhadaki embriyoya blastula denir (Şekil 3I). Blastulayı oluşturan hücreler, gastrulasyon başlamadan önce iki tur daha bölünür (Carvalho ve ark. 2021).

Amfiyoksüs yumurtası, yumurtanın bölünme şekli ve ilk embriyonal gelişimi insanın ilgili özellikleri ile benzerdir. Sadece insan değil kedi, köpek, koyun, keçi, inek, eşek, deve gibi hayvanlarda da yumurta tipi, bölünme şekli ve ilk embriyonal gelişim benzerdir. Ancak moleküler seviyede hiçbir zaman şaşma olmaz ve daima amfiyoksüs yumurtasından amfiyoksüs, insan yumurtasından insan yaratılır. Oysa yumurta içinde iş yapan ve hücre kaderlerini belirleyen mekanizmalar benzer olduğu gibi görev alan moleküller de benzerdir. Hal böyleyken birbirlerine benzemez canlıların yaratılması elbette moleküllerin işi olamaz. Moleküller kendi başına organize olarak bu kadar mu'cize farklılıkları yapamaz. İlahi irade ve ilim görmezlikten gelinemez.

3.4. Embriyo Kader Haritası

Döllenme zarfı yapıldıktan sonra zigot gelişimi hızlanır. Erken embriyonal dönemde hücre kaderleri gelişim ilerledikçe kademeli olarak belirlenir (Holland ve Onai 2012). Embriyoyu oluşturan hücrelerin nasıl bölüneceği, farklılaşacağı, nereye göç edeceği ve hangi dokuya dönüşeceği (kaderi) takdir edilir (Şekil 4).

Döllenmeden sonra, yumurta ve sperm çekirdeklerinin hareketleriyle yumurta içinde değişimler meydana gelir. Bu değişimlerden biri yumurtanın hayvan kutbunda meydana gelen mitokondri yoğunlaşmasının olduğu bir kısmın oluşmasıdır. Mitokondri yoğunlaşması olan bu kısmın amfiyoksüste dorsal/ventral eksenin yapılmasında görev aldığı tahmin edilmektedir.

Embriyonik eksenler boyunca desen oluşturma, bir embriyonun gelişim sürecinde vücut yapılarının ve organların doğru konumlara yerleşmesi için hücrelerin organize bir şekilde yerleşmesi ve farklılaşması anlamına gelir. Bu süreç, embriyonik gelişimin erken aşamalarında başlar ve vücudun baş, kuyruk, sağ-sol, ön-arka gibi ana eksenlerinin belirlenmesini ihtiva eder. Embriyonik eksenler boyunca desen oluşturma, doğru vücut yapısının oluşmasını sağlayan temel bir süreçtir. Bu süreçteki hatalar, doğumsal anomalilere, vücut simetrisinin bozulmasına veya organların yanlış yerde oluşmasına neden olur. Embriyonik eksenler boyunca desen oluşturma, salgılanan sinyal proteinleri aracılığıyla gerçekleşir (Holland ve Onai 2012).

Erken embriyonik gelişimde rol alan sinyal proteinleri ya yumurtanın içinde doğrudan protein şeklinde ya da mRNA formunda bulunur veya sonradan sentezlenir. Döllenme sonrasında aktive olup embriyonik hücrelerin farklılaşmasını, vücut eksenlerinin oluşumu ve doku gelişiminde görev alır. Sinyal proteinleri doğru zamanda kritik sinyallerle hücre kaderinin belirlenmesine hizmet eder. Embriyonik eksenlerin (örneğin dorsal/ventral, anterior/posterior) oluşumuna vesile olur. Bu proteinler, yumurtanın farklı bölgelerinde yoğunlaşarak embriyo gelişiminde görev yapar.

Embriyo kader haritalaması, yetişkin dokuların ve yapıların embriyonik kökenini incelemek için gelişim biyolojisinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Embriyo kader haritaları özel boyama yöntemleri ile belirlenir. Kader haritaları ile embriyoyu oluşturan hücrelerin hangi dokulara veya yapılara dönüştürüldükleri izlenir.

3.4.1. Embriyo Kader Haritasını Belirleyen Unsurlar

Embriyonik gelişim sürecinde blastomerlerin farklılaşması ve çoğalmasında çeşitli makromoleküller görevlidir. Makromolekülleri organize eden ve blastomerlere uzuvlar ve karmaşık organlar oluşturmalarını söyleyen nedir? Genler özellikle de homeobox adı verilen büyüleyici bir gen grubunun yanında hücre kader haritasının belirlenmesinde organizatör merkezler (sinyalleme merkezi) vardır (De Robertis ve ark. 1990).

Bu merkezler, embriyonik gelişim sırasında hücrelerin hangi tür hücrelere dönüştürüleceğinin ve nerede konumlandırılacağına kontrol edildiği bölgelerdir. Organizatör merkezlerden hücrelere kimyasal sinyaller gönderilir ve bu sinyallerle onların kaderi belirlenir.

Embriyonik gelişim esnasında belirli bölgelerdeki hücrelerden sinyal molekülleri salgılanır ve komşu hücrelerden bu sinyallere cevap verilir. Bu sinyaller vasıtası ile hücrelerin kaderini etkileyen spesifik genlerin aktivitesi düzenlenir. Sinyal molekülleri erken embriyonal gelişimde kritik bir rol oynar. Sinyal molekülleri; embriyonal gelişimin başlangıç aşamasında hücrelerin kaderini, organizasyonunu ve farklılaşmasını yönlendiren önemli sinyal yollarının tetiklenmesinde vazifelidirler. Bu süreç, embriyonun düzgün gelişimi için gereklidir. Sinyal molekülleri ile hücreler doğru şekilde organize edilir, doku ve organlar yaratılır (Gritsman ve ark 2000; Xanthos ve ark. 2002; Soboloff ve ark. 2006; Komiya ve Habas 2008; Arias ve Steventon 2018; Kumar ve ark. 2021).

