

Dünya'da Yaşamın Tarihi

Prof. Dr. Bektaş TEPE

Genel Biyoloji

Bölüm 25



Yaşamın Tarihine Çölden Bir Bakış

- Sahra Çölü'nde bulunan balina fosilleri, günümüzdeki çevre koşullarının geçmişi doğrudan yansıtmayabileceğini gösterir.
- Yaklaşık 35 milyon yıl önce yaşamış *Dorudon atrox* fosilleri, bugün Wadi Hitan olarak bilinen bölgede bulunmuştur.
- Bu fosiller, balinaların karasal yaşamdan deniz yaşamına geçişinin erken aşamalarını belgeleyen önemli kanıtlar sunar.
- Yandaki figür, günümüzde çöl olan bu bölgede bulunan balina kalıntılarını göstermektedir.



İZLE



Fosiller Yaşamın Tarihini Nasıl Aydınlatır?

- Fosiller yalnızca geçmişte yaşamış organizmaları değil, yaşamın zaman içinde geçirdiği büyük değişimleri de ortaya koyar.
- Fosil kayıtlar, karasal omurgalıların ortaya çıkışı, kitlesel yok oluşlar ve uçuş gibi önemli evrimsel olaylara ilişkin kanıtlar sağlar.
- Bu büyük ölçekli değişimler, yaşamın evrimsel tarihinin genel görünümünü oluşturur.
- Yaşamın kökeni ise bu tarihsel çerçevenin en spekülatif konularından biridir.

Bi Dünya Biyoloji



Bektaş Tepe
gezimania_tr



Yaşamın Kökenine Giden Olası Yol

- Dünya'daki yaşamın doğrudan kanıtları, yaklaşık 3.5 milyar yıl öncesine ait mikroorganizma fosillerine kadar uzanır.
- İlk hücrelerin nasıl ortaya çıktığı bilinmemekle birlikte, kimya ve fizik bilgileri olası bir süreç önermeye olanak verir.
- Bu senaryoda küçük organik moleküllerin abiyotik sentezi, makromoleküllerin oluşumu, protoseller ve kendini eşleyen moleküller birbirini izler.
- Bu aşamalar deneysel olarak sınanabilecek öngörüler oluşturur.





Erken Dünya'nın Fiziksel Koşulları

- Dünya yaklaşık 4.6 milyar yıl önce, genç Güneş'i çevreleyen geniş bir toz ve kaya bulutundan oluşmuştur.
- İlk birkaç yüz milyon yıl boyunca gezegen, Güneş Sistemi'nin oluşumundan kalan büyük kaya parçalarının bombardımanına uğramıştır.
- Çarpışmaların oluşturduğu yüksek sıcaklık, suyun buharlaşmasına neden olarak deniz ve göllerin oluşmasını engellemiştir.
- Bu yoğun bombardıman yaklaşık 4 milyar yıl önce sona ermiş ve Dünya'nın yüzeyi giderek soğumaya başlamıştır.





Erken Atmosfer ve Okyanusların Oluşumu

- İlk atmosferde çok az oksijen bulunmuş; su buharının yanında volkanik patlamalarla açığa çıkan çeşitli gazlar yer almıştır.
- Atmosferde azot ve azot oksitleri, karbondioksit, metan, amonyak ve hidrojen bulunmuş olabilir.
- Dünya soğudukça su buharı yoğunlaşarak okyanusları oluşturmuş, hidrojenin büyük bölümü ise uzaya kaçmıştır.
- Bu çevresel koşullar, organik bileşiklerin abiyotik oluşumu açısından önem taşır.





Organik Moleküller Abiyotik Olarak Oluşabilir mi?

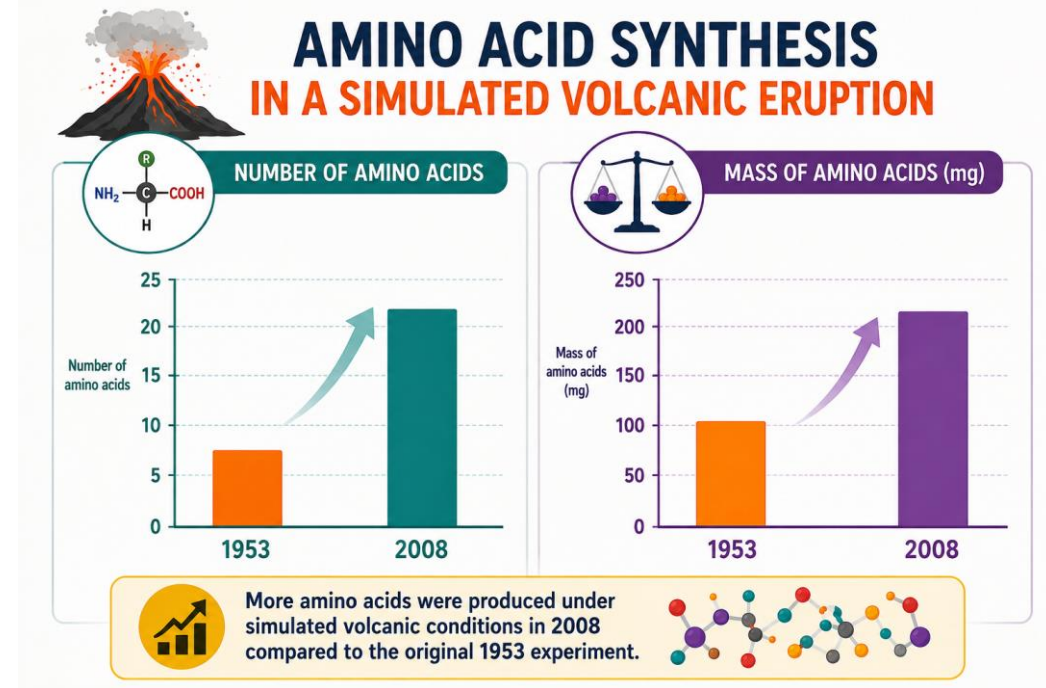
- 1920'lerde Oparin ve Haldane, erken Dünya atmosferinin indirgen özellikte olabileceğini birbirlerinden bağımsız olarak öne sürmüştür.
- Böyle bir ortamda basit moleküllerden daha karmaşık organik bileşiklerin oluşabileceği düşünülmüştür.
- Şimşek ve ultraviyole ışınım gibi enerji kaynaklarının bu sentez için gerekli enerjiyi sağlayabileceği öne sürülmüştür.
- İlk okyanusların organik moleküllerden oluşan bir çözelti hâline gelebileceği düşüncesi bu yaklaşımın bir parçasıdır.





Miller Deneyi ve Organik Molekül Sentezi

- Stanley Miller ve Harold Urey, 1953 yılında erken Dünya koşullarını taklit eden bir laboratuvar sistemi oluşturmuştur.
- Deneyde oluşturulan koşullar altında amino asitler ve başka organik bileşiklerin meydana gelebildiği gösterilmiştir.
- Miller'in 2008'de yeniden analiz edilen örneklerinde, başlangıçta belirlenenden daha fazla amino asit ve başka organik bileşikler saptanmıştır.
- Yandaki figür, 1953 ve 2008 analizlerinde belirlenen amino asitlerin sayı ve toplam miktarlarını karşılaştırmaktadır.





Erken Dünya Atmosferine İlişkin Yeni Yaklaşımlar

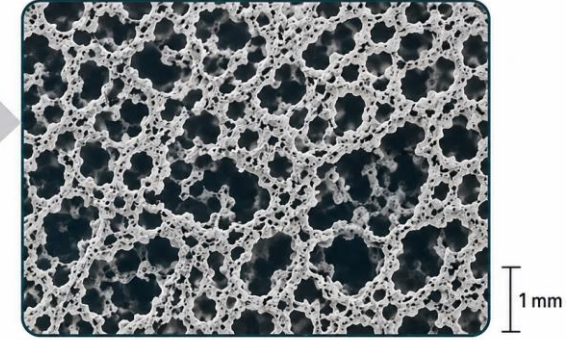
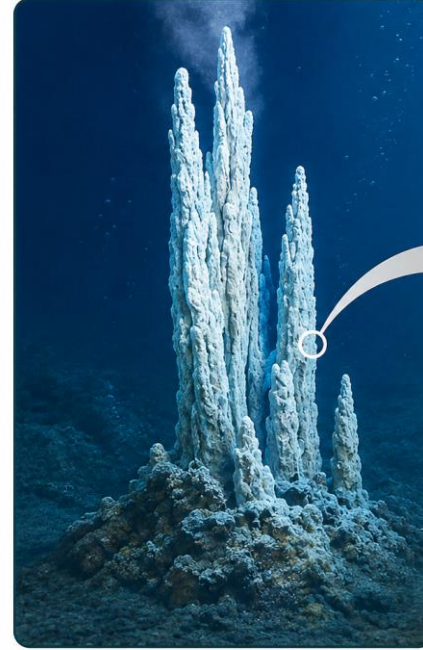
- Güncel kanıtlar, erken atmosferin temel olarak azot ve karbondioksitten oluşmuş olabileceğini düşündürmektedir.
- Bu daha nötr koşulları kullanan Miller–Urey tipi deneylerde de organik moleküller üretilmiştir.
- Volkanik bölgelerin yakınındaki küçük atmosfer ceplerinin metan içermiş olabileceği düşünülmektedir.
- Bu nedenle ilk organik bileşiklerin oluşumu yalnızca tek bir atmosfer modeline bağlı olmayabilir.





Organik Moleküllerin Diğer Olası Kaynakları

- Organik bileşiklerin ilk olarak hidrotermal bacaların çevresinde oluşmuş olabileceğine ilişkin bir başka hipotez bulunmaktadır.
- Derin deniz bacalarında ısınmış su ve mineraller okyanusa taşınırken, bazı bacalar organik bileşiklerin oluşumunu destekleyebilecek kimyasal koşullar sağlar.
- Yandaki figür, alkali derin deniz bacalarının iç kısmındaki gözenekli mineral yapıları ve bu ortamın olası kimyasal özelliklerini göstermektedir.
- Organik moleküllerin bir başka olası kaynağı ise meteoritlerdir.





Meteoritler Organik Moleküller Taşıyabilir mi?

- 1969'da Avustralya'ya düşen Murchison meteoriti, 4.5 milyar yıllık kaya parçalarından oluşmaktadır.
- Bu meteoritte 80'den fazla amino asidin yanı sıra lipidler, basit şekerler ve urasil gibi azotlu bazlar belirlenmiştir.
- Meteoritteki amino asitlerin D ve L izomerlerinin eşit karışımı hâlinde bulunması, bunların Dünya kökenli kirleticiler olmadığını destekler.
- Böylece erken Dünya'daki organik yapı taşlarının en azından bir bölümünün uzaydan gelmiş olabileceği düşünülmektedir.



Küçük Moleküllerden Makromoleküllere

- Amino asitler ve azotlu bazlar gibi küçük organik moleküllerin varlığı, yaşamın ortaya çıkması için tek başına yeterli değildir.
- Her hücre, kendini eşlemek için gerekli bilgiyi taşıyan proteinler ve nükleik asitler gibi makromoleküllere ihtiyaç duyar.
- 2009'da yapılan bir çalışma, RNA monomerlerinin daha basit öncül moleküllerden kendiliğinden oluşabileceğini göstermiştir.
- Laboratuvar deneylerinde amino asit veya RNA nükleotidi çözeltilerinin sıcak kum, kil ya da kaya üzerine damlatılmasıyla polimerler üretilebilmiştir.



Protoseller Yaşama Doğru Bir Ara Basamak Olabilir mi?

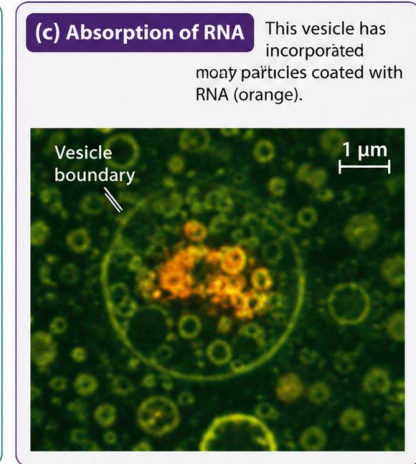
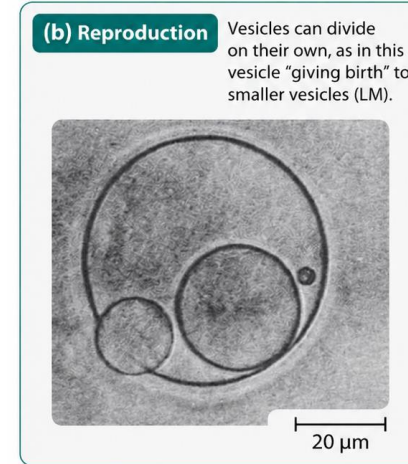
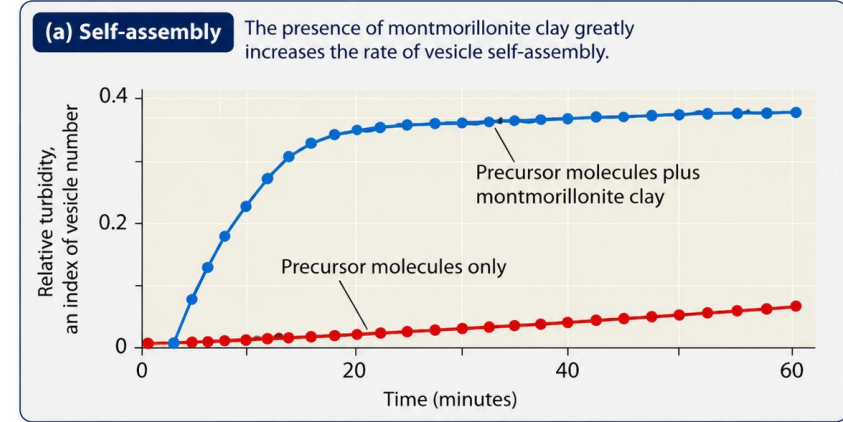
- Organizmalar hem üremek hem de metabolizmalarını gerçekleştirmek zorundadır ve DNA gibi moleküller genetik bilgiyi taşır.
- Bu durum, kendini eşleyebilen moleküllerin ve metabolik yapı taşlarının aynı bölmeler içinde bir araya gelmiş olabileceğini düşündürür.
- Protoseller, çevrelerinden farklı bir iç kimyasal ortamı koruyabilen zarla çevrili sıvı bölmeler olarak ele alınır.
- Laboratuvar deneyleri, abiyotik olarak oluşan veziküllerin yaşamla ilişkili bazı özellikler gösterebildiğini ortaya koymaktadır.





Veziküller Kendiliğinden Nasıl Oluşabilir?

- Lipidler veya başka organik moleküller suya eklendiğinde, hidrofilik ve hidrofobik bölgeler çift tabakalı yapılar oluşturabilir.
- Bu çift tabaka, plazma zarına benzer şekilde bir vezikül meydana getirebilir.
- Montmorillonit kili gibi maddeler vezikül oluşum hızını artırırken, abiyotik olarak oluşmuş veziküller kendiliğinden çoğalabilir.
- Figür a, montmorillonit kilinin veziküllerin kendiliğinden oluşumu üzerindeki etkisini göstermektedir.



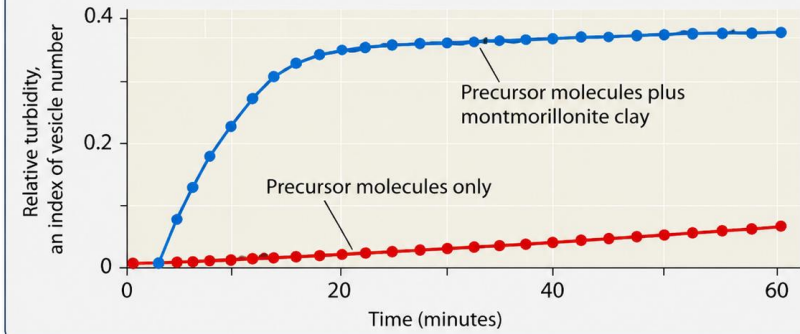


Protosellerin Üreme ve Madde Alma Özellikleri

- Veziküller içeriklerini seyreltmeden büyüyebilir ve bazı montmorillonit parçacıklarını bünyelerine alabilir.
- Deneyler, veziküllerin seçici geçirgen bir çift tabakaya sahip olabileceğini ve metabolik reaksiyonlar gerçekleştirebildiğini göstermiştir.
- Figür b, bir vezikülün kendi kendine bölünerek yeni veziküller oluşturmalarını göstermektedir.
- Figür c, montmorillonit parçacıklarına bağlı RNA'yı bünyesine almış bir vezikülü göstermektedir.

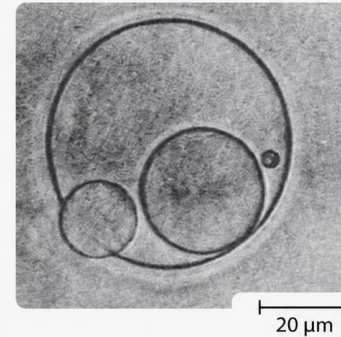
(a) Self-assembly

The presence of montmorillonite clay greatly increases the rate of vesicle self-assembly.



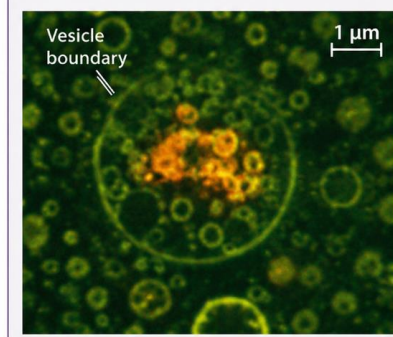
(b) Reproduction

Vesicles can divide on their own, as in this vesicle "giving birth" to smaller vesicles (LM).



(c) Absorption of RNA

This vesicle has incorporated many particles coated with RNA (orange).





İlk Genetik Materyal Adayı Olarak RNA

- İlk genetik materyalin büyük olasılıkla DNA değil, RNA olduğu düşünülmektedir.
- RNA, protein sentezindeki rolünün yanı sıra ribozim adı verilen enzim benzeri katalitik moleküller olarak da işlev görebilir.
- Bazı ribozimler, nükleotid yapı taşları sağlandığında RNA'nın kısa bölümlerinin tamamlayıcı kopyalarını oluşturabilir.
- RNA'nın bu özellikleri, genetik bilginin depolanması ile kendini eşleme süreçlerinin aynı molekülde birleşebilmesine olanak verir.





RNA Moleküllerinde Doğal Seçilim

- Tek iplikli RNA molekülleri, nükleotid dizilerine bağlı olarak farklı üç boyutlu yapılar kazanabilir.
- Belirli bir ortamda bazı RNA molekülleri diğerlerinden daha kararlı veya daha hızlı çoğalabilir.
- Kendini en iyi eşleyen RNA molekülleri daha fazla kopya bırakırken, kopyalama hataları yeni moleküler varyasyonlar oluşturabilir.
- Laboratuvarda kendini eşleyebilen ribozimlerin elde edilmesi, RNA düzeyinde doğal seçilimin mümkün olabileceğini göstermektedir.





RNA Dünyasından Protosellere

- “RNA dünyası” hipotezi, küçük RNA moleküllerinin genetik bilgiyi depolayıp kendilerini eşleyebildiği erken bir yaşam evresini öngörür.
- 2013 yılında RNA şablonunun vezikül içinde kopyalanabildiği deneysel bir sistem geliştirilmiştir.
- Kendini eşleyen RNA taşıyan veziküller büyüyüp bölünebilirse, RNA moleküllerini yeni oluşan protosellere aktarabilir.
- Kalıtsal özellikler taşıyan bu protoseller üzerinde doğal seçilimin etkili olabileceği düşünülmektedir.





RNA'dan DNA'ya Geçiş ve Yaşamın Gelişimi

- Protosellerde genetik bilgi taşıyan RNA dizileri ortaya çıktıktan sonra başka moleküler değişimler mümkün hâle gelmiş olabilir.
- RNA, DNA nükleotidlerinin sentezi için gerekli kalıbı sağlamış olabilir.
- Çift iplikli DNA, genetik bilginin uzun süreli depolanması açısından daha kararlı ve daha doğru eşlenebilen bir yapı sunar.
- DNA'nın ortaya çıkmasıyla genomların büyümesi ve protosellerin özelliklerinin giderek genetik bilgiyle kodlanması mümkün hâle gelmiş olabilir.