Erken embriyonal gelişimde görev alan başlıca sinyal molekülleri şunlardır:

1. Wnt Sinyali: Wnt proteinleri, hücrelerin eksenlerinin (ön-arka, sağ-sol), hücre kaderinin belirlenmesinde, embriyonun segmentasyonunda ve vücut planının oluşturulmasında önemli görev yapar.

2. Sonic Hedgehog (Shh): Morfojen olarak görev yapan Sonic Hedgehog proteini, hücrelerin ve dokuların farklılaştırılmasında görevlidir. Özellikle sinir sistemi gelişiminde, uzuvların oluşumunda ve beyin yapılarının düzenlenmesinde rol alır.

3. Fibroblast Büyüme Faktörleri (FGF): FGF ailesi büyüme faktörleri, embriyonun gelişiminde hücrelerin çoğalması, göçü ve farklılaşması gibi olaylarda görev alır.

4. TGF- β (Transforming Growth Factor-Beta) ve BMP (Bone Morphogenetic Proteins): TGF- β ailesinden moleküller, hücrelerin farklılaşmasında, dokuların şekillendirilmesinde ve hücre döngüsünde vazifelidirler. BMP'ler özellikle embriyonun erken gelişiminde doku ve organ gelişiminde kullanılan önemli sinyal molekülleridir.

5. Notch Sinyali: Hücre-hücre iletişimi yoluyla görev yapan Notch sinyal yolu, hücrelerin kaderini belirleyen kararların belirlenmesinde ve hücre farklılaşmasında görevlidir. Özellikle sinir sistemi gelişimi sırasında önemli işler yapar (Palma ve ark. 2001; Xanthos ve ark. 2002; Soboloff ve ark. 2006; Komiya ve Habas 2008; Néant ve ark. 2015; Kumar ve ark. 2021). Bu sinyal yolları ve molekülleri, embriyonun erken gelişiminden itibaren hücrelerin farklılaşmasında ve belirli dokulara dönüştürülmesinde görevlidir. Mesela bu moleküller sayesinde embriyo üç germ tabakasına (ektoderm, mezoderm ve endoderm) ayrılır ve her tabakadan farklı doku ve organlar yaratılır. Hücrelerin nasıl ve ne kadar farklılaşacağı sinyal moleküllerinin dozu, konumu ve sinyal süresi ile belirlenir. Hücre farklılaşması, dışardan gelen sinyallerin hücrede belirli genlerin açılması ya da kapanması ile gerçekleşir. Bu süreç, aşağıdaki mekanizmalarla işler:

1. Morfojen gradyanı (Konsantrasyon farkı): Sinyal moleküllerinin hücreler üzerindeki etkisi, bu moleküllerin konsantrasyonuna bağlıdır. Sinyal molekülüne yakın olan hücreler yüksek doz alırken, uzakta olanlar düşük doz alır. Hücreler, maruz kaldıkları sinyal molekülü seviyesine göre farklılaştırılır.

2. Sinyal sürekliliği ve zamanlama: Hücre kaderinin belirlenmesinde sinyalin ne kadar süreyle hücreye ulaştığı önemlidir. Kısa süreli bir sinyalle hücrede farklı bir cevap oluşturulurken, uzun süreli sinyal ile bambaşka bir farklılaşma yolu tetiklenir. Ayrıca embriyonun gelişiminin farklı aşamalarında aynı sinyal molekülüne farklı işler yaptırılabilir.

3. Sinyal kombinasyonu ve entegrasyonu: Bir hücreye aynı anda birden fazla sinyal molekülü etki edebilir. Sinyal kombinasyonu, hücrenin kaderini belirlemede kritik rol oynar. Alınan farklı sinyallere göre hücrenin nasıl farklılaşacağına karar verilir. Bir sinyal yolu diğerini güçlendirebilir, baskılayabilir veya tamamen farklı bir etki yapabilir.

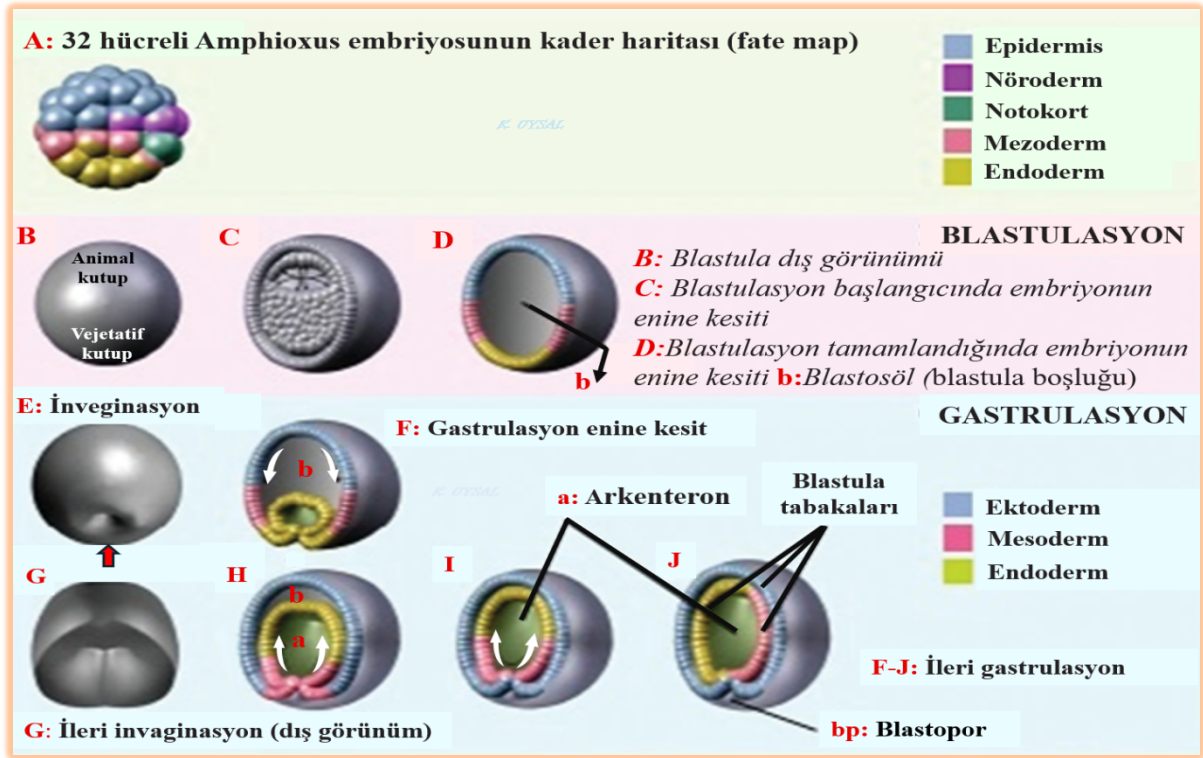
4. Hücrelerin konumu: Embriyoda hücrelerin buldukları yer, aldıkları sinyalleri ve bu sinyallere verdikleri cevapları etkiler. Mesela embriyo eksenleri boyunca farklı konumlarda bulunan hücreler, belirli sinyallere maruz kalır ve buna göre spesifik doku ve organlar yaratılır. Mesela omurgalı bir canlı embriyosunda sinir tüpü oluşumu sırasında, dorsal ve ventral bölgelerdeki hücrelere farklı sinyaller gönderilir ve bu sinyallere göre farklı sinir dokularına farklılaştırılır.

5. Genetik ve epigenetik düzenlemeler: Hücrelerin aldıkları sinyallere cevap olarak çekirdekdeki belirli genler aktive edilir veya baskılanır. Bu genetik cevap, hücrenin farklılaşmasını sağlar. Ayrıca, epigenetik faktörler (DNA metilasyonu, histon modifikasyonları gibi) hücrelerin uzun süreli farklılaşmasını etkiler. Mesela bir hücre, Wnt sinyali aldığı anda, hücre çekirdeğindeki spesifik genler aktive edilir ve hücreye belirli bir dokuya (örneğin kas hücresine) farklılaşması talimatı verilir (Soboloff ve ark. 2006; Komiya ve Habas 2008; Leclerc ve ark 2012; Arias ve Steventon 2018; Kumar ve ark. 2021).

Özet olarak hücrelerin nasıl ve ne kadar farklılaştırılacağı sinyal moleküllerinin yoğunluğu ve süresi ile ayarlanır. Moleküllere ürettirilen sinyallerle hücrede genetik programlar açılır ve hücrenin kaderi belirlenir. Organ ve dokuların doğru bir şekilde yaratılması sağlanır.

Hücreler çok küçüktür. Küçük bir dokuda binlerce hücre bulunur. Hücreler arasındaki sinyalleşmenin doğru ve etkili bir şekilde işleyebilmesi için oldukça hassas ve karmaşık mekanizmalar devreye girer. Hücrelerde sinyal moleküllerinin doğru algılanması ve yanlış sinyallerden etkilenmemesi için reseptör spesifikliği, sinyal konsantrasyonu, sürekliliği,

hücre-hücre teması ve sinyal inhibisyonu gibi mekanizmalar kullanılır. Birbirine çok yakın oldukları ortamlarda bile hücrelerin doğru sinyali tanınması ve buna göre farklılaşması bu mekanizmalarla sağlanır. Biraz dikkat edilirse açıkça görülecektir ki sinyallerin karışmasını önlemek ve doğru sinyali algılamak hücrenin ve hücre dışı moleküllerin yapabileceği iş değildir. Çünkü canlı organizasyonu, canlının bütünü gözetilerek yapılır. İlahi bir irade olmadan bir hücrenin veya bir molekülün canlının bütününe gözeterek akıllıca işler yapması ve el ele verip birlikte organize olması imkânsızdır. Üstelik amfiyoksüs yumurtası ve embriyosu su hareketlerinin çok olduğu sahil sularında gelişir. Bilindiği gibi suyun özellikle deniz suyunun çözündürme ve korozyon gücü çok yüksektir. Bir cihaz kısa sürede suda kalsa ciddi zarar görür. Hatta çok sağlam malzemelerden yapılan deniz araçları bile kısa sürede korozyona uğrar. Tüm dünya denizlerinde yaygın bulunan amfiyoksüs grubu canlıların kabriyen döneminden buyana yaklaşık 520 milyon yıldır vücut planının korunması ve değişmemesi hiçbir şekilde hücre kaderinin belirlenmesinde görev alan yukarıda sayılan hususlarla açıklanamaz ve moleküllerin işidir denemez. Üstelik amfiyoksüs yumurtası serbest olarak suya bırakılmakta ve su içinde döllemektedir. Hücre kaderinin belirlenmesinde yumurta içinde bulunan moleküller amfiyoksüsün embriyonal gelişimi, ilahi bir ilim ve iradeyi zorunlu kılar.