Fosil Kayıtlar Yaşamın Geçmişine Açılan Bir Penceredir

- Fosil kayıtlar, yaşamın en eski izlerinden başlayarak milyarlarca yıllık evrimsel değişimin incelenmesini sağlar.
- Fosillerin nasıl oluştuğu, tarihlendirildiği ve yorumlandığı, yaşamın tarihini anlamanın temelini oluşturur.
- Fosil kayıtlar geçmişte yaşamış organizmaların yanı sıra, canlı gruplarının zaman içinde nasıl değiştiğine ilişkin kanıtlar sunar.
- Bununla birlikte fosil kayıtların sağlayabildiği bilgiler kadar, sahip olduğu sınırlılıkların da dikkate alınması gerekir.





Fosil Kayıtlar Nasıl Oluşur?

- Fosiller bakımından en zengin kayalar tortul kayalardır ve fosil kayıtlar büyük ölçüde bu kayaların oluşum sırasına dayanır.
- Yararlı fosil bilgileri, kehribar içinde korunmuş böcekler ve buz içinde donmuş memeliler gibi başka korunma biçimlerinden de elde edilebilir.
- Fosil kayıtlar, Dünya’da farklı dönemlerde yaşamış organizmalar arasında büyük değişiklikler bulunduğunu ortaya koyar.
- Fosiller ayrıca yeni organizma gruplarının daha önce var olan gruplardan nasıl ortaya çıktığının anlaşılmasına katkı sağlar.





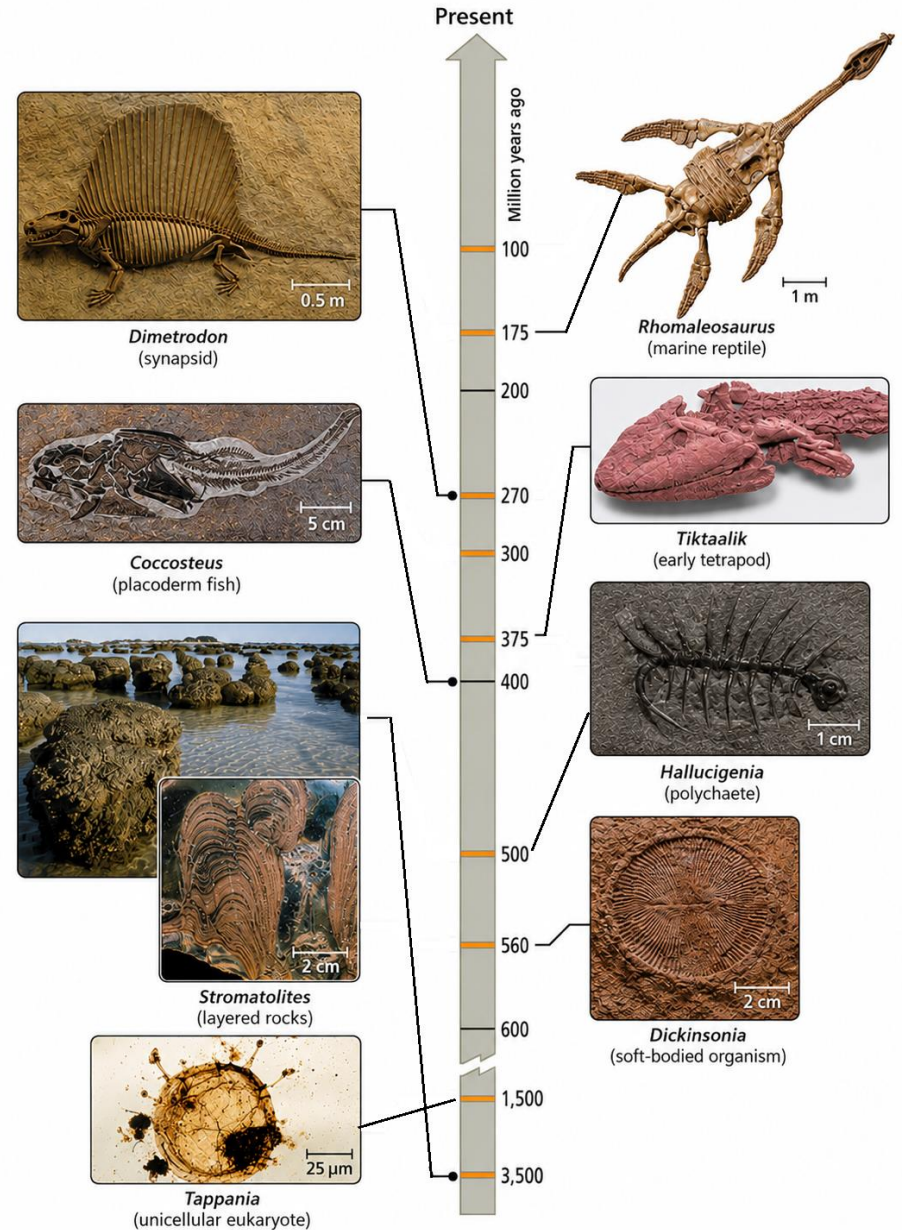
Fosil Kayıtların Sınırları

- Fosil kayıtlar yaşamın eksiksiz bir kronolojisi değildir, çünkü Dünya’da yaşamış organizmaların büyük bölümü fosil hâline gelmemiştir.
- Oluşan fosillerin bir kısmı sonraki jeolojik süreçlerle yok olmuş, mevcut fosillerin ise yalnızca küçük bir bölümü keşfedilmiştir.
- Bu nedenle bilinen fosil kayıtlar, uzun süre yaşamış, yaygın coğrafi dağılım göstermiş ve belirli çevrelerde bulunmuş türler lehine yanlıdır.
- Sert kabuk, iskelet veya fosilleşmeyi kolaylaştıran diğer yapılara sahip organizmalar da fosil kayıtlarda daha iyi temsil edilir.



Fosiller Yaşam Tarihindeki Büyük Değişimleri Belgeler

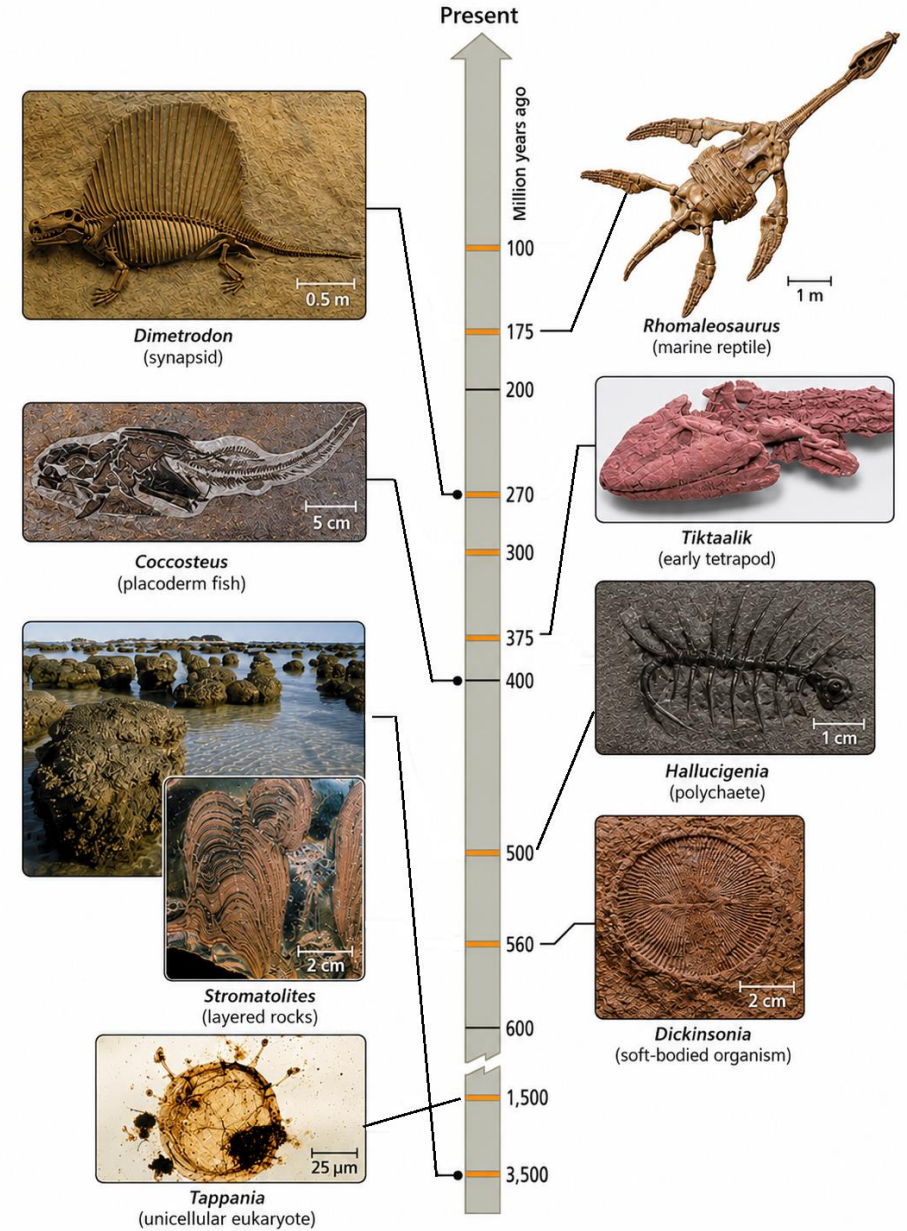
- Sınırlılıklarına rağmen fosil kayıtlar, çok geniş jeolojik zaman aralıklarında gerçekleşen biyolojik değişimlerin ayrıntılı bir görünümünü sağlar.
- Fosil dizileri, bazı canlı gruplarının geçmişteki üyeleri ile günümüzdeki temsilcileri arasında önemli farklılıklar bulunduğunu ortaya koyar.
- Yandaki figür, yaşam tarihinin farklı dönemlerinden seçilmiş organizmaları yaklaşık 3.5 milyar yıl öncesinden günümüze uzanan bir zaman çizelgesinde göstermektedir.
- Figürde prokaryotlardan erken ökaryotlara, Ediacara canlılarından omurgalılara kadar farklı dönemlere ait fosil örnekleri yer almaktadır.





Yaşam Tarihinin İzlenmesi

- Yandaki figürde yaklaşık 3.5 milyar yıllık stromatolitler, bazı prokaryotların oluşturduğu tabakalı kaya yapılarının fosilleşmiş örnekleri olarak yer almaktadır.
- *Tappania* yaklaşık 1.5 milyar yıl önce yaşamış ve erken bir ökaryot olduğu düşünülen fosil örneklerinden biridir.
- *Dickinsonia costata* Ediacara biyotasının, *Hallucigenia* ise Burgess Shale'de bulunan Kambriyen canlı çeşitliliğinin örnekleri arasındadır.
- Daha yakın dönemlerde *Coccosteus*, *Tiktaalik*, *Dimetrodon* ve *Rhomaleosaurus* gibi omurgalı fosilleri görülmektedir.





Fosillerin Yaşı Nasıl Belirlenir?

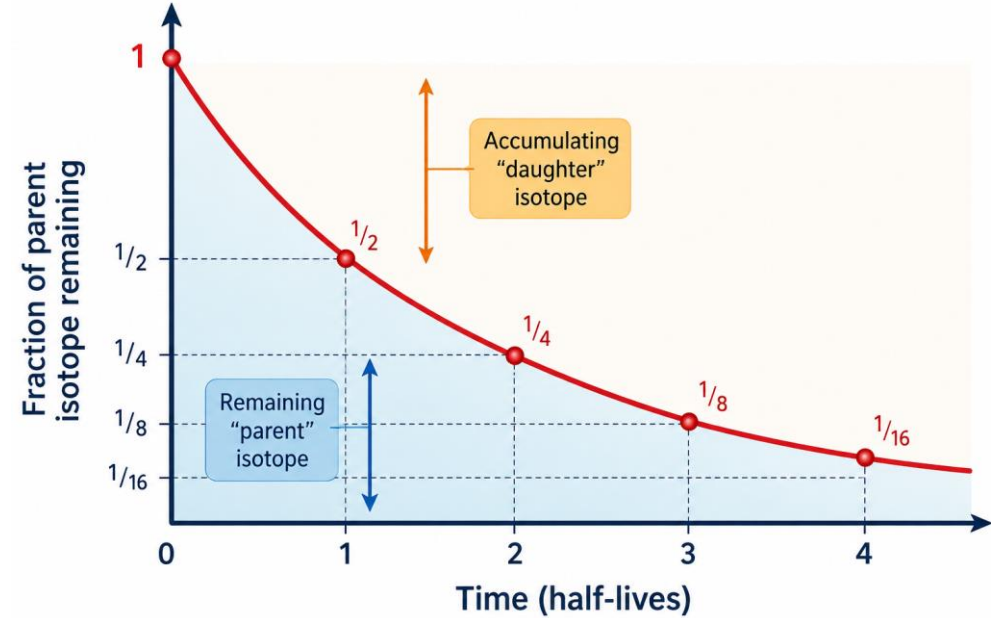
- Kaya tabakalarındaki fosillerin sıralanışı, hangi fosillerin daha eski veya daha yeni olduğunu gösterir ancak gerçek yaşlarını doğrudan vermez.
- Fosillerin farklı kaya tabakalarındaki konumları incelenerek göreceli yaşları hakkında bilgi edinilebilir.
- Fosillerin gerçek yaşlarının belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri radyometrik tarihlendirme.
- Bu yöntem, radyoaktif izotopların belirli hızlarda bozunmasına dayanır.





Radyometrik Tarihlendirmenin Temeli

- Radyoaktif bir ana izotop, belirli bir hızla yavru izotop olarak adlandırılan başka bir izotopa dönüşür.
- Bir örnekteki ana izotopun % 50'sinin bozunması için gereken süre, o izotopun yarı ömrü olarak tanımlanır.
- Her radyoaktif izotopun kendine özgü bir yarı ömrü vardır ve bu değer sıcaklık, basınç veya diğer çevresel değişkenlerden etkilenmez.
- Yandaki figür, ana izotop miktarının her yarı ömür sonunda yarıya inerken yavru izotopun biriktiğini göstermektedir.





Karbon-14 ile Fosillerin Tarihlendirilmesi

- Canlı organizmalar karbon-12 ve radyoaktif karbon-14 dâhil olmak üzere çevrelerindeki karbon izotoplarını bünyelerine alır.
- Organizma öldükten sonra karbon alımı durur ve dokulardaki karbon-14 zamanla azota dönüşerek bozunur.
- Karbon-14'ün yarı ömrü 5.730 yıl olduğundan, karbon-14 ile karbon-12 oranı fosilin yaşını tahmin etmek için kullanılabilir.
- Bu yöntem yaklaşık 75.000 yaşına kadar olan fosiller için kullanılabilir; daha eski örneklerde karbon-14 miktarı ölçülemeyecek kadar azalır.





Çok Daha Eski Fosiller Nasıl Tarihlendirilir?

- Daha eski fosillerin tarihlendirilmesinde yarı ömrü karbon-14'ten daha uzun olan radyoaktif izotoplardan yararlanılır.
- Bu izotoplar çoğunlukla tortul kayalarda değil, volkanik kayalarda bulunan mineraller içinde yer alır.
- Tortul kayaların yaşı doğrudan belirlenemediğinde, fosilin bulunduğu tabakanın altındaki ve üstündeki volkanik kayalar tarihlendirilebilir.
- Örneğin 525 ve 535 milyon yıllık volkanik tabakalar arasındaki bir fosilin yaklaşık 530 milyon yıl yaşında olduğu tahmin edilebilir.





Fosiller Yeni Canlı Gruplarının Kökenini Açıklayabilir

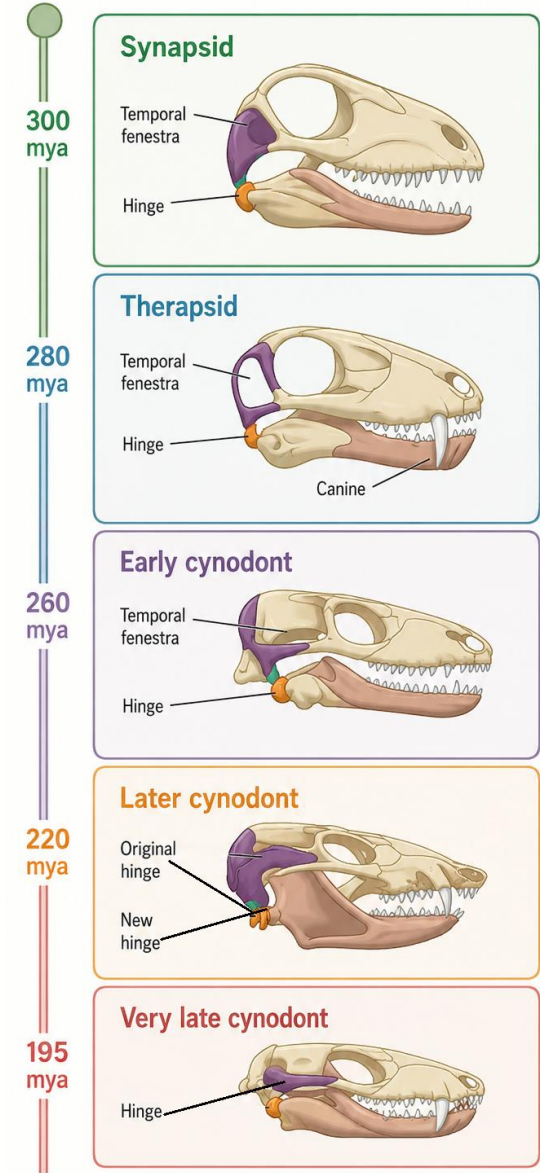
- Bazı fosiller, yeni organizma gruplarının kökeninin ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak sağlar.
- Bu fosiller, yeni özelliklerin nasıl ortaya çıktığını ve zaman içerisinde nasıl değiştiğini göstererek evrimsel süreçlerin anlaşılmasına katkıda bulunur.
- Memelilerin kökeni, bu tür fosil dizileriyle incelenebilen önemli örneklerden biridir.
- Memeliler amfibiler ve sürüngenlerle birlikte dört üyeli omurgalıları kapsayan tetrapod grubunda yer alır.





Memelilerin Ayırt Edici Anatomik Özellikleri

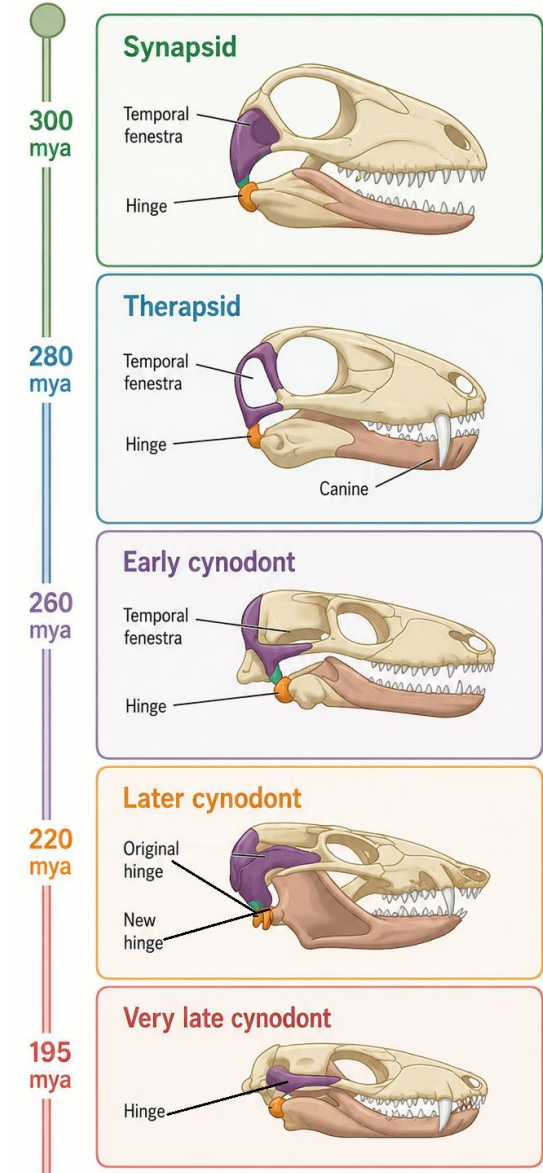
- Memelilerin alt çenesi tek bir kemikten, yani dentary kemikten oluşurken diğer tetrapodlarda alt çenede birden fazla kemik bulunur.
- Memelilerde alt ve üst çeneler, diğer tetrapodlardan farklı bir noktada birbirleriyle eklem yapar.
- Memelilerin orta kulağında çekiç, örs ve üzengi olmak üzere ses iletiminde görev alan üç kemik bulunur.
- Kesici, köpek, premolar ve molar dişlerin farklılaşması da memelilerin karakteristik özellikleri arasındadır.





Memelilerin Kökenine Fosil Dizisiyle Bakış

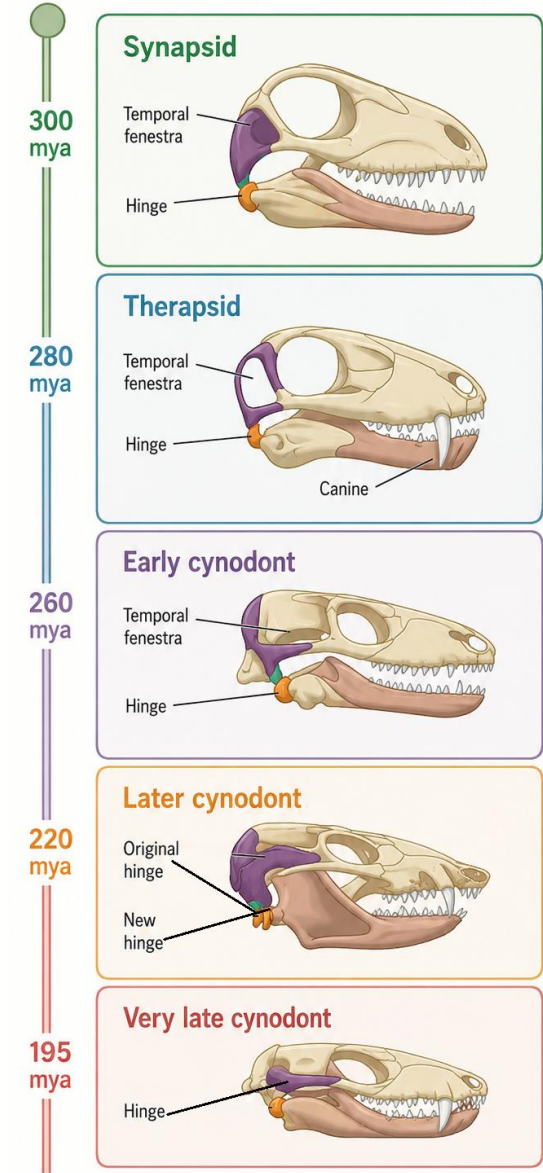
- Memelilerin çene ve diş özellikleri yaklaşık 120 milyon yıllık bir süreçte, sinapsid adı verilen tetrapod grubundan kademeli olarak ortaya çıkmıştır.
- Yandaki figür, memelilerin kökeni sırasında çene ve dişlerde meydana gelen başlıca morfolojik değişimleri fosil dizisi üzerinden göstermektedir.
- Figürde sinapsidlerden terapsidlere ve sinodontlara uzanan evrimsel değişim sırası izlenmektedir.
- Fosillerde görülen ara özellikler, günümüz memelilerinin anatomik özelliklerinin kademeli biçimde ortaya çıktığını göstermektedir.





Erken Sinapsidlerde Çene Yapısı

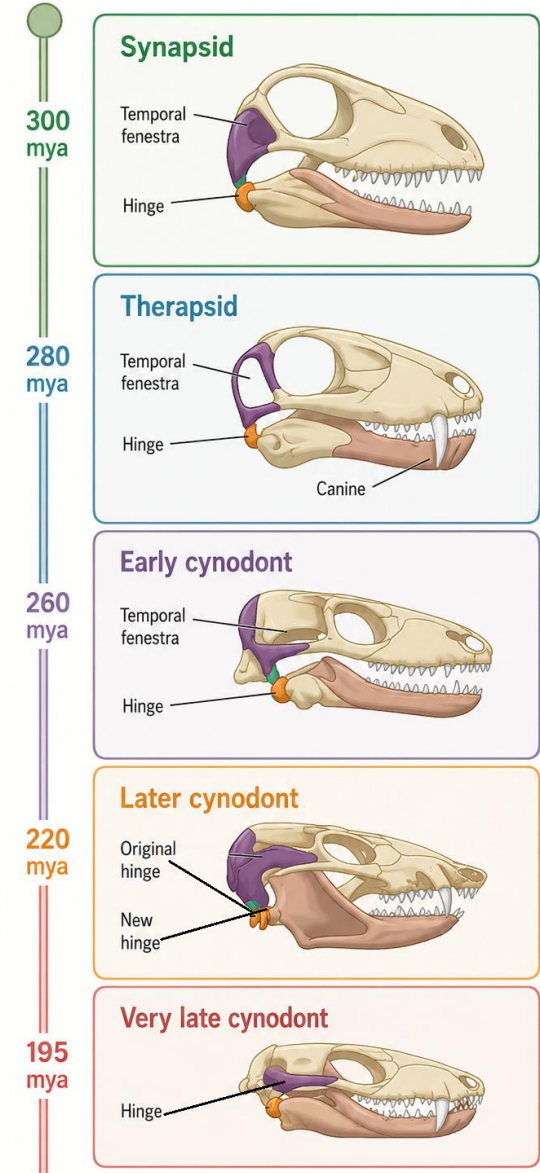
- Yaklaşık 300 milyon yıl önceki sinapsidlerde alt çene birden fazla kemikten oluşur ve dişler tek uçlu yapı gösterir.
- Çene eklemi articular ve quadrate kemikleri arasında bulunurken, temporal fenestra adı verilen açıklık çene kasları için bağlantı alanı sağlar.
- Zaman içerisinde temporal fenestranın büyümesi ve konum değiştirmesi, çeneyi kapatan kasların daha büyük ve güçlü hâle gelmesine olanak sağlamıştır.
- Yandaki figür, bu erken sinapsid çene yapısını ve temporal fenestranın konumunu göstermektedir.





Terapsidlerden Erken Sinodontlara

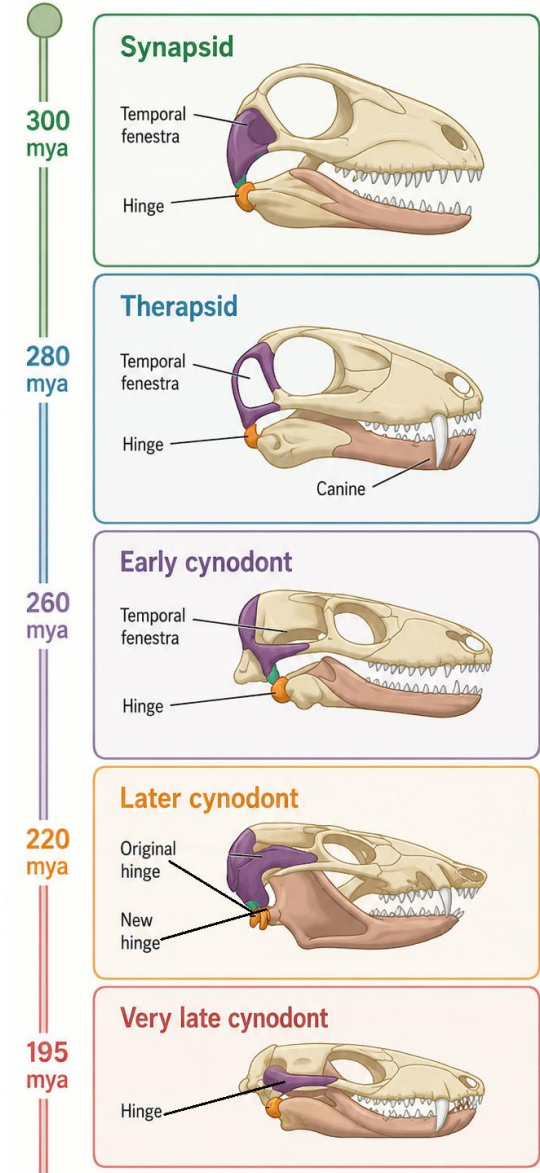
- Yaklaşık 280 milyon yıl önceki terapsidlerde dentary kemik büyümüş, büyük köpek dişleri ortaya çıkmış ve temporal fenestra genişlemiştir.
- Dişler farklılaşmaya başlamış ve farklılaşmış dişler farklı besin türlerinin işlenmesine katkı sağlamıştır.
- Yaklaşık 260 milyon yıl önceki erken sinodontlarda dentary, alt çenenin en büyük kemiği hâline gelmiştir.
- Yandaki figür, bu süreçte temporal fenestranın genişlemesini ve çene yapısındaki kademeli değişimleri göstermektedir.





Sinodontlarda Yeni Çene Eklemine Ortaya Çıkışı

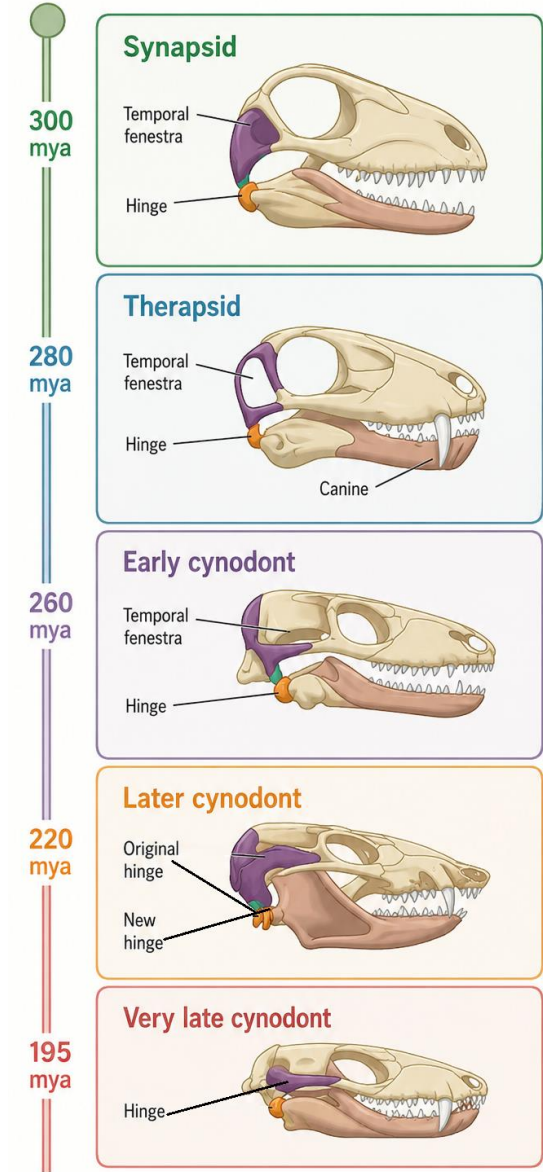
- Erken sinodontlarda temporal fenestra büyümüş ve dişler birkaç farklı tipe ayrılmıştır.
- Buna karşın erken sinodontların çenesi hâlâ articular ve quadrate kemikleri arasında eklem yapar.
- Yaklaşık 220 milyon yıl önceki geç sinodontlarda, dentary ile squamosal kemikler arasında ikinci ve yeni bir çene eklemi oluşmuştur.
- Yandaki figür, geç sinodontlarda özgün çene eklemi ile yeni eklem aynı anda bulunduğunu göstermektedir.





Memeli Tipi Çene Ekleminin Yerleşmesi

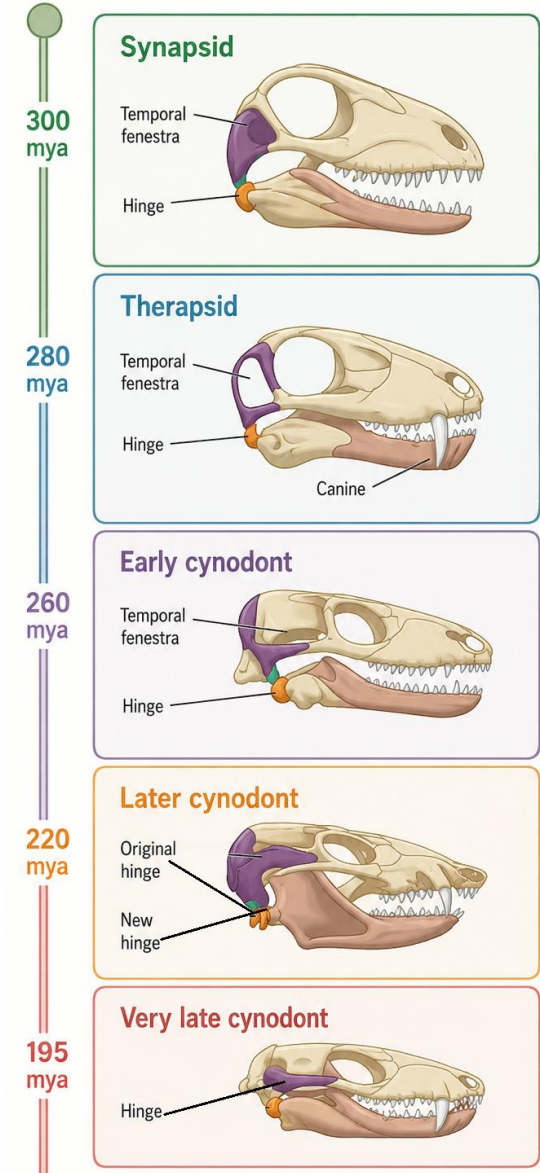
- Bazı çok geç sinodontlarda ve erken memelilerde özgün articular–quadrate çene eklemi ortadan kalkmıştır.
- Böylece alt ve üst çeneler arasındaki tek bağlantı dentary–squamosal eklemi hâline gelmiştir.
- Yaklaşık 195 milyon yıl önceki çok geç sinodontlar, bu dönüşümün ileri bir aşamasını temsil eder.
- Yandaki figür, çene eklemindeki bu değişimin memeli tipindeki yapıya nasıl ulaştığını göstermektedir.





Çene Kemiklerinden Orta Kulak Kemiklerine

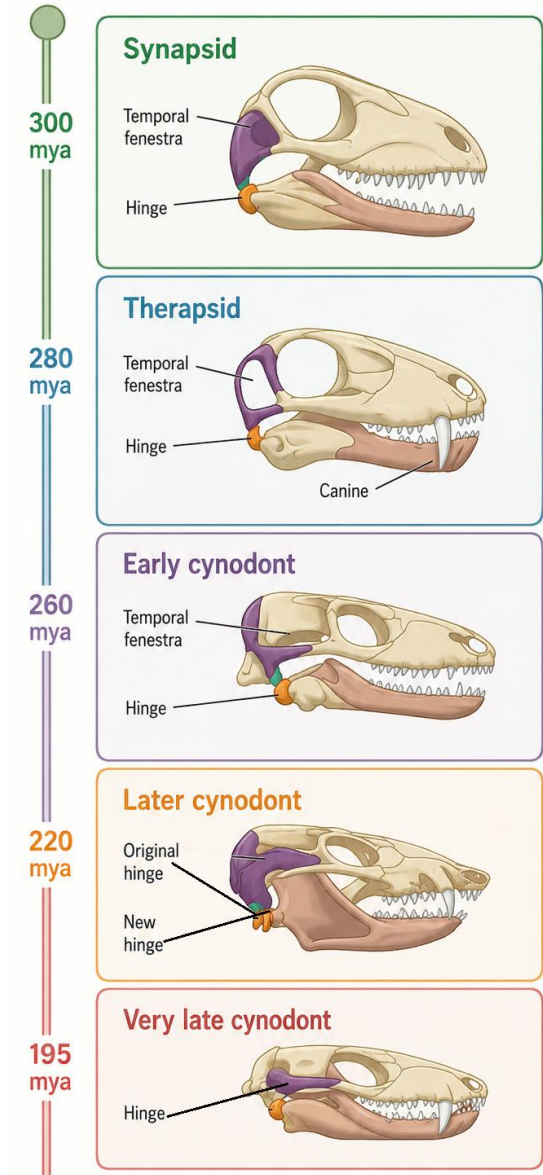
- Özgün çene eklemi kaybolduğunda articular ve quadrate kemikleri çenenin işlevsel parçaları olmaktan çıkar.
- Memeli soyunda bu iki kemik daha sonra orta kulakta ses iletiminde görev yapan çekiç ve örs kemiklerine dönüşmüştür.
- Böylece fosil dizisi, çene yapısındaki değişim ile memelilerin karakteristik orta kulak yapısının kökeni arasında bağlantı kurar.
- Yandaki figür, çene kemiklerinin işlev ve konum değişikliğini evrimsel sıra içerisinde göstermektedir.





Fosil Kayıtlar ve Evrimsel Geçişlerin Yorumu

- Yandaki figürdeki fosiller, memelilerin kökenini belgeleyen çok sayıdaki fosilden yalnızca birkaç örnektir.
- Fosiller yalnızca şekil ve konumlarına göre sıralansaydı bile, özelliklerin bir gruptan diğerine düzenli biçimde değiştiği görülürdü.
- Bu fosiller günümüzde yaşayan tetrapod gruplarını temsil etmez; milyonlarca yıl yaşamış ancak günümüze soy bırakmamış grupları da içerir.
- Fosil kayıtlar böylece yeni organizma gruplarının özelliklerinin uzun zaman dilimleri boyunca nasıl ortaya çıktığını belgelemektedir.





Jeolojik Kayıt Yaşamın Tarihini Zaman İçinde Düzenler

- Fosiller üzerinde yapılan çalışmalar, Dünya tarihini eonlara ve bunların alt bölümlerine ayıran standart bir jeolojik kaydın oluşturulmasını sağlamıştır.
- İlk üç eon olan Hadean, Archaean ve Proterozoic birlikte yaklaşık 4 milyar yıllık bir zaman dilimini kapsar.
- Son yaklaşık yarım milyar yılı kapsayan Phanerozoic eonu, hayvanların Dünya'da bulunduğu zamanın büyük bölümünü içerir.
- Yandaki görsel, jeolojik kaydı ve yaşam tarihindeki önemli olayları kronolojik olarak sunmaktadır.

GEOLOGIC RECORD OF LIFE ON EARTH					
Eon (duration not to scale)	Era	Period	Epoch	Age (millions of years ago)	Key Events in the History of Life
 Cenozoic		Quaternary	Holocene	0.01	Historical time
			Pleistocene	2.6	Ice ages; origin of genus <i>Homo</i>
	Neogene		Pliocene	5.3	Appearance of bipedal human ancestors
			Miocene	23	Continued radiation of mammals and angiosperms; earliest direct human ancestors
	Paleogene		Oligocene	34	Origins of many primate groups
			Eocene	56	Angiosperm dominance increases; continued radiation of most present-day mammalian orders
			Paleocene	66	Major radiation of mammals, birds, and pollinating insects
 Mesozoic			Cretaceous	145	Flowering plants (angiosperms) appear and diversify; many groups of organisms, including most dinosaurs, become extinct at end of period
			Jurassic	201	Gymnosperms continue as dominant plants; dinosaurs abundant and diverse
			Triassic	252	Cone-bearing plants (gymnosperms) dominate landscape; dinosaurs evolve and radiate; origin of mammals
 Paleozoic			Permian	299	Radiation of reptiles; origin of most present-day groups of insects; extinction of many marine and terrestrial organisms at end of period
			Carboniferous	359	Extensive forests of vascular plants form; first seed plants appear; origin of reptiles; amphibians dominant
			Devonian	419	Diversification of bony fishes; first tetrapods and insects appear
			Silurian	444	Diversification of early vascular plants
			Ordovician	485	Marine algae abundant; colonization of land by diverse fungi, plants, and animals
			Cambrian	541	Sudden increase in diversity of many animal phyla (Cambrian explosion)
 Proterozoic	Neoproterozoic		Ediacaran	635	Diverse algae and soft-bodied invertebrate animals appear
				1,000	
				1,800	Oldest fossils of eukaryotic cells appear
 Archaean				2,700	Concentration of atmospheric oxygen begins to increase
				3,500	Oldest fossils of cells (prokaryotes) appear
				4,000	Oldest known rocks on Earth's surface
 Hadean				Approx. 4,600	Origin of Earth



Phanerozoic Eonun Bölümlendirilmesi

- Phanerozoic eon, Paleozoic, Mesozoic ve Cenozoic olmak üzere üç eraya ayrılır.
- Her era, Dünya ve yaşam tarihinde ayırt edici bir dönemi temsil eder ve kendi içinde daha küçük zaman dilimlerine bölünür.
- Örneğin Mesozoic, sürüngen fosillerinin ve özellikle dinazorların bolluğu nedeniyle bazen “sürüngenler çağı” olarak adlandırılır.
- Eralar arasındaki sınırlar, birçok yaşam formunun ortadan kalkıp bunların yerini başka grupların aldığı dönemlere karşılık gelir.