Şekil 4. Amfiyoksüsün kader haritası, blastulasyon ve gastrulasyon (Fernandez ve Gutierrez 2009). A: 32 hücreli amfiyoksüs embriyosu kader haritası. B: amfiyoksüs blastula'nın dış görünümü ve C: Blastulasyon başlangıcındaki embriyonun enine kesiti. D: Embriyo tamamen küresel hale gelmiş iç kısmı tamamen blastosel tarafından kaplanmış ileri blastulanın enine kesiti; b: Blastosöl (blastula boşluğu). E-J: amfiyoksüs gastrulasyonunun farklı aşamaları. İnvaginasyon bitki kutbunda başlatılır ve fincan şeklindeki gastrula yaratılır (G'de dış görünüm). İstila edilmiş katman, animal kutbu yönünde giderek derinleşir ve arkenteron (a) üretilirken blastosöl azalır. Geç gastrulada bitki kutbu embriyonun arka tarafını işaretleyen blastopor (bp) boyunca açık kalır. Doku hareketleri oklarla gösterilmiştir.

3.5. Blastulasyon ve gastrulasyon

Amfiyoksüs grubu canlılarda blastulasyon ve gastrulasyon, blastula kader haritasına uygun şekilde gerçekleştirilir. Şekil 4'te 32 hücreli amfiyoksüs embriyosu kader haritası, buna uygun blastulasyon ve gastrulasyon şematize edilmiştir. Bu safhada dölleme zarfı tarafından

korunan zigot, blastulaysan fazına girene kadar tekrarlayan radyal holoblastik bölünme yaşar. Blastosöl (iç boşluk), çevredeki hücrelere ulaşana kadar giderek büyür. Sonunda tek katmanlı bir hücre tabakasıyla korunan küre şeklinde bir blastula meydana getirilir. Blastula boşluğunu çevreleyen hücreler şekil ve boyut açısından birbirinin aynısı değildir. Bitki kutbundaki blastula hücreleri daha büyüktür. Embriyonal taslağın bu aşamasında bitki kutbu henüz düz değildir. Ancak hücrelerin büyük olması düzleşmenin başlayacağı bitki kutbunun göstergesidir.

İlerleyen safhada embriyonun bitki kutbu düzleşmeye ve içe doğru kıvrılmaya başlar ve küresel şekil kaybolur (Şekil 4). Düzleşmiş bitki kutbunda bir çöküntü meydana gelir. Bu çöküntü ise daha sonra blastopora (blastula açıklığı) dönüşür. Bitki kutbundaki doku blastosöle (blastula boşluğu) invagine olmaya başlar. İnvaginasyon, bitki kutbundaki bir hücre tabakasının içeri doğru kıvrılarak veya katlanarak bir boşluk ya da girinti oluşturmasıdır. Bu mekanizma embriyolojik gelişimin gastrulasyon sırasında önemli bir rol oynar. İçe doğru katlanan kısım iç organların ve diğer vücut yapılarını meydana getiren endoderm ve mezoderm gibi iç hücre tabakalarının oluşumuna vesile olur. İnvagine olan hücrelerden endomezoderm, dış tabakadaki invagine olmayan hücrelerden ise gelecekteki genel ve sinirsel ektoderm yaratılır (Carvalho ve ark. 2021; Holland ve Onai, 2012).

Yumurtanın bitki kutbunun kademeli olarak içe doğru kıvrılması (invagine) ile karakteristik çanak veya fincan şeklindeki gastrula yapılır. Sonraki gastrulasyon hareketleri, arkenteron boşluğunun genişlemesine ve blastosöl boşluğunun küçülmesine ve ilerleyen safhalarda yaklaşık tamamen kaybolmasına neden olur. Bir kap veya fincan şeklindeki gastrulada blastoporun çapı embriyonun tamamının yaklaşık yarısı kadardır. Sonraki gastrulasyon hareketleri, arkenteron boşluğunun genişlemesi ve blastosöl boşluğunun neredeyse tamamen kaybolması ile sonuçlanır. Bu süreç blastoporal açıklığın daralmasına sebep olduğundan blastoporal dudağı bükerek önce fincan sonra vazo şeklinde bir gastrula oluşmasına vesile olur.

Bitki kutbu boyunca oluşturulan oluk, hayvan kutbu yönünde derinleşerek blastula boşluğuna doğru ilerler. Böylece blastula boşluğu küçülür. Blastopora bağlantılı arkenteron boşluğu ise büyür. Bu bölge, embriyonun arka kısmını oluşturur. Bu noktaya kadar amfiyoksüs grubu canlıların embriyonik gelişimi genel anlamda omurgasız ikincil ağızlıların (deuterostomia) tipik bir örneğidir. Yani derisi dikenlilerin (echinoderm) veya gömleklilerin (tunicate) erken gelişiminden çok farklı değildir. Derisi dikenli ve gömleklilerden farklı olarak amfiyoksüs zigotunda düzenleyici merkezler vardır. Bu durum ise omurgalı embriyosu gelişimine benzer. Yani amfiyoksüs embriyosunun hayvan ve bitki kutupların gelişimini yöneten bir organizasyon veya düzenleyici merkezin olabileceği tahmin edilmektedir (Fernandez ve Gutierrez 2009).

Kordat vücut planının nasıl ortaya çıktığı hala tartışılan bir konudur. Eevrimciler kordat vücut planı organizatörünün muhtemelen erken kordatlarda ortaya çıktığını ifade ederler (Fernandez ve ark. 2007). Moleküler veriler, amfiyoksüs grubu canlıların kuş ve memelilerdekine benzer bir organizatör merkeze sahip olduğunu göstermektedir. Bu organizatör merkezin ürokordatlarda (tunikler) kayb olduğu ifade edilmiştir (Fernandez ve ark. 2007).