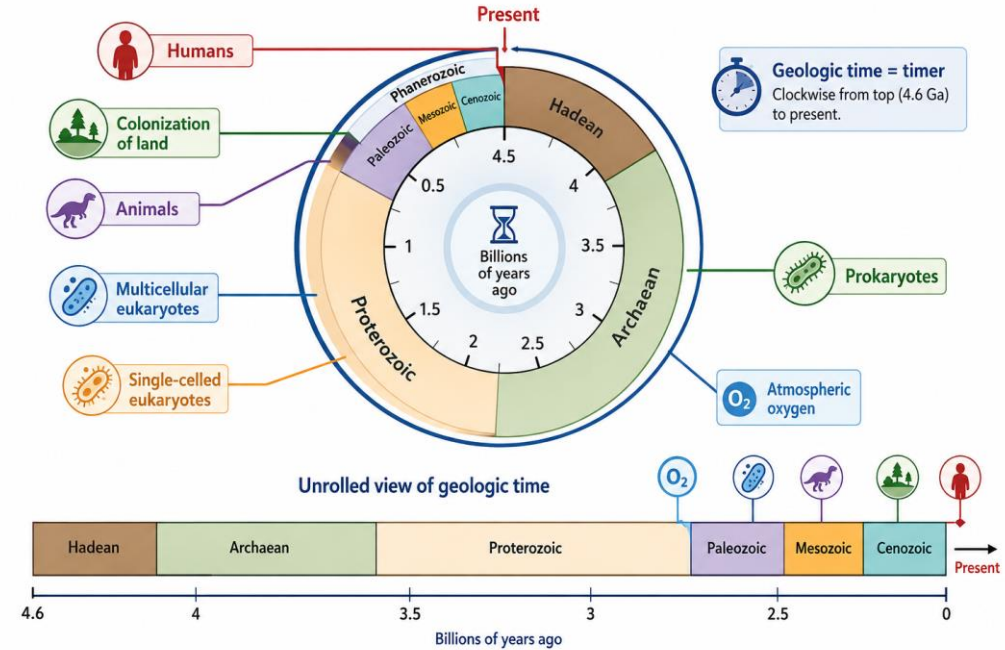
GEOLOGIC RECORD OF LIFE ON EARTH					
Eon (duration not to scale)	Era	Period	Epoch	Age (millions of years ago)	Key Events in the History of Life
 Cenozoic		Quaternary	Holocene	0.01	Historical time
			Pleistocene	2.6	Ice ages; origin of genus Homo
	Neogene		Pliocene	5.3	Appearance of bipedal human ancestors
			Miocene	23	Continued radiation of mammals and angiosperms; earliest direct human ancestors
	Paleogene		Oligocene	34	Origins of many primate groups
			Eocene	56	Angiosperm dominance increases; continued radiation of most present-day mammalian orders
			Paleocene	66	Major radiation of mammals, birds, and pollinating insects
	 Mesozoic		Cretaceous	145	Flowering plants (angiosperms) appear and diversify; many groups of organisms, including most dinosaurs, become extinct at end of period
			Jurassic	201	Gymnosperms continue as dominant plants; dinosaurs abundant and diverse
			Triassic	252	Cone-bearing plants (gymnosperms) dominate landscape; dinosaurs evolve and radiate; origin of mammals
 Paleozoic			Permian	299	Radiation of reptiles; origin of most present-day groups of insects; extinction of many marine and terrestrial organisms at end of period
			Carboniferous	359	Extensive forests of vascular plants form; first seed plants appear; origin of reptiles; amphibians dominant
			Devonian	419	Diversification of bony fishes; first tetrapods and insects appear
			Silurian	444	Diversification of early vascular plants
			Ordovician	485	Marine algae abundant; colonization of land by diverse fungi, plants, and animals
			Cambrian	541	Sudden increase in diversity of many animal phyla (Cambrian explosion)
 Proterozoic	Neoproterozoic		Ediacaran	635	Diverse algae and soft-bodied invertebrate animals appear
				1,000	Oldest fossils of eukaryotic cells appear
				1,800	
 Archaean				2,700	Concentration of atmospheric oxygen begins to increase
				3,500	Oldest fossils of cells (prokaryotes) appear
				4,000	Oldest known rocks on Earth's surface
 Hadean				Approx. 4,600	Origin of Earth





Jeolojik Zamanın Ölçeğini Anlamak

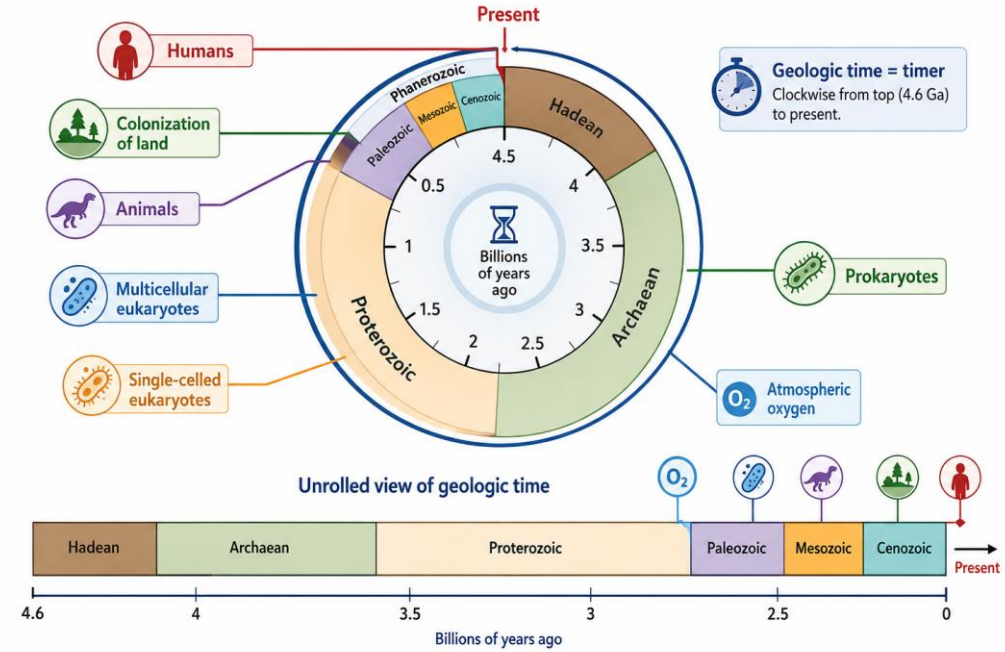
- Yaşam tarihindeki önemli olayların zamanlamasını kavramak, jeolojik zamanın son derece geniş olması nedeniyle güç olabilir.
- Yandaki figür, Dünya'nın oluşumundan günümüze kadar geçen yaklaşık 4.6 milyar yıllık süreci dairesel ve doğrusal zaman çizgileriyle göstermektedir.
- Figürde prokaryotların, tek hücreli ve çok hücreli ökaryotların, hayvanların, karaları kolonizasyonu ve insanların ortaya çıkışı karşılaştırılmaktadır.
- Aynı figür, yaşam tarihindeki birçok önemli olayın Dünya tarihinin oldukça geç dönemlerinde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.





Yaşam Tarihini Bir Saat Üzerinde Düşünmek

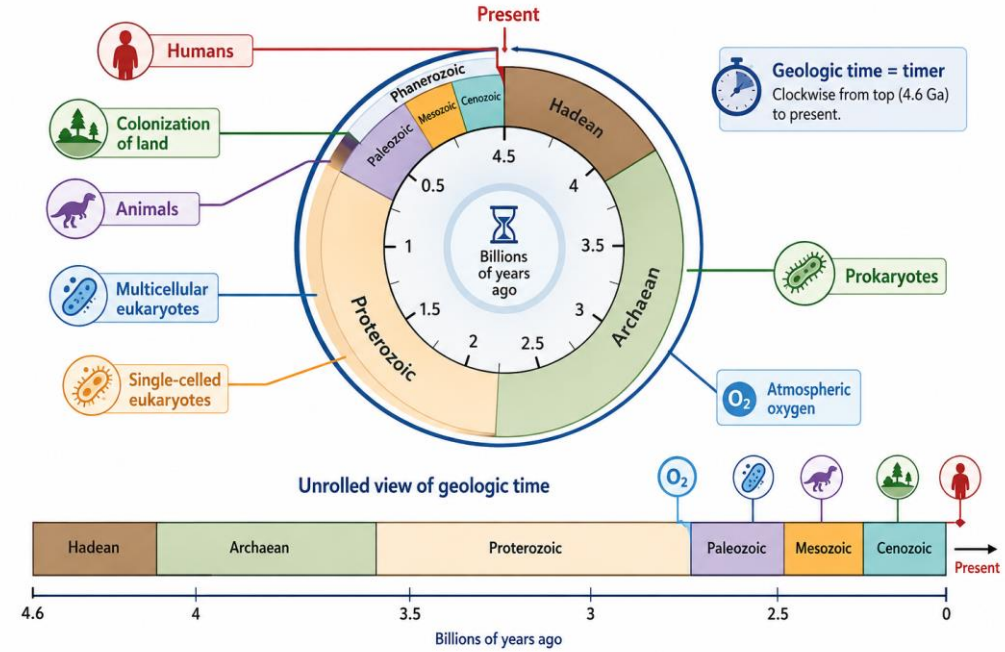
- Yandaki figürde Dünya'nın oluşumundan günümüze kadar geçen süre bir saatlik zaman ölçeğine benzetilmektedir.
- Bu ölçekte hayvanlar yaklaşık 9 dakika, tek hücreli ökaryotlar ise yaklaşık 20 dakika önce ortaya çıkmış olurdu.
- İnsanların ortaya çıkışı ise bu ölçeğin son 0.2 saniyesinden daha kısa bir bölümüne karşılık gelir.
- Bu karşılaştırma, insanlık tarihinin Dünya'nın toplam geçmişi içinde ne kadar kısa bir zaman aralığını kapsadığını gösterir.





İlk Tek Hücreli Organizmalar

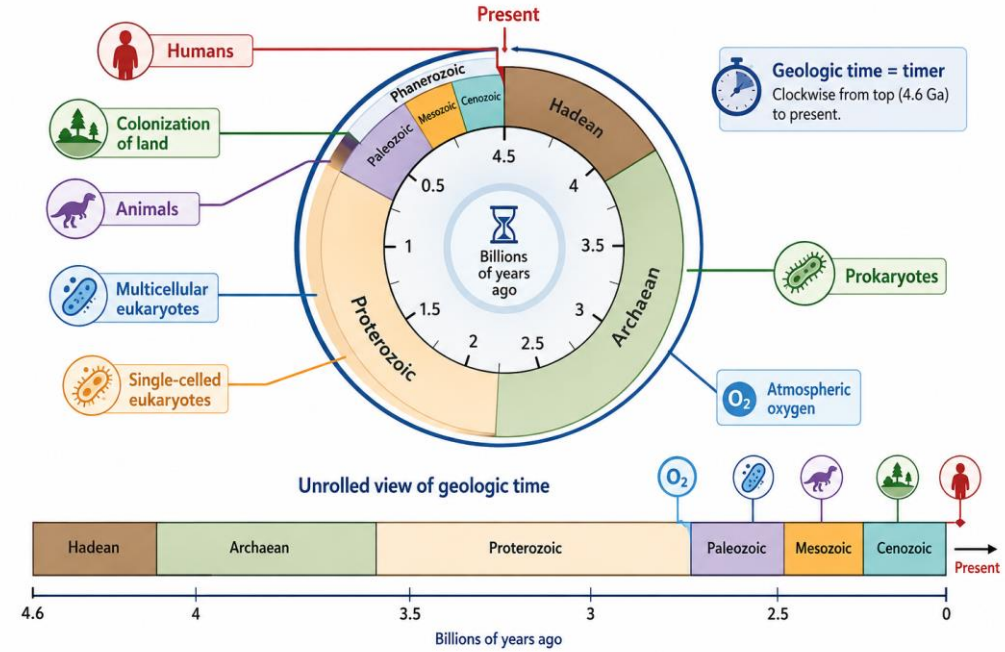
- Yaşamın bilinen en eski doğrudan kanıtları, yaklaşık 3.5 milyar yıl öncesine tarihlenen fosilleşmiş stromatolitlerden gelir.
- Stromatolitler, bazı prokaryotların tortu tabakaları üzerinde film hâlinde bağlanmasıyla oluşan tabakalı kaya yapılarıdır.
- Stromatolitler ve diğer erken prokaryotlar yaklaşık 1.5 milyar yıl boyunca Dünya'nın tek canlıları olmuştur.
- Bu erken prokaryotların faaliyetleri, daha sonraki yaşamın gelişeceği Dünya koşullarının değişmesinde önemli rol oynamıştır.





Fotosentez ve Atmosferik Oksijenin Kökeni

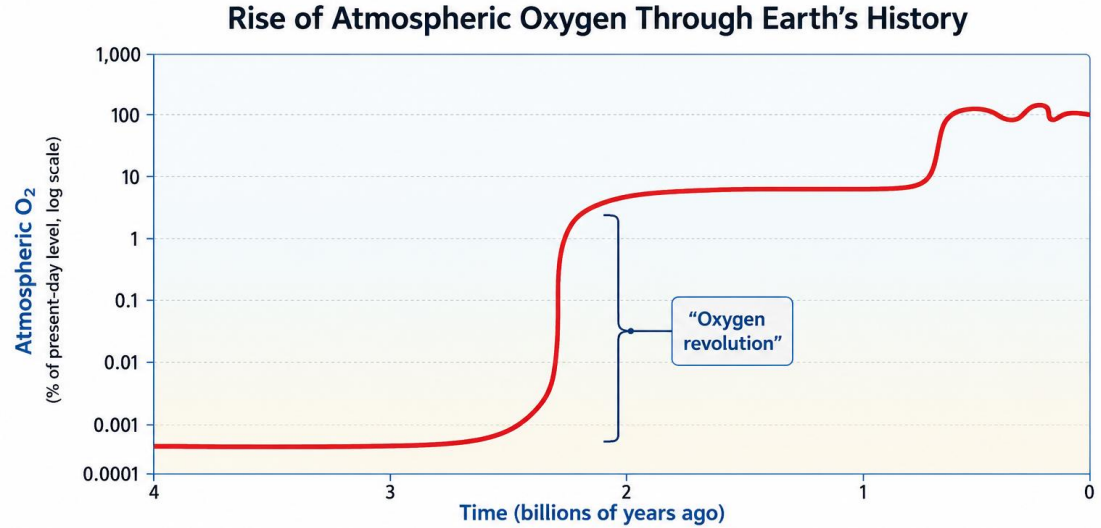
- Günümüzde atmosferde bulunan oksijenin büyük bölümü, suyu parçalayan fotosentez sırasında biyolojik olarak üretilmektedir.
- Oksijenik fotosentez ilk kez prokaryotlarda ortaya çıktığında, açığa çıkan O_2 başlangıçta çevredeki su içinde çözünmüş olabilir.
- Oksijen, sudaki demirle tepkimeye girerek demir oksitlerin çökmesine ve demir bakımından zengin tortuların oluşmasına yol açmıştır.
- Sudaki çözünmüş demir büyük ölçüde çöktükten sonra, ilave O_2 deniz ve göllerde birikmeye ve daha sonra atmosfere geçmeye başlamıştır.





Oksijen Devrimi

- Kayaçların tarihlendirilmesi, oksijen açığa çıkaran fotosentetik bakterilerin 2.7 milyar yıl önce ortaya çıktığını düşündürmektedir.
- Yandaki figür, atmosferik O₂ miktarının yaklaşık 2.7–2.4 milyar yıl önce kademeli olarak arttığını göstermektedir.
- Daha sonra atmosferik oksijen düzeyi hızla yükselerek günümüzdeki seviyesinin yaklaşık % 1–10’una ulaşmıştır.
- Atmosferdeki bu büyük değişim, yaşamın evrimsel tarihinde “oksijen devrimi” olarak adlandırılır.





Oksijen Devriminin Canlılar Üzerindeki Etkileri

- Oksijen bazı kimyasal bağlara saldırabilir, enzimlerin işlevini bozabilir ve hücrelere zarar verebilir.
- Bu nedenle atmosferik O₂ derişiminin yükselmesi, birçok prokaryot grubunun ortadan kalkmasına yol açmış olabilir.
- Bazı türler anaerobik ortamlarda yaşamını sürdürürken, diğerleri oksijenin oluşturduğu değişen koşullara uyum sağlamıştır.
- Bu uyumlar arasında organik moleküllerdeki enerjinin kullanılmasını sağlayan hücresel solunum da yer alır.



İlk Ökaryotların Ortaya Çıkışı

- Atmosferik O₂ düzeyindeki yükselişin ardından yaşam tarihinde bir başka temel değişim, ökaryotik hücrenin ortaya çıkışı olmuştur.
- Bilinen en eski yaygın kabul gören ökaryot fosilleri yaklaşık 1.8 milyar yıl öncesine tarihlenmektedir.
- Ökaryotik hücrelerde çekirdek zarı, mitokondri, endoplazmik retikulum ve prokaryotlarda bulunmayan diğer iç yapılar bulunur.
- Ayrıca gelişmiş hücre iskeleti, ökaryotik hücrelerin şekillerini değiştirebilmesine ve diğer hücreleri çevreleyebilmesine olanak sağlar.

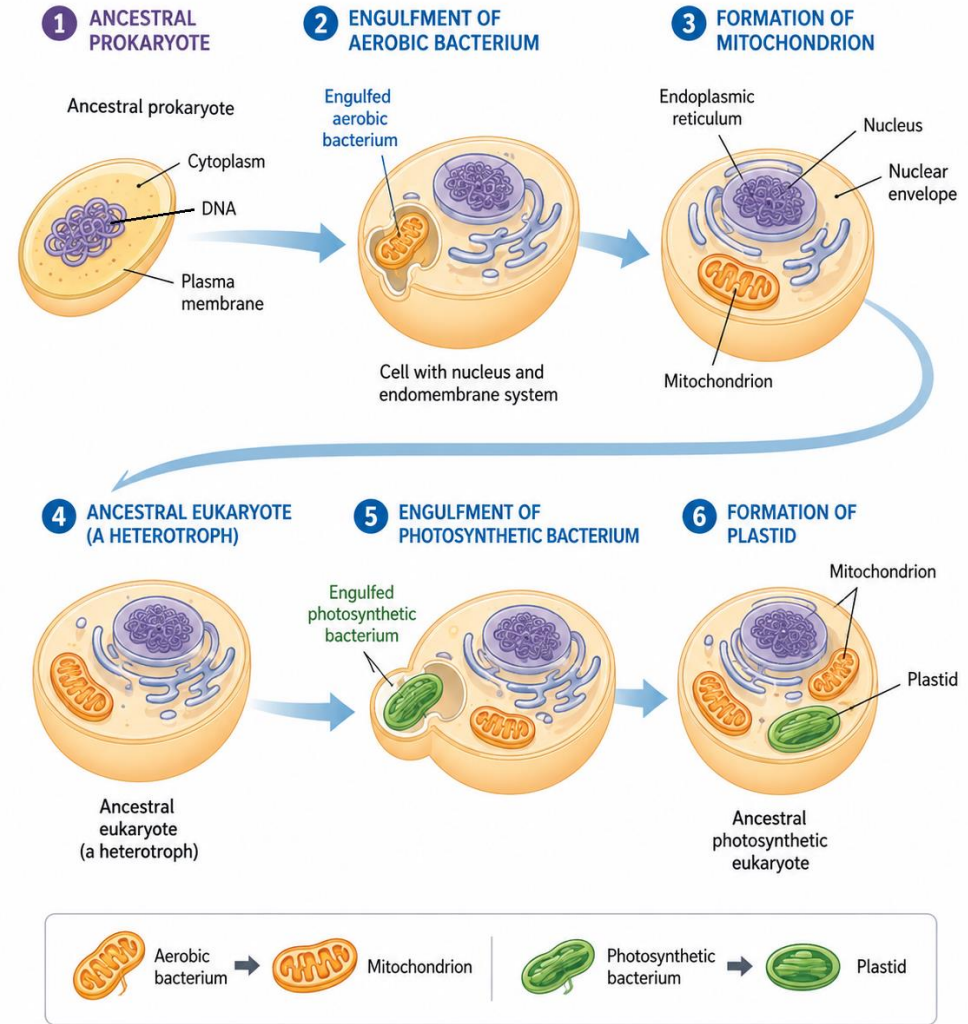


Endosimbiyoz ve Ökaryotik Hücrenin Kökeni

- Güncel kanıtlar, ökaryotların prokaryotlar arasındaki endosimbiyoz ilişkilerinden kaynaklandığını düşündürmektedir.
- Endosimbiyozda bir hücre başka bir hücrenin içinde yaşar ve konak hücrenin yapısal bir parçası hâline gelebilir.
- Mitokondrinin atasının, daha büyük bir hücre tarafından yutulan küçük bir prokaryot olduğu düşünülmektedir.
- Bu hücreler arasındaki ilişkinin zamanla karşılıklı yarar sağlayan ve ayrılmaz bir birlikteliğe dönüşmüş olabileceği öne sürülmektedir.

Origin of Mitochondria and Plastids

ENDOSYMBIOTIC THEORY



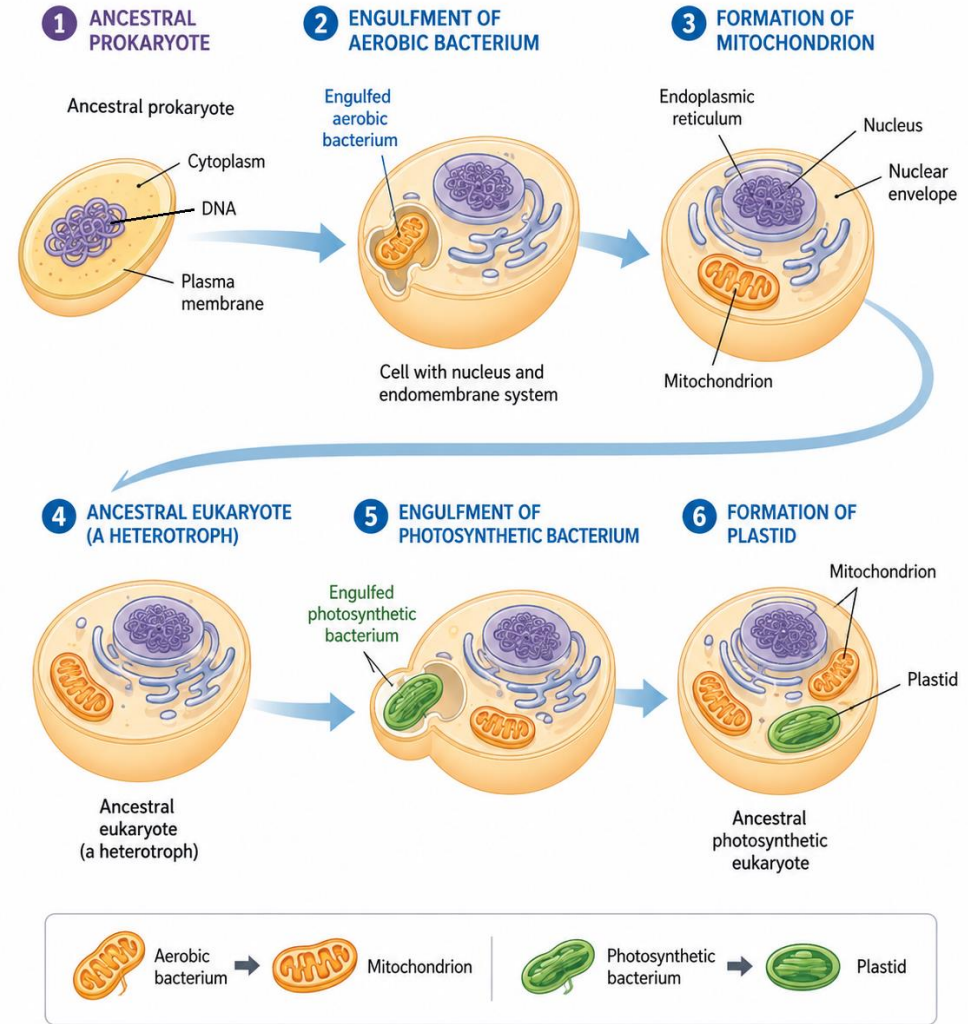


Mitokondri ve Plastidlerin Seri Endosimbilyotik Kökeni

- Yandaki figür, mitokondri ve plastidlerin kökenini açıklayan seri endosimbilyoz hipotezini göstermektedir.
- Hipoteze göre plazma zarının içe katlanması çekirdek ve endomembran sisteminin oluşumuna katkı sağlamıştır.
- Anaerobik bir konak hücrenin aerobik heterotrofik bir bakteriyi yutması, mitokondri taşıyan atasal ökaryotun ortaya çıkmasına yol açmıştır.
- Daha sonra fotosentetik bir bakterinin yutulmasıyla plastid taşıyan fotosentetik ökaryotların ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Origin of Mitochondria and Plastids

ENDOSYMBIOTIC THEORY





Endosimbioz Hipotezini Destekleyen Kanıtlar

- Mitokondri ve plastidlerin iç zarlarındaki enzim ve taşıma sistemleri, yaşayan prokaryotların plazma zarındakilerle homologdur.
- Her iki organel de bakterilerdeki bölünmeye benzeyen bir süreçle çoğalır ve tek bir dairesel DNA molekülü taşır.
- Mitokondri ve plastidlerde DNA'nın proteinlere aktarılması için gerekli ribozomlar dâhil hücrel mekanizmalar bulunur.
- Organellerin büyüklüğü, RNA dizileri ve antibiyotiklere duyarlılığı da onların bakterilerle yakın ilişkisini destekler.



Çok Hücreliliğin Kökeni

- Ökaryotik hücrelerin yapısal karmaşıklığı, daha basit prokaryotik hücrelerde mümkün olmayan daha geniş bir morfolojik çeşitliliğin ortaya çıkmasını sağlamıştır.
- İlk ökaryotlardan sonra çok çeşitli tek hücreli yaşam biçimleri gelişmiş ve bunların büyük bölümü günümüze kadar varlığını sürdürmüştür.
- Bazı tek hücreli ökaryot soylarında ise çok hücreli organizmalar ortaya çıkmıştır.
- Bu çok hücreli soyların günümüzdeki torunları algler, bitkiler, mantarlar ve hayvanlar gibi grupları içerir.





İlk Çok Hücreli Ökaryotlar

- Taksonomik olarak tanımlanabilen en eski çok hücreli ökaryot fosilleri, yaklaşık 1.2 milyar yıl önce yaşamış küçük kırmızı alglerdir.
- Yaklaşık 1.8 milyar yıl öncesine tarihlenen daha eski fosiller de küçük çok hücreli ökaryotlara ait olabilir.
- Daha büyük ve daha çeşitli çok hücreli ökaryotlar yaklaşık 600 milyon yıl öncesine ait fosil kayıtlarda görülmeye başlar.
- Bu fosiller, Ediacara biyotası olarak adlandırılan yumuşak vücutlu organizmaları içerir.



Ediacara Biyotası Yaşam Tarihinde Yeni Bir Dönemi Temsil Eder

- Ediacara biyotasına ait fosiller yaklaşık 635–541 milyon yıl önce yaşamış yumuşak vücutlu organizmalardan oluşur.
- Bu biyota hem algleri hem de bazıları bilinmeyen taksonomik ilişkilere sahip çeşitli hayvanları içerir.
- Ediacara dönemindeki büyük ökaryotların çeşitlenmesi, yaşam tarihinde önemli bir değişimi temsil eder.
- Bu dönemin sonunda, yaklaşık 541 milyon yıl önce, çok daha belirgin bir evrimsel çeşitlenme başlamıştır.

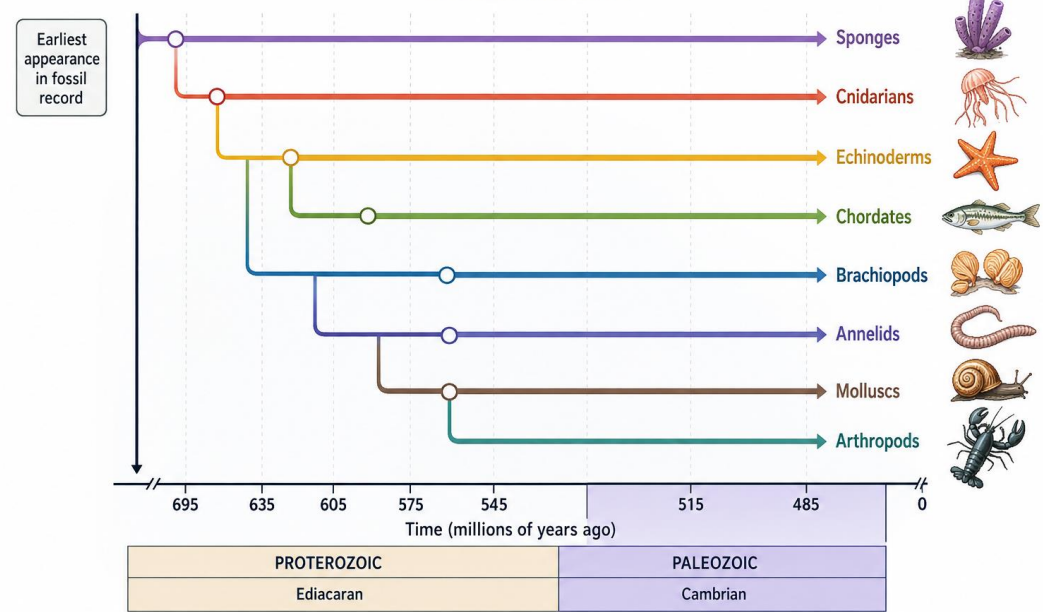




Kambriyen Patlaması

- Günümüzde yaşayan birçok hayvan filumu, ilk kez yaklaşık 535–525 milyon yıl önce, Kambriyen döneminin başlarında fosil kayıtlarda görülür.
- Bu olay, hayvan gruplarının fosil kayıtlarda görece kısa bir zaman aralığında belirginleşmesi nedeniyle Kambriyen patlaması olarak adlandırılır.
- Eklem bacaklılar, kordalılar ve yumuşakçalar dâhil çeşitli hayvan gruplarının fosilleri bu döneme ait kayalarda bulunmuştur.
- Yandaki figür, seçilmiş hayvan gruplarının fosil kayıtlardaki bilinen en erken ortaya çıkışlarını göstermektedir.

EARLIEST APPEARANCE OF SELECTED ANIMAL GROUPS
in the Fossil Record

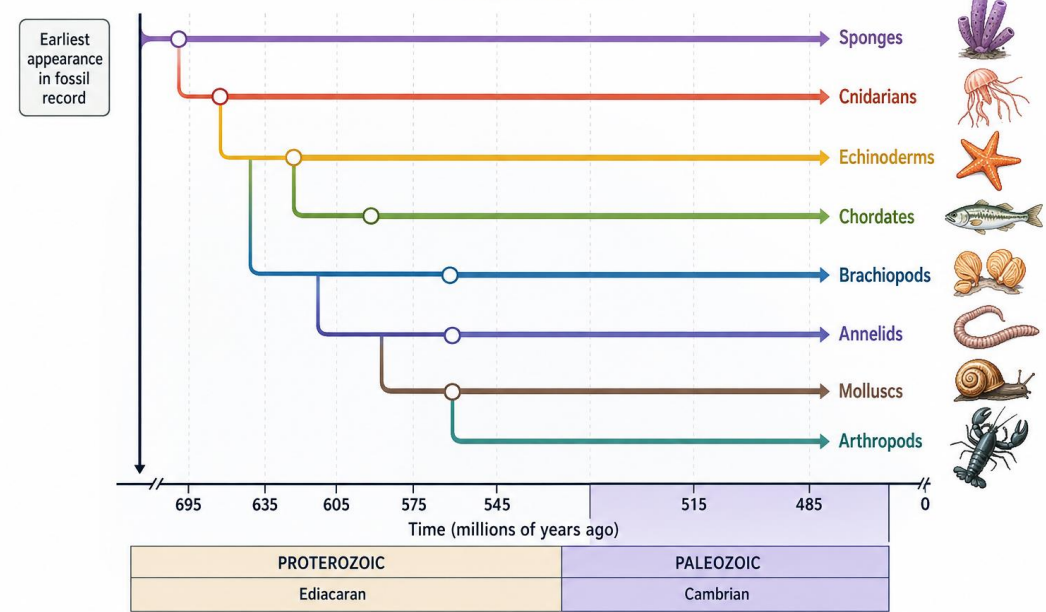




Kambriyen Patlamasında Hayvan Yapılarındaki Değişim

- Kambriyen patlamasından önce büyük hayvanların tümü yumuşak vücutluydu ve fosillerinde avlanmaya ilişkin çok az kanıt bulunur.
- Bu hayvanların otlayıcı, süzücü veya leşçil olarak beslenmiş olabileceği düşünülmektedir.
- Kambriyen patlaması sırasında avcılarının uzun yakalayıcı uzantılar, avların ise keskin dikenler ve ağır vücut zırhları geliştirdiği görülür.
- Yandaki figür, farklı hayvan gruplarının bu dönemdeki fosil kayıtlarını zaman içindeki ortaya çıkışlarıyla ilişkilendirmektedir.

EARLIEST APPEARANCE OF SELECTED ANIMAL GROUPS
in the Fossil Record





Kambriyen Patlaması Gerçekten Anımiydi?

- Kambriyen patlamasının Dünya'daki yaşam üzerinde büyük etkileri olmasına rağmen, birçok hayvan filumunun kökeni daha eski dönemlere uzanmış olabilir.
- Güncel DNA analizleri, Kambriyen'de çeşitlenen bazı hayvan soylarının ortak atalarının 700 milyon yıldan daha önce yaşamış olabileceğini düşündürmektedir.
- Yaklaşık 710 milyon yıllık tortularda bulunan steroidler de bir hayvan filumunun bu dönemde var olmuş olabileceğine ilişkin kanıt sağlar.
- Moleküler ve fosil verileri birlikte değerlendirildiğinde, Kambriyen patlamasının yaklaşık 25 milyon yıl veya daha uzun bir sürece yayılmış olabileceği anlaşılır.





Karaların Kolonizasyonu

- Yaşam tarihindeki bir diğer önemli dönüm noktası, canlıların sucul ortamlardan çıkarak karasal ortamları kolonize etmesi olmuştur.
- Siyanobakteriler ve diğer fotosentetik prokaryotların yaklaşık 1 milyar yıl önce nemli karasal yüzeylerde yaşamış olabileceğine ilişkin fosil kanıtlar vardır.
- Buna karşılık bitkiler, mantarlar ve hayvanlar karaları yaklaşık 500 milyon yıl öncesine kadar yaygın biçimde kolonize etmemiştir.
- Karasal yaşam, su kaybını önleyen ve karada üremeyi mümkün kılan adaptasyonların gelişmesini gerektirmiştir.





Bitkilerin Karasal Yaşama Uyumları

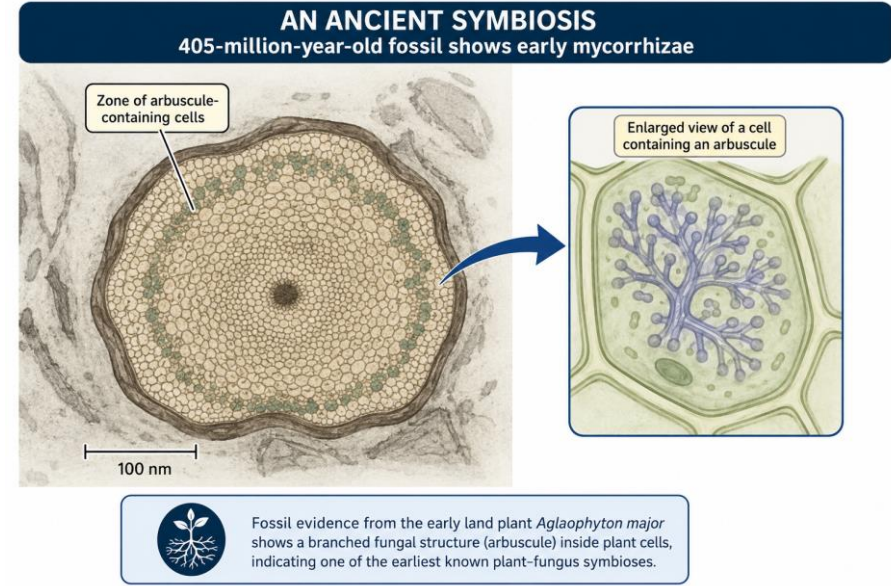
- Karasal bitkilerin erken adaptasyonları yaklaşık 420 milyon yıl öncesine ait fosil kayıtlarda görülür.
- Yaklaşık 10 cm boyundaki küçük bitkilerde kök bulunmazken, su kaybını azaltan mumsu bir tabakayla kaplı vasküler sistem bulunmuştur.
- Yaklaşık 40 milyon yıl sonra bitkiler büyük ölçüde çeşitlenmiş ve kök ile yapraklara sahip türler ortaya çıkmıştır.
- Bu gelişmeler, bitkilerin karasal ortamlarda giderek daha geniş alanlara yayılmasına eşlik etmiştir.





Bitki–Mantar Birlikteliği Karaların Kolonizasyonunu Destekledi

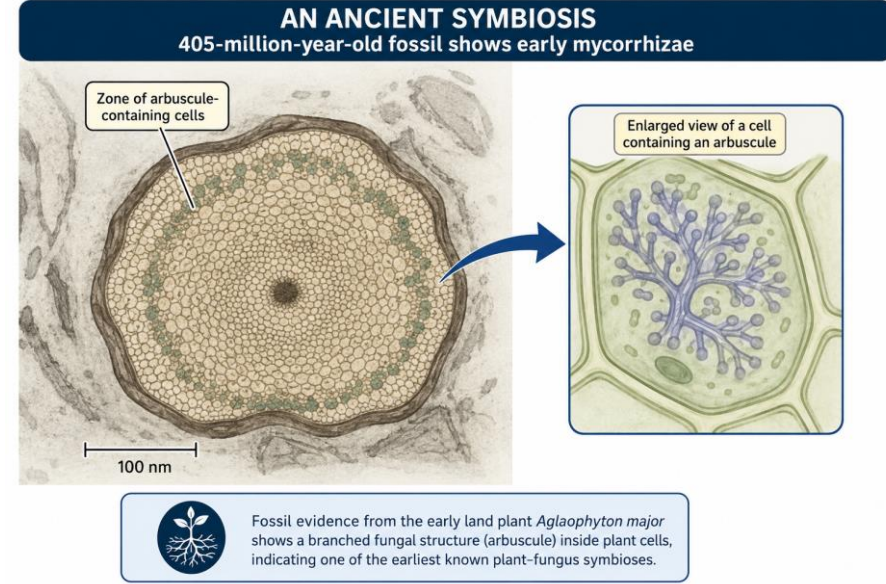
- Bitkiler karaları tek başlarına kolonize etmemiş, bu süreçte mantarlarla yakın ilişkiler kurmuştur.
- Günümüzde birçok bitkinin kökleri, topraktan su ve minerallerin alınmasına yardımcı olan mikoriza adı verilen mantarlarla ilişkilidir.
- Mantarlar ise bu karşılıklı yarar sağlayan ilişkide organik besinlerini bitkilerden elde eder.
- Yandaki figür, yaklaşık 405 milyon yıllık bir bitki fosilinde günümüz arbusküler mikorizalarına benzeyen yapıları göstermektedir.