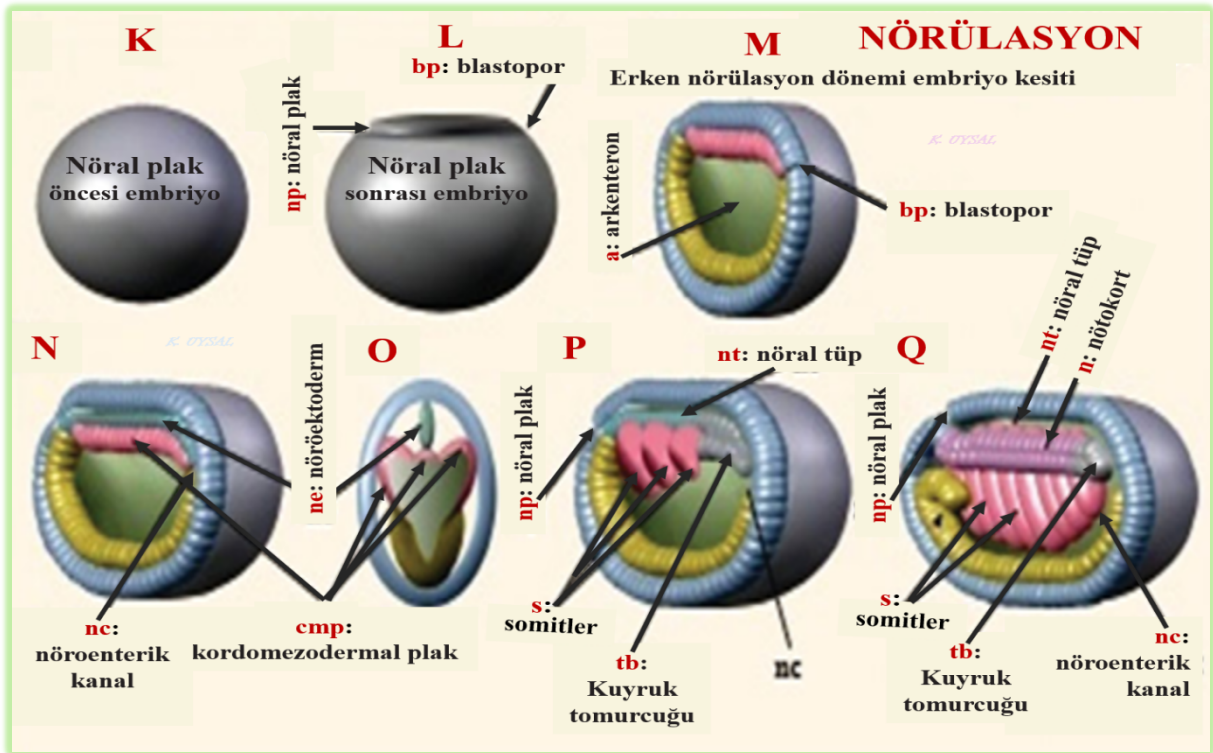
Tek bir hücreden canlının tüm hücre, doku ve organ çeşitlerinin farklılaşması, canlının vücut planına uygun şekilde yerleştirilmesi için ilk embriyonal hücrelerde (blastomer) bir organizatör merkezin tesadüflere dayalı evrim süreçleri ile ortaya çıkması imkânsızdır. Kaldı

ki organizatör olarak gösterilen merkezin elamanları da organizatör yeteneği olmayan akılsız moleküllerdir. O halde ilahi bir ilim ve kudretle embriyonal gelişimin idare edildiği kabul edilmeli ve asıl organizatörün yüce Yaratıcı olduğu bilinmelidir.

Evrim görüşü kordalılarda önceden kazanılan organizatör merkezin ürokordatlarda sonradan kaybolduğunu iddia eder. O halde şu sorunun da açıklanması gerekir: Organizatör merkez neden uzak akraba olan sefalokordatlarda kaybolmadı da daha yakın akraba olan ürokordatlarda kayboldu? Kaldı ki ilahi bir irade ve ilim olmazsa moleküler düzeyde işleyen bir organizatör merkez yarım milyar yıldır mükemmel şekilde korunamaz ve işletilemez. Zigotta ve erken embriyonal evredeki blastomerlerde canlılıktaki mükemmel organizasyonu sağlayan organizatör merkez, Yaratıcı'nın varlığını, türlerin korunması için organizatör merkezin devamlılığının sağlanması ise Yaratıcı'nın iradeli olduğunu gösterir. Çünkü böyle mükemmel işleyen bir organizatör merkez olmasaydı amfiyoksüs ve diğer canlılar milyonlarca yıl korunamazdı.

3.6. Nörülasyon

Gastrulasyonun ardından ektodermal hücrelerden siller (kirpik) yaratılır. Bu safhadan sonra embriyo sil hareketiyle döllenme zarfı içinde dönmeye başlar. Burada bulunan sillerin sol-sağ asimetrisini oluşturmada rol oynadığı tahmin edilmektedir. Gastrulasyon aşaması tamamlandıktan sonra embriyo dorsal olarak düzleşir ve nörülasyon aşamasına girer (Şekil 6). Nörülasyon, omurgalı embriyolarındaki nöral plağın nöral tüpe dönüşümünü içeren katlanma sürecini ifade eder. Bu aşamadaki embriyoya nörüla adı verilir.



Şekil 6. Amfiyoksüsde nörülasyon (Fernandez ve Gutierrez 2009).