Eski Bir Simbiyozun Kanıtı

- Yandaki figürdeki fosil, *Aglaophyton major* adlı erken bir kara bitkisinin yaklaşık 405 milyon yıllık gövde kesitine aittir.
- Fosilde bir hücre içinde mantara ait dallanmış yapıların bulunduğu görülmektedir.
- Bu fosil arbuskül, günümüzde bitki hücrelerinde bulunan yapılara benzerlik gösterir.
- Bulgular, bitkiler ile mantarlar arasındaki karşılıklı yarar sağlayan ilişkinin karaların erken kolonizasyonuna kadar uzandığını göstermektedir.





Hayvanların Karalara Çıkışı

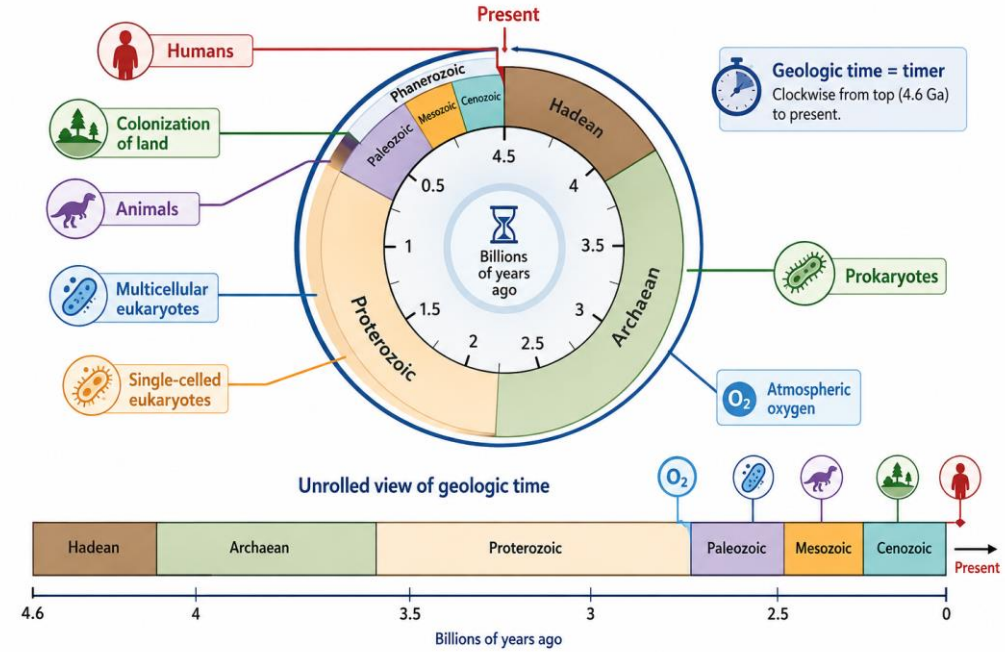
- Günümüzde en yaygın ve çeşitli kara hayvanları eklem bacaklılar, özellikle böcekler ve örümcekler ile tetrapodlardır.
- Eklem bacaklılar karaları ilk kolonize eden hayvan grupları arasında yer almış ve bunu yaklaşık 450 milyon yıl önce gerçekleştirmiştir.
- Bilinen en eski tetrapod fosilleri yaklaşık 365 milyon yıl öncesine aittir ve bu canlıların dört üyeli bir omurgalı grubundan evrimleştiği düşünülmektedir.
- Tetrapodlar amfibileri, sürüngenleri ve memelileri kapsar.





İnsanlar Yaşam Tarihinin Çok Geç Bir Bölümünde Ortaya Çıktı

- İnsan soyu diğer primatlardan yaklaşık 6–7 milyon yıl önce ayrılmıştır.
- Kendi türümüz yaklaşık 195.000 yıl önce ortaya çıkmış ve Dünya'nın jeolojik geçmişinin son derece küçük bir bölümünü oluşturmuştur.
- Yandaki figürde Dünya tarihinin bir saate ölçeklendiği modelde insanlar son 0.2 saniyeden daha kısa bir süre içinde ortaya çıkmış olurdu.
- Bu zaman ölçeği, insanlık tarihinin yaşamın milyarlarca yıllık geçmişi içindeki çok yakın tarihli konumunu açık biçimde ortaya koymaktadır.





Canlı Grupları Neden Yükselir ve Geriler?

- Dünya'daki yaşamın tarihi, farklı organizma gruplarının ortaya çıkışı, çeşitlenmesi ve zamanla gerilemesiyle şekillenmiştir.
- İlk anaerobik prokaryotlar, atmosferdeki oksijen arttıkça gerilerken daha sonra farklı tetrapod grupları ortaya çıkmıştır.
- Bazı tetrapod grupları karasal yaşama egemen olmuş, ardından bu üstünlük başka gruplara geçmiştir.
- Bir grubun yükselişi veya gerilemesi, o gruptaki türleşme ve yok oluş hızlarıyla yakından ilişkilidir.



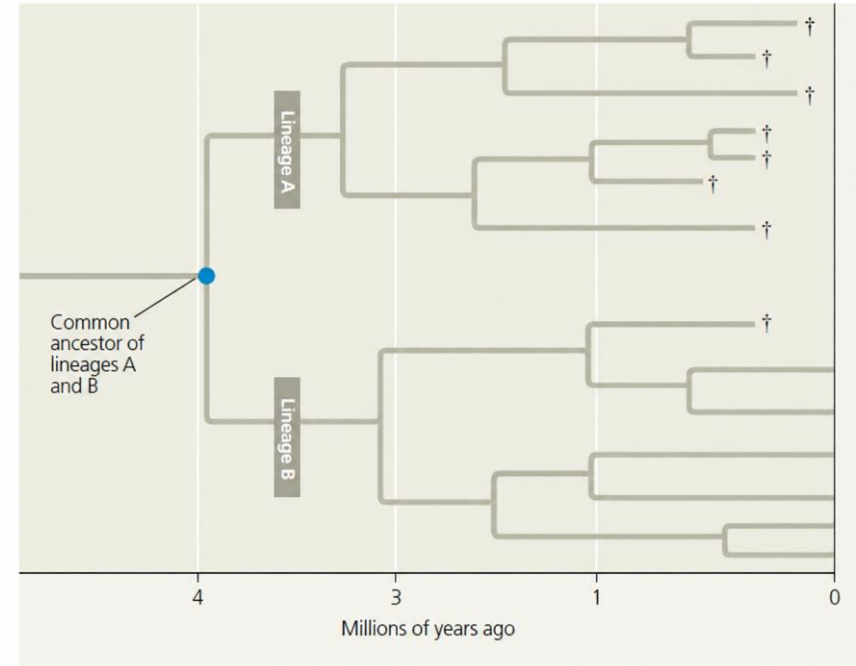


Türleşme ve Yok Oluş Tür Çeşitliliğini Belirler

- Bir evrimsel soyda yeni türlerin oluşumu yok olan türlerin sayısından fazlaysa, o soyun tür çeşitliliği zamanla artar.
- Yok oluş hızı türleşme hızından daha yüksek olduğunda ise soy içindeki tür sayısı giderek azalır.
- Yandaki figür, aynı ortak atadan gelen iki soyda farklı türleşme ve yok oluş hızlarının çeşitliliği nasıl değiştirdiğini göstermektedir.
- Dört milyon yıl sonunda figürdeki A soyunda iki, B soyunda ise sekiz yaşayan tür bulunmaktadır.

▼ How speciation and extinction affect diversity.

A hypothetical example showing two lineages that change in their number of species over time.





Büyük Ölçekli Süreçler Yaşamın Tarihini Şekillendirir

- Bir organizma grubunun türleşme ve yok oluş hızları yalnızca o grubun özelliklerinden kaynaklanmaz.
- Levha tektoniği, kitlesel yok oluşlar ve adaptif radyasyonlar gibi büyük ölçekli süreçler de tür çeşitliliğini önemli ölçüde etkiler.
- Bu süreçler bazı grupların gerilemesine veya ortadan kalkmasına yol açarken, başka grupların çeşitlenmesi için yeni fırsatlar oluşturabilir.
- Bu nedenle yaşam tarihindeki büyük değişimler, türleşme ve yok oluş dinamikleriyle birlikte değerlendirilir.



Kıtalar Sürekli Hareket Hâlinindedir

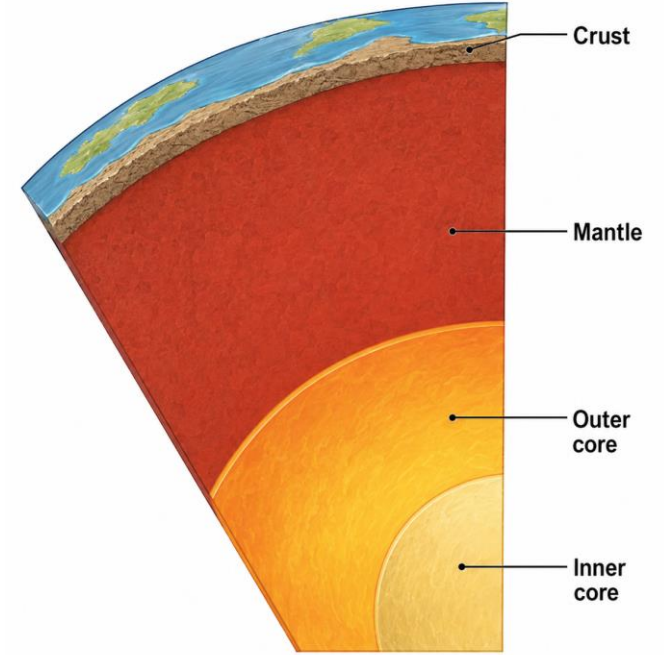
- Dünya'nın kıtaları jeolojik zaman boyunca sabit kalmamış, çok uzun zaman ölçeklerinde sürekli hareket etmiştir.
- Geçmişte kıtalar birkaç kez birleşerek süperkıtalar oluşturmuş, daha sonra yeniden parçalanmıştır.
- Kıtaların her birleşme ve ayrılma döngüsü, farklı kıtasal yerleşimlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.
- Geçmişteki hareketlerin yönlerinden hareketle, yaklaşık 250 milyon yıl sonra yeni bir süperkıtanın oluşacağı tahmin edilmektedir.





Levha Tektoniğinin Temeli

- Levha tektoniği teorisine göre kıtalar, Dünya kabuğunun büyük levhaları üzerinde yer alır.
- Bu levhalar, mantonun sıcak ve altta bulunan bölümü üzerinde hareket eder.
- Manto içindeki hareketler levhaların zaman içinde yer değiştirmesine ve kıtasal sürüklenmenin gerçekleşmesine neden olur.
- Yandaki figür, Dünya'nın kabuk, manto, dış çekirdek ve iç çekirdekten oluşan temel iç yapısını göstermektedir.





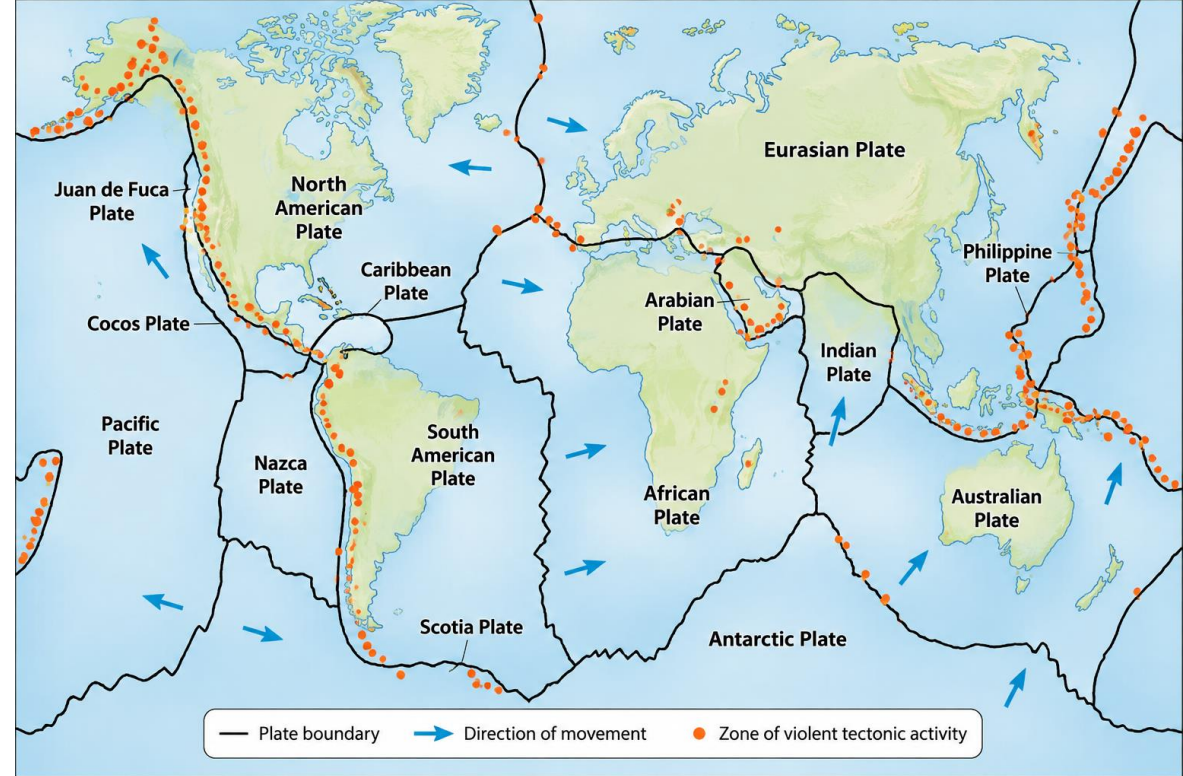
Levha Hareketleri Nasıl İzlenir?

- Jeologlar günümüzde birbirinden uzaklaşan levhaların hareket hızlarını ölçebilir ve bu hızların yılda birkaç santimetreye ulaşabildiğini belirleyebilir.
- Kayaçlarda oluşumları sırasında kaydedilmiş manyetik sinyaller, kıtaların geçmişteki konumlarının belirlenmesinde kullanılabilir.
- Dünya'nın manyetik kuzeyinin zaman içinde değişmesi, bu manyetik kayıtların kıtasal hareketlerin izlenmesinde kullanılmasına olanak sağlar.
- Böylece günümüzdeki levha hareketleri ile geçmişteki kıtasal konumlar birlikte değerlendirilebilir.



Dünya'nın Başlıca Tektonik Levhaları

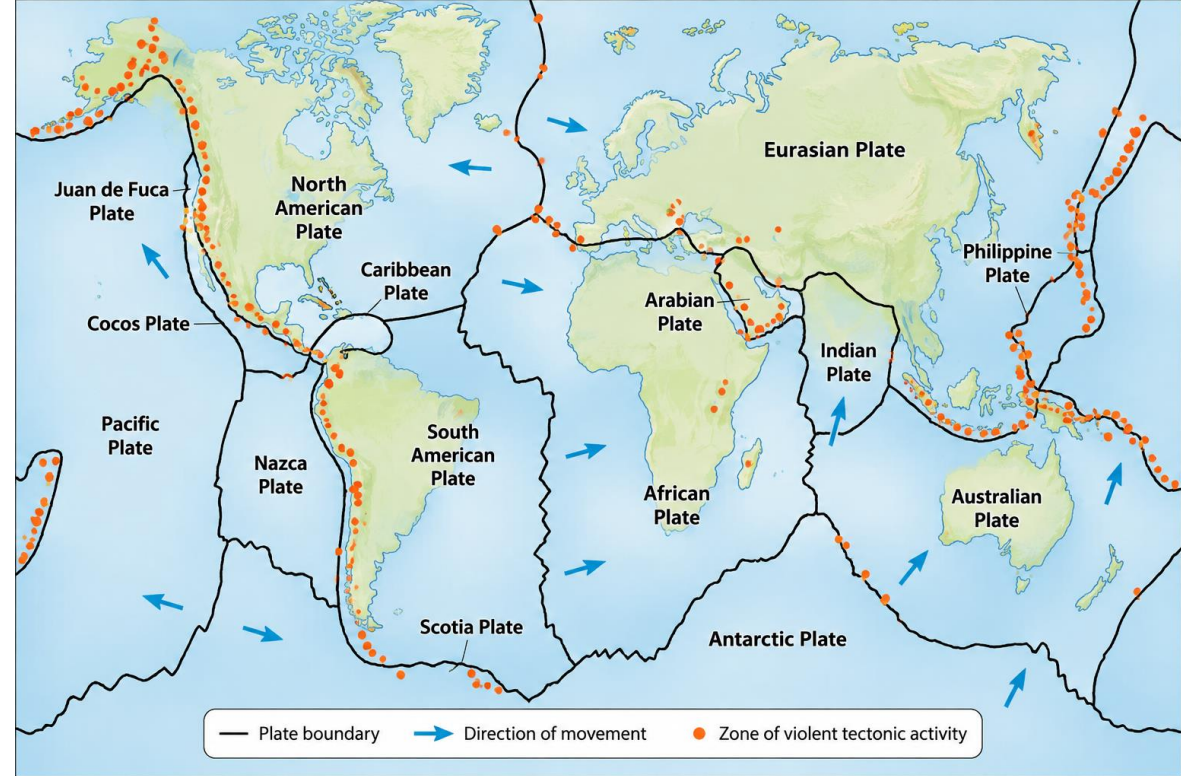
- Levha hareketlerinin önemli jeolojik sonuçlarının büyük bölümü levha sınırlarında gerçekleşir.
- Bazı levhalar birbirinden uzaklaşırken bazıları birbirinin yanından geçer, bazıları ise çarpışır.
- Levhaların birbirinin yanından geçtiği bölgelerde depremler yaygın olarak görülürken, çarpışma bölgelerinde dağ oluşumu gerçekleşebilir.
- Yandaki figür, Dünya'nın başlıca tektonik levhalarını ve levhaların günümüzdeki hareket yönlerini göstermektedir.





Levha Çarpışmaları Yeni Coğrafi Yapılar Oluşturur

- Levhaların çarpışması, büyük ölçekli jeolojik yükselmeler ve yeni dağların oluşmasıyla sonuçlanabilir.
- Yaklaşık 45 milyon yıl önce Hindistan levhasının Avrasya levhasıyla çarpışması bu sürecin dikkat çekici örneklerinden biridir.
- Bu çarpışma Himalayaların oluşumunu başlatmış ve dağların yükselmesi günümüze kadar devam etmiştir.
- Levha hareketleri böylece Dünya'nın fiziksel coğrafyasını uzun zaman ölçeklerinde sürekli yeniden şekillendirir.

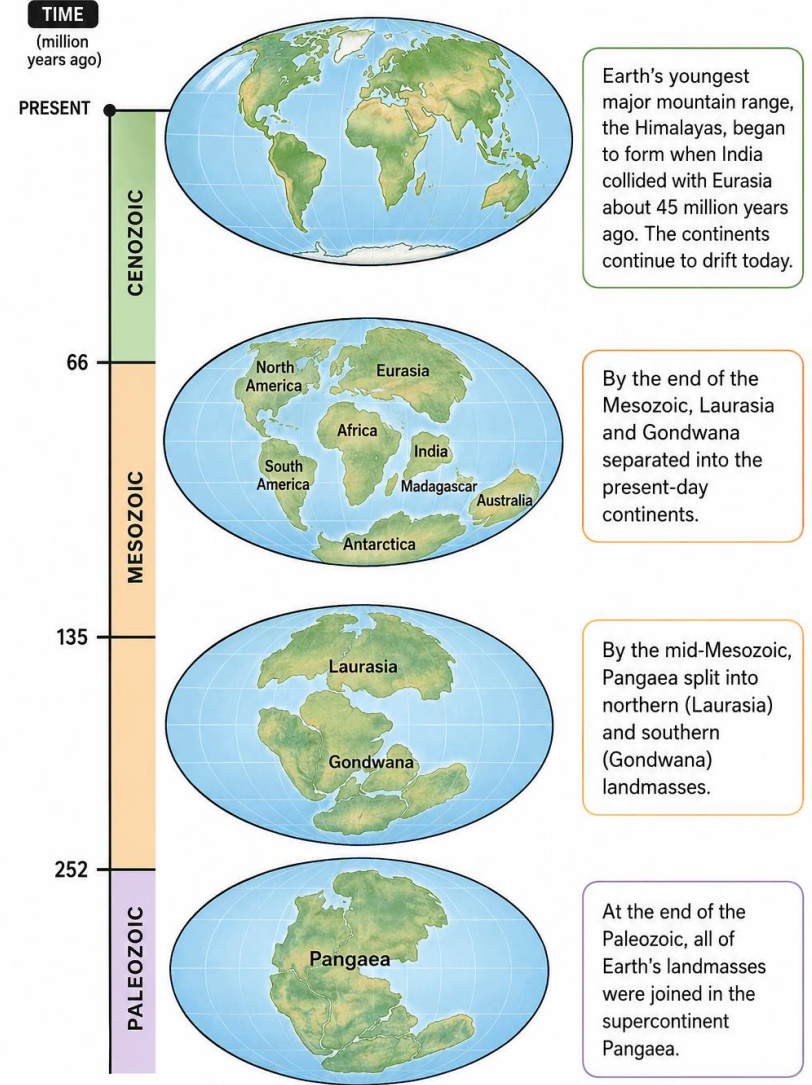




Kıtasal Sürüklenmenin Yaşam Üzerindeki Etkileri

- Kıtasal sürüklenme yalnızca Dünya'nın fiziksel yapısını değil, yaşamın bulunduğu ortamları da önemli ölçüde değiştirir.
- Yaklaşık 250 milyon yıl önce levha hareketleri daha önce ayrı olan kara kütlelerini Pangaea adı verilen süperkıtada birleştirmiştir.
- Pangaea'nın oluşması sığ kıyı denizlerini azaltmış ve bu ortamlarda yaşayan deniz canlılarının habitatlarını daraltmıştır.
- Kıtanın iç kesimleri de daha önceki koşullara göre daha soğuk ve kurak hâle gelmiş olabilir.