K-Q: Nörülasyon, elipsoid embriyonun dorsal kısmının düzleşmesiyle başlar. Düzleşen dorsal kısım nöral plakayı (np) oluşturur. Embriyonun nöral plak oluşumundan önceki (K) ve sonraki (L) dış görünümü. M) Erken nörülasyon döneminde embriyonun uzunlaşmasına kesiti. (N) Epidermis, kordomezodermal plakanın üstünde bulunan nöroektoderm (ne) üzerinde orta hat seviyesinde dorsal olarak giderek kaynaşır. Arka tarafta, nöroektoderm, blastopor bölgesindeki nöroenterik kanal tarafından endodermal tabakadan ayrı kalır. (O) İç yapıların gelişimini gösteren enine kesit: nöral tüp, notokord ve somitler, kordomesodermal plakadan

türetilmiştir. (P) Kapalı bir nöral tüp ve somitleri içeren bir orta nöralın uzunlamasına kesiti. Somitler (s). Notokord, somitlerin arkasında, görüş alanı dışında yer alır. Epidermin altındaki dorsal arka kısım, embriyo uzadıkça arka somitlerin ve notokordun aşamalı olarak oluşacağı kuyruk tomurcuğudur (tb). (Q) Geç bir nöralın boyuna kesiti. Basitleştirmek için sadece bir taraftaki somitler, kapalı nöral tüp, notokord ve kuyruk tomurcuğundan bir görünüm gösterilmiştir. Arkenteronun ventral epiteli kendi üzerine bükülür ve sindirim sistemi ve diğer endodermal türevleri halinde gelişmeye başlar.

Bu safhadaki embriyo segmentlere ayrılmamış durumdadır. Ektoderm dışta ve endomezoderm içte olmak üzere tipik bir dipoblastik organizasyon görülür. Küçük bir blastopor hâlâ görünür durumdadır ve nöroektoderme dönüştürülecek olan dorsal ektoderm, sıg uzunlamasına bir oluğa sahip düz bir yapıdır. Takip eden aşama ilk somitlerin belirmesi ile karakterizedir. Mezoderm, endomezodermin içinde dorsalde yer alır ve üç kıvrım ihtiva eder: biri ortada olup notokorda, ikisi de yanlarda olup anterior somit çiftlerine dönüştürülür (Carvalho ve ark. 2021).

Omurgalılarda olduğu gibi, düz sırt yüzeyi orta hat boyunca kademeli olarak aşağı doğru iner ve tabanı nöral plaka haline gelen V şeklinde bir oluğa yol açar. Nöral tüpün kapanması amfiyoksüs embriyosunda oldukça tuhaftır. Açan bir çiçek gibi kordomezodermal plaka üç ayrı parçadan oluşur. Bu parçalardan biri ortada bulunur ve notokord primordiasını oluşturur. Yanlarda olan parçalar ise ilk somitleri veya gelecekteki miyomerleri oluşturur.

Gelişim sürecinde somitler önden arkaya doğru bir dizilimle belirmeye başlar. Dorsalde bulunan nöral olmayan ektoderm de nöral plakanın kenarlarından ayrılmaya başlar. Ayrılmalarının ardından ektodermal hücreler lamellipodia kullanılarak nöral plakanın üzerinden göç ettirilir ve dorsal orta hatta birleştirilir. Bu sürecin sonunda, nöral plaka tamamen nöral olmayan ektoderm tarafından kaplanır ve ön tarafta nöropor oluşturulur (Holland ve Onai, 2012; Carvalho ve ark. 2021). Nörülasyon ilerledikçe archenteron artık dış ortamla temas etmez, ancak oluşan nöral tüp ile bağlantı sağlar.

Embriyonal gelişimde:

4-5 somit çifti belirginleştiği aşamada embriyo, kuluçka enzimlerinin sentezi ve salgılanmasıyla döllenme zarfından çıkar ve sil hareketi ile serbestçe yüzmeye başlar. Merkezi sinir sistemi, notokord ve somitler açıkça ayırt edilebilir. Ancak bu safhada notokord ve somitler arasındaki sınırlar her zaman belirgin değildir. İlk somit çiftinin önünde bulunan archenteron bu aşamada genişlemeye başlar ve iki dorsolateral lob oluşturur.

6-7 somit çifti yaratılınca nöral tüp kapanmaya başlar ve sonraki gelişim aşamalarında dairesel hale gelir. Somitlerin ventral uzantılarından lateral ve ventral boşluklar (vücut boşlukları) ve atriyal tabanın kas dokusu yaratılmaya başlanır (Holland ve Onai, 2012).

8-9 somit çiftinin yaratıldığı aşamada anterior archenterondan kaynaklanan iki dorsolateral lobdan iki belirgin kafa boşluğu yapılır.

10-11 somit çifti ile karakterize edilen aşamada, kuyruk tomurcuğundan asimetric somit yaratılmaya başlanır (Carvalho ve ark. 2021).

3.7. Kuyruk tomurcuğu ve larva

Nörülasyonu tamamlanan embriyo, 12 çift somit ihtiva eder. Embriyonun ön ve arka bölgeleri ayrışır ve yutak bölgesi büyür. Embriyo, sinir-kas sistemi işlevselliğini gösteren hafif bükülme hareketleri yapmaya başlar ve uzar. Bu aşamada embriyonun uzaması, yeni somit çiftinin eklenmesinden değil somitlerin uzamasından kaynaklanır. Embriyo uzadıkça vücut incelik, burun belirir ve kuyruk belirginleşmeye başlar. Larva ağzı, sol tarafta açılır. Böbrek

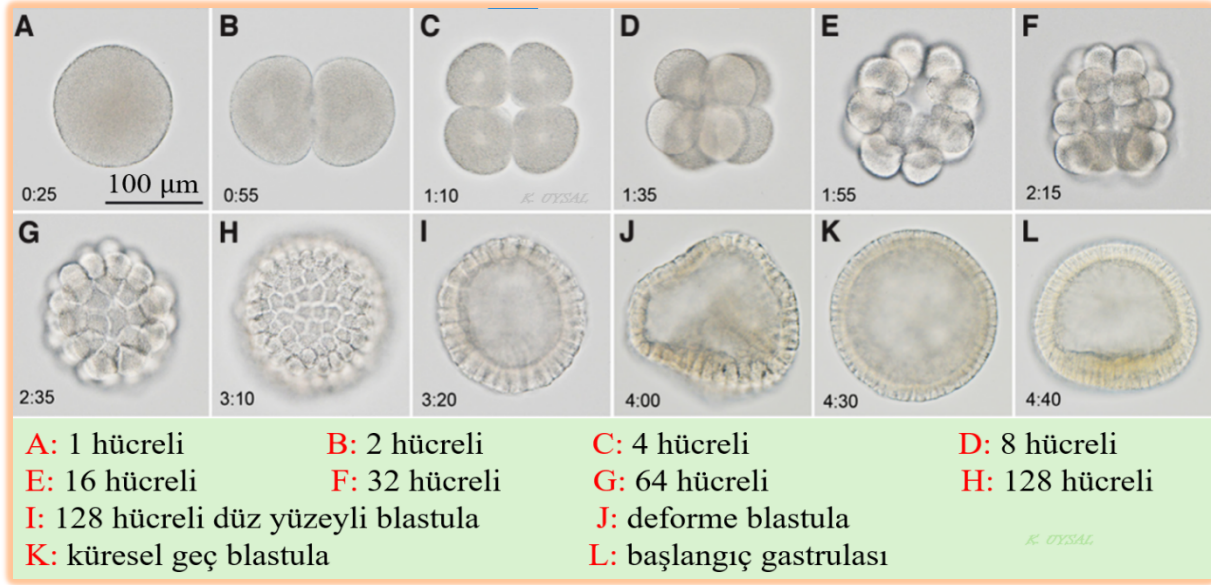
(Hatschek nefridiumu), ektoderm ile larvanın sol tarafındaki en ön somit arasında belirginleşir. Sağ tarafta, ağız karşısındaki ön endoderimde topuz şeklinde bir bez yaratılır.

Ağızın hemen önünde yer alan siller dışarıdan içeriye su akışı sağlar. Yutağın sağ tarafında endodermal duvarın kalınlaşması ile endostil adı verilen bir yapı yaratılır. Endostilden yiyecek parçacıklarını yakalamak için kullanılan mukus salgılatılır.

Larvaların solungaç yarıkları, vücutlarının sağ tarafında yaratılır. Anüs ise bağırsağın arka ucunda, ektodermal kuyruk yüzgecinin hemen anteriorunda şekillenir. Anüsün oluşumu ventral orta hatta başlatılsa da vücudun sol tarafına yerleştirilir. İlk solungaç yarığı da bu esnada yaratılır. Ağız, siller, endostil, anüs ve ilk solungaç yarığının yaratılmasından sonra larva beslenmeye başlar. İkinci ve üçüncü solungaç yarıkları da sırası ile yaratılır. Gelişim larva metamorfoza girene kadar devam eder. Bir larvanın metamorfoza girmeden önce ihtiyaç duyduğu solungaç yarığı sayısı türler arasında değişir. Metamorfoz sırasında dokular yeniden organize edilir ve simetrik bir yavru yaratılır (Fernandez ve Gutierrez 2009; Carvalho ve ark. 2021).

3.8. Embriyonal gelişim hızı

Döllenmiş amfiyoksüs yumurtası, sperm girişinden itibaren 40 dakika sonra bölünür. İlk bölünmenin ardından yaklaşık 20 dakikalık aralıklarla eş zamanlı olarak bölünmeye başlar (Şekil 7). Döllenmeden sonra yaklaşık 4 saat 40 dakika içinde gastrula safhasına ulaşılır.



Şekil 7. 25°C su sıcaklığında amfiyoksüs grubu bir türün (*Branchiostoma japonicum*) gastrula başlangıcına kadarki embriyonal gelişimi esnasında gelişim hızı. Ölçek çubuğu 100 µm (0,1 mm)'dir (Yasui 2017).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hayvan grupları arasında embriyonal hücrelerin bölünme farklılıkları vardır. Evrim görüşü, bu bölünme farklılıklarının belirli maternal moleküllerden ve sitoplazmanın blastomerlere seçici kalıtımından kaynaklandığını varsayar. Oysa amfiyoksüs grubu canlıların embriyonal gelişimini canlı organizasyonunda görev alan moleküllere vermek son derece mantık dışıdır. Çünkü görev alan moleküller ve maddeler de mükemmel organizasyonun bir parçasıdır. Üstelik organize edecek irade ve ilimden de yoksundurlar. O halde amfiyoksüs grubu canlıların embriyonal gelişiminde embriyo dışı ilahi bir irade ve gücün olması lüzumludur.

Tüm sistem ve organların bir tek hücreden (zigot) uyumlu gelişimi organ ve sistemlerin yazılımını barındıran genlerin de ötesinde genom düzenleyici bir mekanizmanın varlığını gösterir. Nitekim canlıda DNA onarım mekanizmaları, RNA interferansı (hücrede belirli genlerin ifadesini baskılayan bir mekanizma) ve epigenetik (DNA'yı değiştirmeden gen ifadesini düzenleyen mekanizma) gibi genom düzenleyici sistemler canlının yaratılmasında ve hayatının sürdürülmesinde önemlidir. Canlıdaki genom düzenleyici mekanizmaların var olması ve hikmetli işletilmesi evrimsel süreçlerle olamaz. Bugünün bilimi ile dahi tam olarak anlaşılabilen böylesine karmaşık sistemleri var etmek ve işletmek ilahi bir ilim ve kudreti gerektirir.