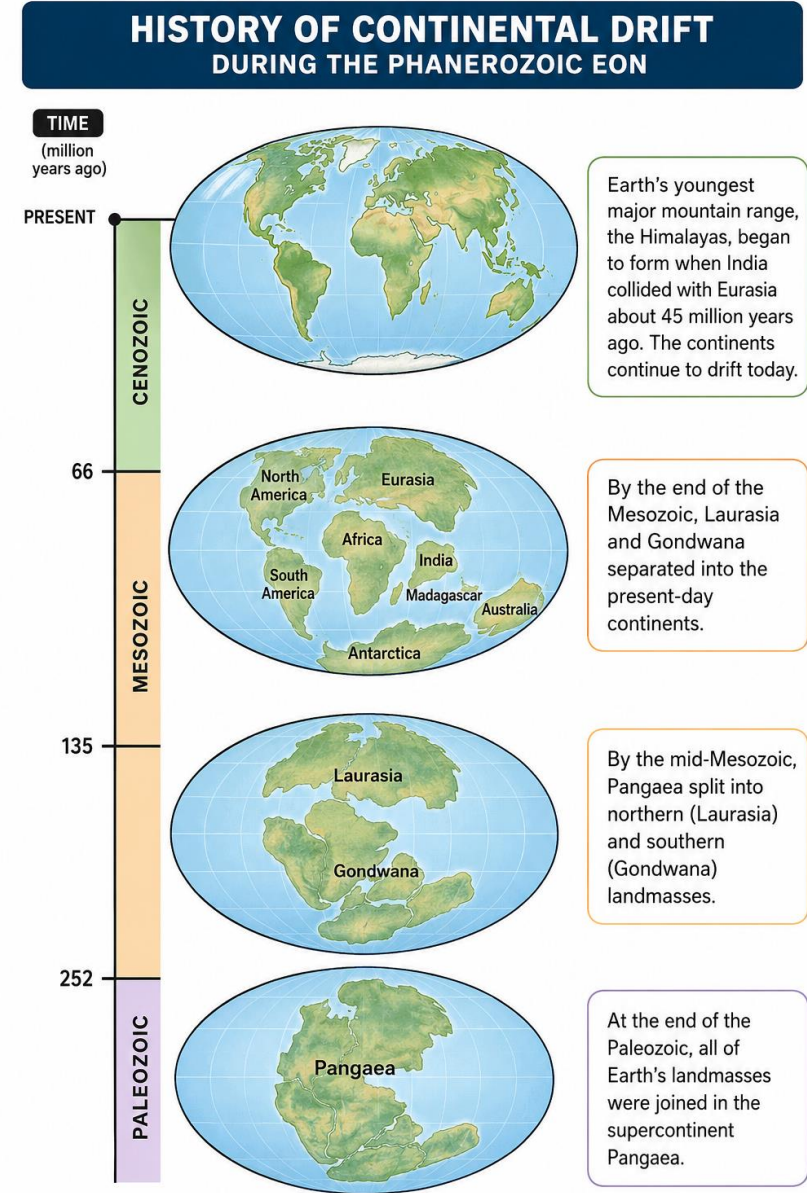
HISTORY OF CONTINENTAL DRIFT DURING THE PHANEROZOIC EON





Pangaea'dan Günümüz Kıtalarına

- Pangaea'nın oluşumu fiziksel çevreyi ve iklimi büyük ölçüde değiştirmiş, organizmalar için yeni fırsatlar ve yeni zorluklar yaratmıştır.
- Pangaea daha sonra parçalanmış ve kıtalar birbirlerinden ayrılarak günümüzdeki konumlarına doğru hareket etmiştir.
- Yandaki figür, Phanerozoic eon boyunca Pangaea'nın oluşumunu, parçalanmasını ve kıtaların günümüzdeki dağılımına ulaşmasını göstermektedir.
- Aynı süreçte Hindistan'ın kuzeye hareket ederek Avrasya ile çarpışması, Himalayaların oluşumuyla sonuçlanmıştır.





Kıtasal Sürüklenme İklimi ve Canlıların Dağılımını Değiştirir

- Bir kıta konum değiştirdiğinde üzerindeki organizmalar da farklı iklim koşullarıyla karşılaşabilir.
- Örneğin Labrador son 200 milyon yılda yaklaşık 40° kuzeye hareket etmiş ve bu süreçte iklimi önemli ölçüde değişmiştir.
- Kıtasal hareketler yeni coğrafi konumlara uyum sağlayamayan türlerin yok olmasına yol açabilir.
- Avustralya'nın Antarktika'dan yaklaşık 40 milyon yıl önce ayrılması, bu tür coğrafi ve biyolojik değişimlere örnek oluşturur.





Kıtaların Ayrılması Türleşmeyi Teşvik Edebilir

- Süperkıtaların parçalanması, daha önce birbirleriyle bağlantılı olan organizma popülasyonlarını birbirinden ayırabilir.
- Pangaea parçalanmaya başladığında farklı kıtalardaki popülasyonlar coğrafi olarak izole hâle gelmiştir.
- Yaklaşık 200 milyon yıl önce başlayan bu ayrılma, her kıtadaki soyların bağımsız olarak evrimleşmesine olanak sağlamıştır.
- Böylece kıtasal sürüklenme, geniş ölçekte allopatrik türleşmeyi destekleyebilir.





Kıtasal Sürüklenme Biyocoğrafyayı Açıklamaya Yardımcı Olur

- Kıtasal sürüklenme, günümüzde birbirinden çok uzak bölgelerde benzer fosillerin bulunmasını açıklayabilir.
- Permiyen dönemine ait bazı tatlı su sürüngenlerinin fosilleri hem Brezilya'da hem de Batı Afrika'da bulunmuştur.
- Bu canlıların geniş bir okyanusu aşması beklenmediğinden, fosiller kıtaların geçmişte birbirine bağlı olduğunu destekler.
- Kıtasal hareketler aynı zamanda günümüzdeki organizmaların coğrafi dağılımlarının anlaşılmasına da yardımcı olur.





Avustralya'nın Keselileri ve Kıtasal Tarih

- Avustralya'daki keseli memeliler, diğer kıtalardaki plasentalı memelilerin doldurduğu ekolojik rollere benzer roller üstlenir.
- Fosil kanıtlar, keselilerin günümüzde Asya olan bölgede ortaya çıktığını ve Güney Amerika ile Antarktika üzerinden Avustralya'ya ulaştığını düşündürmektedir.
- Güney kıtalarının daha sonra birbirinden ayrılması, Avustralya'yı büyük bir biyolojik "sal" hâline getirmiştir.
- Bu izolasyon sırasında keseliler çeşitlenirken, Avustralya'da bulunan az sayıdaki plasentalı memeli soyunun bir kısmı yok olmuştur.



Yok Oluş Yaşam Tarihinin Doğal Bir Parçasıdır

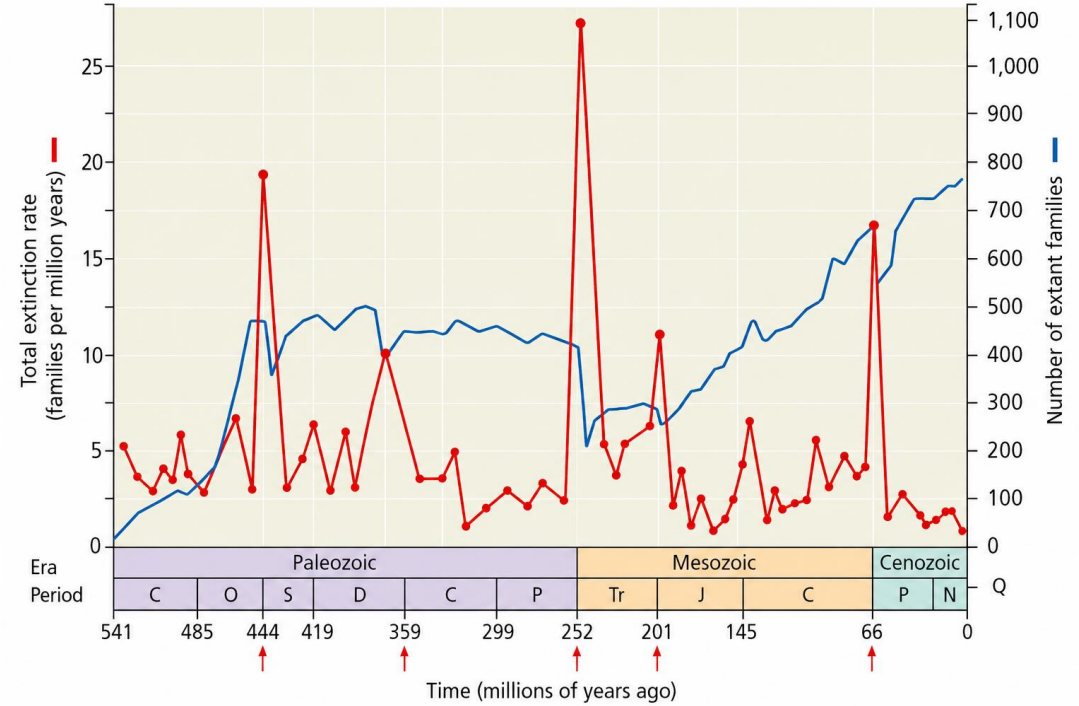
- Fosil kayıtlar, Dünya’da yaşamış türlerin çok büyük çoğunluğunun zaman içinde yok olduğunu göstermektedir.
- Türler habitat kaybı, çevresel koşulların değişmesi veya başka nedenlerle yok olabilir.
- Çevresel koşullar normal aralıklarında değiştiğinde bile bazı türler ortadan kalkabilir ve başka türler ortaya çıkabilir.
- Ancak küresel çevredeki ani ve büyük değişiklikler yok oluş hızını dramatik biçimde artırabilir.





Kitleysel Yok Oluş Nedir?

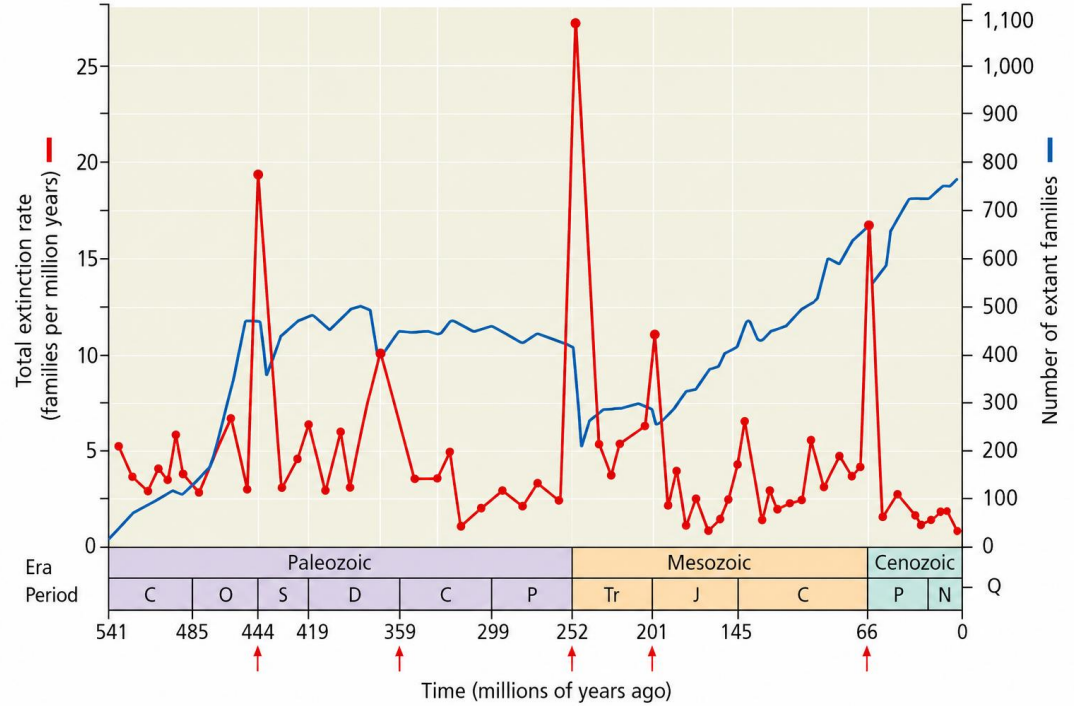
- Belirli dönemlerde küresel çevrede meydana gelen büyük değişimler, çok sayıda türün dünya çapında ortadan kalkmasına yol açmıştır.
- Bu olaylar, yok oluş hızının normal düzeylerin çok üzerine çıktığı kitleysel yok oluşlar olarak tanımlanır.
- Son 500 milyon yıllık fosil kayıtlarda genel olarak kabul edilen beş büyük kitleysel yok oluş belirlenmiştir.
- Yandaki figür, bu beş kitleysel yok oluşu deniz hayvanı familyalarının yok oluş hızları ve çeşitliliğindeki değişimlerle birlikte göstermektedir.





“Büyük Beş” Kitlesele Yok Oluş

- Beş büyük kitlesele yok oluş, deniz canlılarının fosil kayıtlarda belirgin yok oluş zirveleriyle tanımlanır.
- Bu olayların ikisi olan Permiyen ve Kretase kitlesele yok oluşları özellikle dikkat çekicidir.
- Yandaki figürde kitlesele yok oluşların, deniz hayvanı familyalarının uzun dönemli çeşitlilik artışını kesintiye uğrattığı görülmektedir.
- Permiyen kitlesele yok oluşunda deniz hayvanı türlerinin yaklaşık %96'sı ortadan kalkmıştır.





Permien Kitlesel Yok Oluşu

- Yaklaşık 252 milyon yıl önceki Permien kitlesel yok oluşu, Paleozoic ve Mesozoic eralar arasındaki sınırı belirler.
- Bu olay deniz yaşamını büyük ölçüde değiştirmiş ve deniz hayvanı türlerinin yaklaşık %96'sının yok olmasına neden olmuştur.
- Karasal yaşam da etkilenmiş ve örneğin bilinen 27 böcek takımından 8'i ortadan kalkmıştır.
- Yok oluşun jeolojik ölçekte son derece kısa, 500.000 yıldan daha kısa bir zaman aralığında gerçekleşmiş olabileceği düşünülmektedir.



Permien Yok Oluşunda Volkanizmanın Rolü

- Permien kitlesel yok oluşu, son 500 milyon yılın en büyük volkanik etkinliklerinden biri sırasında gerçekleşmiştir.
- Sibirya'da yaklaşık 1.6 milyon km² alan yüzlerce metre kalınlığındaki lavlarla örtülmüştür.
- Volkanik etkinliğin açığa çıkardığı karbondioksitin küresel iklimi yaklaşık 6°C ısıtmış olabileceği düşünülmektedir.
- Atmosferik CO₂ artışı ayrıca okyanus asitlenmesine yol açarak mercanlar ve birçok kabuk oluşturan tür için gerekli karbonatın kullanılabilirliğini azaltmış olabilir.



Permien Yok Oluşunda Okyanusların Değişimi

- Karasal erozyonun artması, fosfor gibi besinlerin okyanuslara taşınmasını artırmış olabilir.
- Bu durum mikroorganizmaların büyümesini desteklemiş, ölen mikroorganizmaların ayrışması ise bakterilerin sudaki oksijeni tüketmesine yol açmış olabilir.
- Oksijenin azalması anaerobik bakterilerin gelişimini destekleyerek zehirli bir metabolik yan ürün olan hidrojen sülfürün oluşmasına katkıda bulunmuş olabilir.
- Volkanizma ile ilişkili bu süreçlerin birlikte Permien kitlesel yok oluşuna yol açmış olabileceği düşünülmektedir.





Kretase Kitlesel Yok Oluşu

- Kretase kitlesel yok oluşu yaklaşık 66 milyon yıl önce gerçekleşmiş ve deniz türlerinin yarısından fazlasını ortadan kaldırmıştır.
- Karasal bitki ve hayvan familyalarının büyük bölümü de etkilenmiş, kuşlar dışındaki bütün dinozorlar yok olmuştur.
- Bu olayın olası nedeni olarak Dünya'ya büyük bir asteroit veya kuyruklu yıldızın çarpması öne sürülmüştür.
- Çarpışmayla atmosfere yayılan devasa miktardaki enkazın güneş ışığını engelleyerek küresel iklimi aylar boyunca bozmuş olabileceği düşünülmektedir.



CHICXULUB CRATER
• Age: 66 million years
• Diameter: 180 km



Impact from the southeast at a low angle produced a horseshoe-shaped crater and a cloud of hot vapor and debris that could have caused rapid, widespread devastation.



Chicxulub Krateri Kretase Yok Oluşunun Kanıtıdır

- Kretase kitlesel yok oluşu zamanına ait ince kil tabakasında yüksek miktarda iridyum bulunmuştur.
- İridyum Dünya yüzeyinde nadir olmasına karşın asteroitlerde ve diğer Dünya dışı cisimlerde daha yüksek miktarlarda bulunur.
- Meksika kıyılarındaki 66 milyon yıllık Chicxulub krateri, büyük bir gök cisminin Dünya'ya çarptığına ilişkin önemli kanıt sağlar.
- Yandaki figür, yaklaşık 180 km genişliğindeki Chicxulub kraterini ve çarpmanın olası sonuçlarını göstermektedir.





Altıncı Bir Kitlesele Yok Oluş Başlıyor mu?