Paleontoloji başta olmak üzere tüm bilimsel veriler amfiyoksüs grubu canlıların vücut planının Kambriyen Patlaması'ndan bugüne korunduğunu göstermektedir. Halbuki amfiyoksüs grubu canlılar, evrim görüşüne göre evrim hızının en yüksek olması gereken ekolojik şartların en değişken olduğu sahil sularında yaşar ve dış döllenme ile ürer. Buna rağmen yaklaşık 520 milyon yıldır canlıların vücut planının korunması evrimsel görüşle izah edilemez. Bilakis ilahi bir irade ve ilmi zorunlu kılar.

5. KAYNAKLAR

- Arias A.M. ve Steventon B. 2018. On the nature and function of organizers. *Development* 145, doi:10.1242/dev.159525.
- Bertrand S. ve Escriva H. 2011. Evolutionary crossroads in developmental biology: amphioxus. *Development* 138, 4819-4830. doi:10.1242/dev.066720.
- Carvalho J.E.; François Lahaye F., Yong L.W.; Crocèl J.C.; Escrivá H.; Jr-Kai Yu L.K.; Schubert M. 2021. An Updated Staging System for Cephalochordate Development: One Table Suits Them All. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9, 1-18.
- Chen J.Y.; Huang D.Y.; Peng Q.Q.; Chi H.M.; Wang X.Q. ve Feng M. 2003. The first tunicate from the Early Cambrian of South China. *PNAS*, 100 (14), 8314–8318.
- Chen J.Y. 2009. The sudden appearance of diverse animal body plans during the Cambrian explosion. *The International Journal Of Developmental Biology*. 53: 733-751.
- D'Aniello S.; Bertrand S. ve Escriva H. 2023. The Natural History of Model Organisms: Amphioxus as a model to study the evolution of development in chordates. <https://elifesciences.org/articles/87028> (23.09.2024).
- De Robertis E. M., Oliver G. and Wright C. V. (1990) Homeobox genes and the vertebrate body plan. *Sci. Am.* July 263(1): 46–52.
- Edvardsen, R. B., Seo H.C., Jensen M.F., Mialon A., Mikhaleva J., Bjordal M., Cartry J., reinhardt R., Eeissenbach J., Wincker P., Chourrout D. 2005. Remodelling of the homeobox gene complement in the tunicate *Oikopleura dioica*. *Curr. Biol.* 15 (1), 12-13.
- Escriva H. 2018. My Favorite Animal, Amphioxus: Unparalleled for Studying Early Vertebrate Evolution. *BioEssays*, 40 (12), <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01974406>.
- Fernandez, J.G., D'Aniello S. ve Escriva H. 2007. Organizing chordates with an organizer. *Bioessays* 29: 619-624.

- Fernandez J. G. ve Gutierrez E B. 2009. It's a long way from amphioxus: descendants of the earliest chordate. *BioEssays* 31, 665-675.
- Gritsman K., Talbot W.S., Schier A.F. 2000. Nodal signaling patterns the organizer. *Development* 127, 921-932.
- Haeckel E. 1905. *The Evolution of Man; a Popular Scientific Study*, Watts & Co., London.
- Holland L., Onai T. 2012. Early development of cephalochordates (amphioxus). *WIREs Developmental Biology*: 1 (2), 167-183.
- Komiya Y. ve Habas R. 2008. Wnt signal transduction pathways. *Organogenesis* 4 (2), 68-75.
- Kumar V., Park S., Lee U., Kim J. 2021. The Organizer and Its Signaling in Embryonic Development. *Journal of Developmental Biology*. 9, 47.
- Leclerc C., Néant I. ve Moreau M. 2012. The calcium: an early signal that initiates the formation of the nervous system during embryogenesis. *Frontiers in Molecular Neuroscience*. 5 (64), 1-12.
- Louis A., Crollius H.R. ve Rechavi M.R. 2012. How much does the amphioxus genome represent the ancestor of chordates? *Briefings in functional genomics*. 11 (2). 89-95.
- Manzanares, M., Wada, H., Itasaki, N., Trainor, P. A., Krumlauf, R. and Holland, P. W. 2000. Conservation and elaboration of Hox gene regulation during evolution of the vertebrate head. *Nature* 408, 854-857.
- Néant I. Mellström B., Gonzalez P., Naranjo J.R., Moreau M., Leclerc C. 2015. Kcnp1 a Ca²⁺-dependent transcriptional repressor regulates the size of the neural plate in *Xenopus*. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- MolecularCell Reserch*. 1853 (9), 2077-2085.
- Palma V., Manuel Kukuljan M. ve Mayor R. 2001. Calcium mediates dorsoventral patterning of mesoderm in *Xenopus*. *Current Biology* 11,1606–1610.
- Soboloff J., Spassova M.A., Dziadek M.A., Donald L. ve Gill D.L. 2006. Calcium signals mediated by STIM and Orai proteins—A new paradigm in inter-organelle communication. *Biochimica et Biophysica Acta* 1763, 1161–1168.
- Xanthos J.B., Kofron M., Tao O., Schaible K., Wylie C., Heasman J. 2002. The roles of three signaling pathways in the formation and function of the Spemann Organizer. *Development* 129, 4027-4043.
- Yasui K. 2017. Early development of amphioxus links evolutionary events with vertebrates. *Int. J.Dev. Biol.* 61: 591-600.