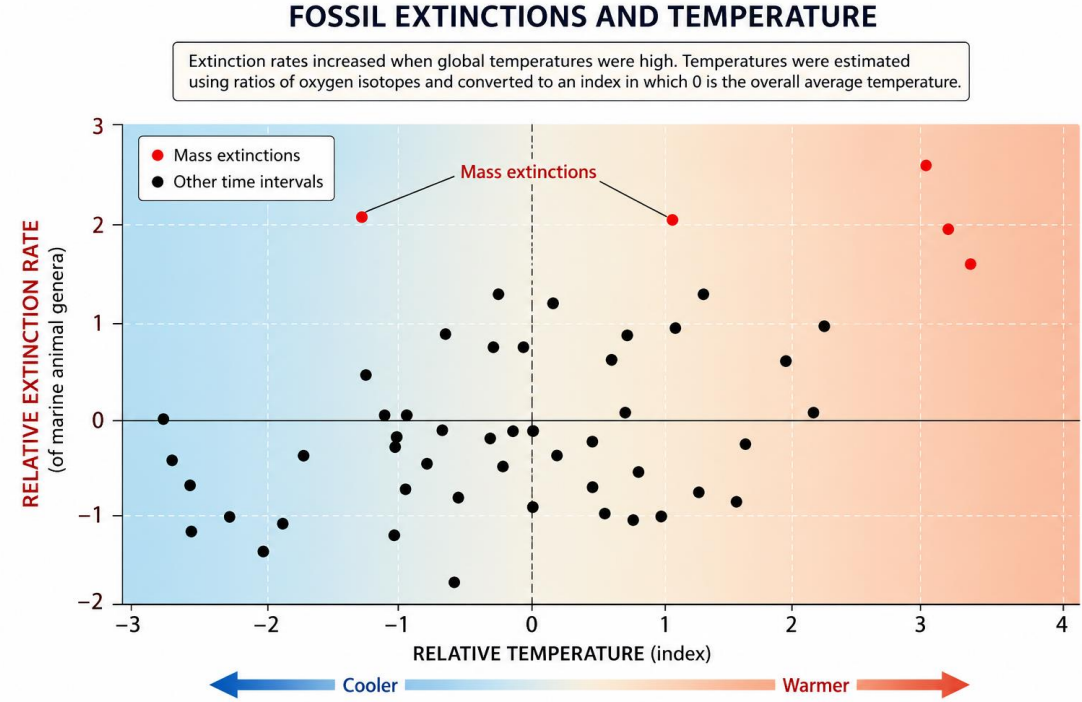
- İnsanların habitat tahribatı gibi faaliyetleri küresel çevreyi değiştirerek birçok türü yok oluş tehdidi altında bırakmaktadır.
- Son 400 yılda 1.000'den fazla türün yok olduğu bilinmektedir.
- Günümüzdeki yok oluş hızının fosil kayıtlarda görülen tipik arka plan hızından 100–1.000 kat daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir.
- Bununla birlikte günümüzdeki yok oluşların toplam sayısını kesin olarak belirlemek güç olduğundan, altıncı kitlesele yok oluşun başlayıp başlamadığı kesin olarak söylenememektedir.





İklim Değişikliği ve Yok Oluş Riski

- Birçok tür habitat kaybı, istilacı türler, aşırı avlanma ve diğer etkenler nedeniyle endişe verici hızlarda azalmaktadır.
- Kertenkeleler, ağaçlar ve kutup ayıları üzerinde yapılan çalışmalar, iklim değişikliğinin bu azalmaların bazılarını hızlandırabileceğini düşündürmektedir.
- Fosil kayıtlar da iklim değişikliğinin önemine işaret eder ve küresel sıcaklıkların yüksek olduğu dönemlerde yok oluş hızlarının artma eğiliminde olduğunu gösterir.
- Yandaki figür, deniz hayvanlarının göreceli yok oluş hızları ile küresel sıcaklık arasındaki ilişkiyi göstermektedir.





Kitlesel Yok Oluşlardan Sonra Ekosistemler Değişir

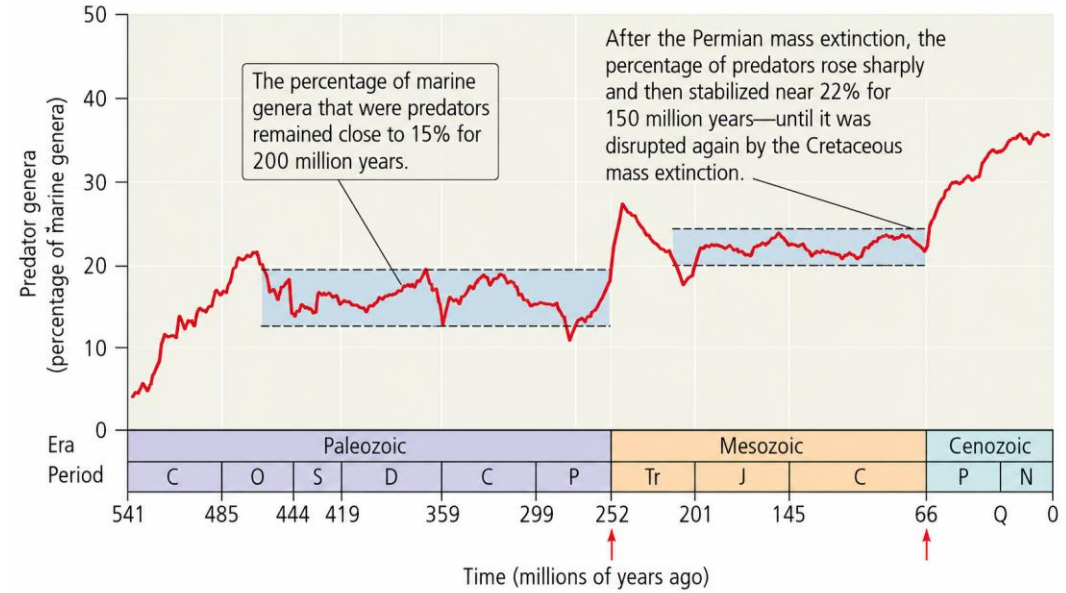
- Kitlesel yok oluşlar çok sayıda türü ortadan kaldırarak karmaşık ekolojik toplulukları eski yapılarının gölgeleri hâline getirebilir.
- Bir evrimsel soy ortadan kalktığında tekrar ortaya çıkamayacağından, evrimin sonraki seyri kalıcı biçimde değişir.
- Fosil kayıtlar, kitlesel yok oluşlardan sonra yaşam çeşitliliğinin eski düzeylerine dönmesinin genellikle 5–10 milyon yıl sürdüğünü gösterir.
- Permien kitlesel yok oluşundan sonra deniz familyalarının sayısının yeniden eski düzeyine ulaşması yaklaşık 100 milyon yıl sürmüştür.





Kitlesel Yok Oluşlar Ekolojik Toplulukları Yeniden Yapılandırır

- Kitlesel yok oluşlar, yalnızca tür sayısını azaltmaz; ekosistemlerdeki organizma gruplarının göreceli bolluklarını da değiştirebilir.
- Permian ve Kretase yok oluşlarından sonra deniz canlıları arasında yırtıcıların oranı önemli ölçüde artmıştır.
- Yırtıcılığın artması, avlar üzerindeki baskıyı ve yırtıcılar arasındaki rekabeti artırmış olabilir.
- Yandaki figür, Permian ve Kretase kitlesele yok oluşlarından sonra deniz yırtıcılarının oranındaki değişimleri göstermektedir.





Yok Oluşlar Yeni Evrimsel Fırsatlar Yaratabilir

- Kitlesel yok oluşlar, bazı soyların ortadan kalkmasına karşılık hayatta kalan gruplar için yeni ekolojik fırsatlar oluşturabilir.
- Örneğin geç Triyas dönemde bazı gastropodlar çift kabukluların kabuklarını delerek beslenebilecek özellikler geliştirmiştir.
- Bu grup yaklaşık 200 milyon yıl önceki kitlesel yok oluşta ortadan kalkmış, yaklaşık 120 milyon yıl sonra başka gastropod gruplarında benzer beslenme biçimi yeniden ortaya çıkmıştır.
- Kitlesel yok oluşların birçok türü ortadan kaldırması, hayatta kalan grupların çeşitlenebileceği yeni adaptif radyasyonların önünü açabilir.





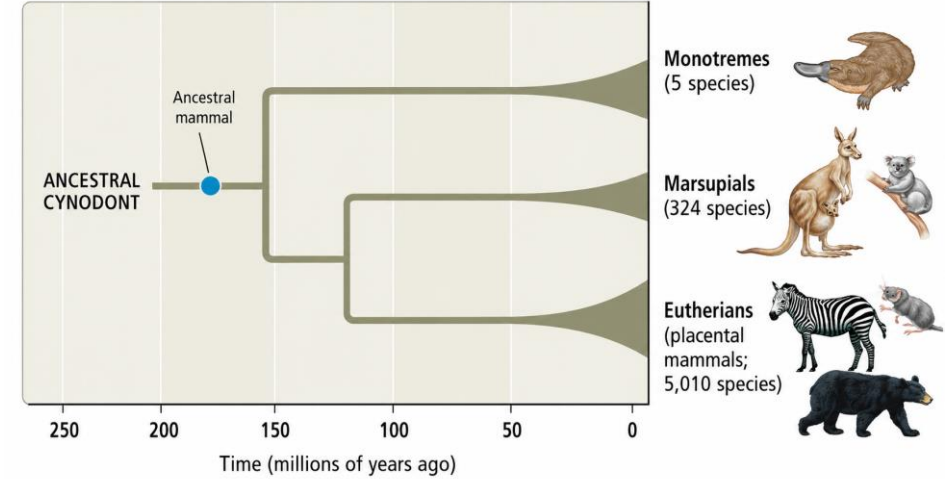
Adaptif Radyasyon Nedir?

- Son 250 milyon yılda yaşam çeşitliliğinin genel olarak artması, dönem dönem gerçekleşen adaptif radyasyonlarla desteklenmiştir.
- Adaptif radyasyonlarda bir organizma grubu, farklı ekolojik rolleri veya nişleri doldurabilecek çok sayıda yeni türe çeşitlenir.
- Büyük adaptif radyasyonlar, özellikle büyük kitlesel yok oluşlardan sonra boşalan çok sayıdaki ekolojik nişin kullanılabilir hâle gelmesiyle gerçekleşmiştir.
- Adaptif radyasyonlar, önemli evrimsel yenilikler taşıyan organizma gruplarının ortaya çıkmasıyla da ilişkilidir.



Memelilerin Adaptif Radyasyonu

- Fosil kayıtlar, memelilerin karasal dinozorların yaklaşık 66 milyon yıl önceki yok oluşundan sonra belirgin bir adaptif radyasyon geçirdiğini göstermektedir.
- Dinozorlar ortadan kalkmadan önceki memelilerin çoğu küçük ve morfolojik olarak birbirine benzer yapıdaydı.
- Dinozorların yok oluşuyla memeliler hem çeşitlilik hem de vücut büyüklüğü bakımından genişleyerek daha önce dinozorların işgal ettiği ekolojik rolleri doldurmuştur.
- Yandaki figür, atasal memeliden monotremeler, keseliler ve plasentalı memelilere uzanan adaptif radyasyonu göstermektedir.





Evrimsel Yenilikler Adaptif Radyasyonları Destekler

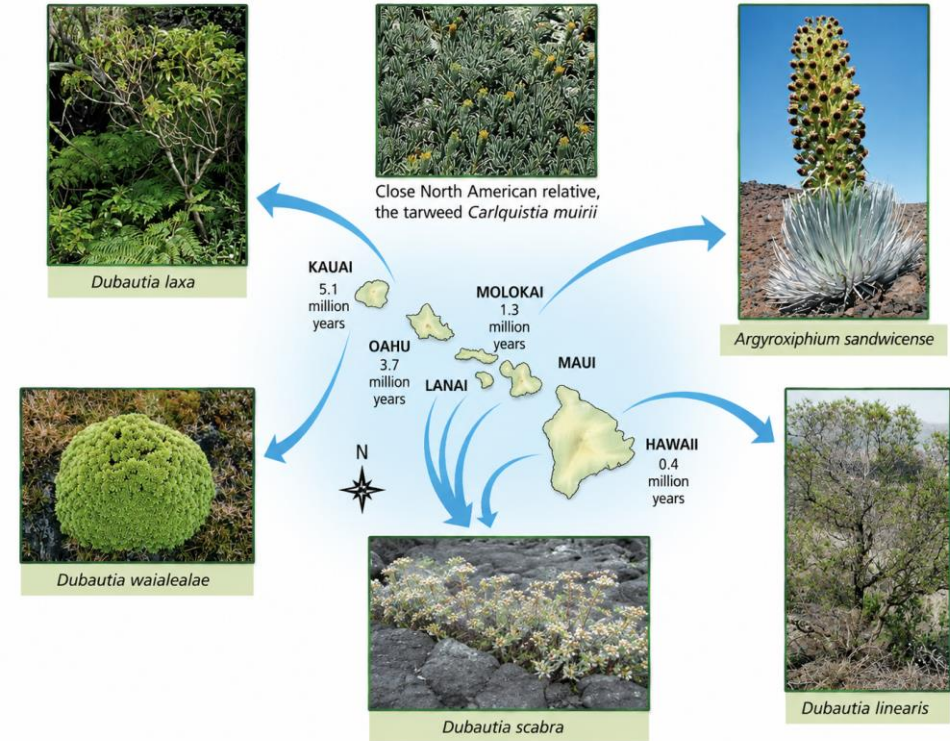
- Organizmaların yeni ekolojik rolleri kullanmasını sağlayan evrimsel yenilikler büyük adaptif radyasyonlarla ilişkilendirilebilir.
- Fotosentetik prokaryotların yükselişi, Kambriyen’de büyük yırtıcıların ortaya çıkışı ve canlıların karaları kolonize etmesi bu duruma örnek oluşturur.
- Karasal bitkilerin radyasyonu, bitkileri yerçekimine karşı destekleyen özellikler ve su kaybını azaltan mumsu örtü gibi yeniliklerle ilişkilidir.
- Çiçekli bitkilerin çeşitlenmesi ise onları tozlaştıran böceklerde bir dizi adaptif radyasyonun yeni besin kaynaklarıyla desteklenmesine katkı sağlamıştır.





Bölgesel Adaptif Radyasyonlar

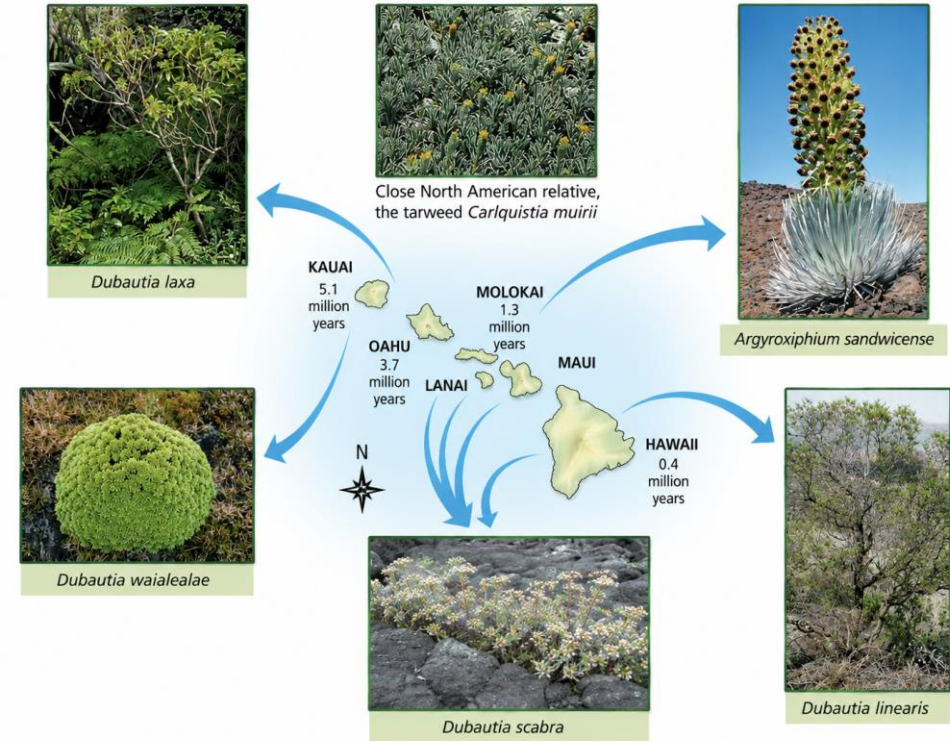
- Adaptif radyasyonlar daha sınırlı coğrafi alanlarda da ortaya çıkabilir.
- Birkaç organizmanın rekabetin az olduğu yeni ve uzak bir bölgeye ulaşması, hızlı çeşitlenme için fırsat oluşturabilir.
- Hawaii takımadaları, bu tür bölgesel adaptif radyasyonların en dikkat çekici örneklerinden biridir.
- Yandaki figür, Hawaii Adaları'ndaki “silversword alliance” olarak bilinen bitki grubunun adaptif radyasyonunu göstermektedir.





Hawaii Adalarında Adaptif Radyasyon

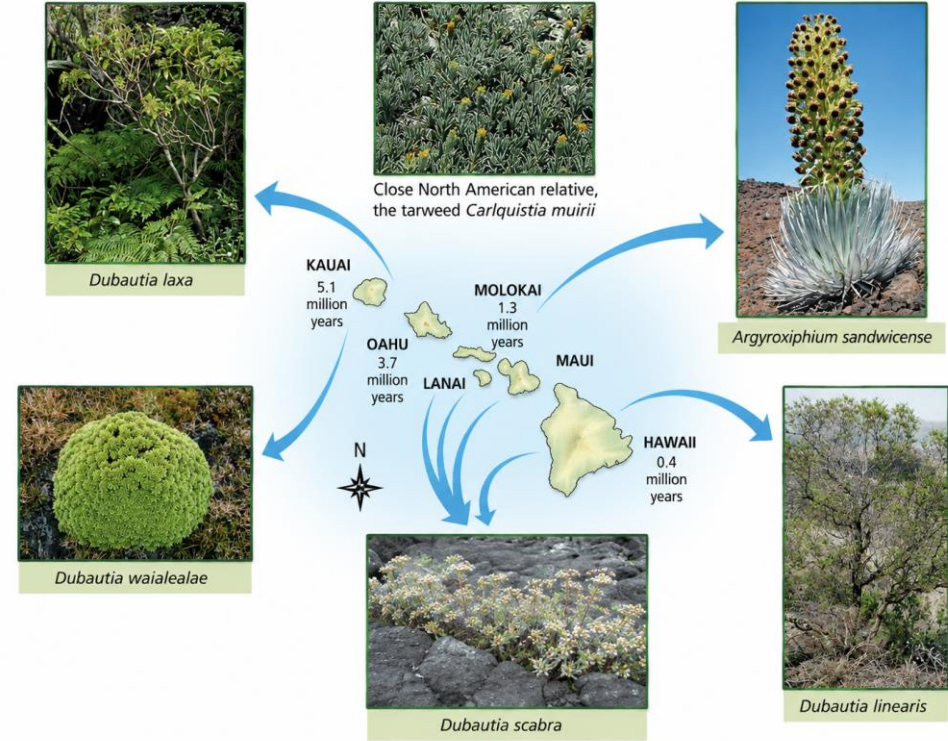
- Hawaii takımadalarının en eski adası Kauai yaklaşık 5.1 milyon, en genç büyük ada Hawaii ise 1 milyon yıldan daha gençtir.
- Adalar volkanik kökenli olduğundan başlangıçta çıplaktı ve daha sonra uzak bölgelerden veya diğer adalardan gelen organizmalar tarafından kolonize edildi.
- Toprak, yükselti ve yağış koşullarındaki büyük farklılıklar, doğal seçim yoluyla evrimsel farklılaşma için çok sayıda fırsat oluşturmıştır.
- Birden fazla kolonizasyonun ardından gerçekleşen türleşme olayları, Hawaii'de çok sayıda yeni türün ortaya çıkmasını sağlamıştır.





Hawaii “Silversword Alliance” Örneği

- Moleküler analizler, yandaki figürdeki Hawaii bitkilerinin yaklaşık 5 milyon yıl önce Kuzey Amerika’dan gelen ortak bir atadan türediğini göstermektedir.
- Bu bitkiler farklı habitatlara yayıldıkça çarpıcı biçimde farklı adaptasyonlara sahip yeni türler ortaya çıkmıştır.
- Hawaii Adaları’nda yalnızca bitkiler arasında yaklaşık 1.100 türün bu takımadalara özgü olduğu belirtilmektedir.
- Bununla birlikte habitat tahribatı ve yerli olmayan türlerin girişi, Hawaii’ye özgü birçok türü günümüzde yok oluş riskiyle karşı karşıya bırakmaktadır.





Büyük Morfolojik Değişimler Gelişim Genlerinden Kaynaklanabilir

- Fosil kayıtlar, yaşam tarihi boyunca vücut biçimlerinde büyük değişimlerin ortaya çıktığını ve bu değişimlerin zaman içinde gerçekleştiğini göstermektedir.
- Evrimsel gelişim biyolojisi, bu morfolojik farklılıkların altında yatan genetik mekanizmaları anlamaya çalışır.
- Özellikle gelişim sürecini etkileyen genlerdeki değişiklikler, türler arasında büyük yapısal farklılıkların oluşmasına yol açabilir.
- Bu değişiklikler gelişimin hızını, zamanlamasını ve vücut bölümlerinin mekânsal düzenlenmesini etkileyebilir.





Heterokroni Nedir?

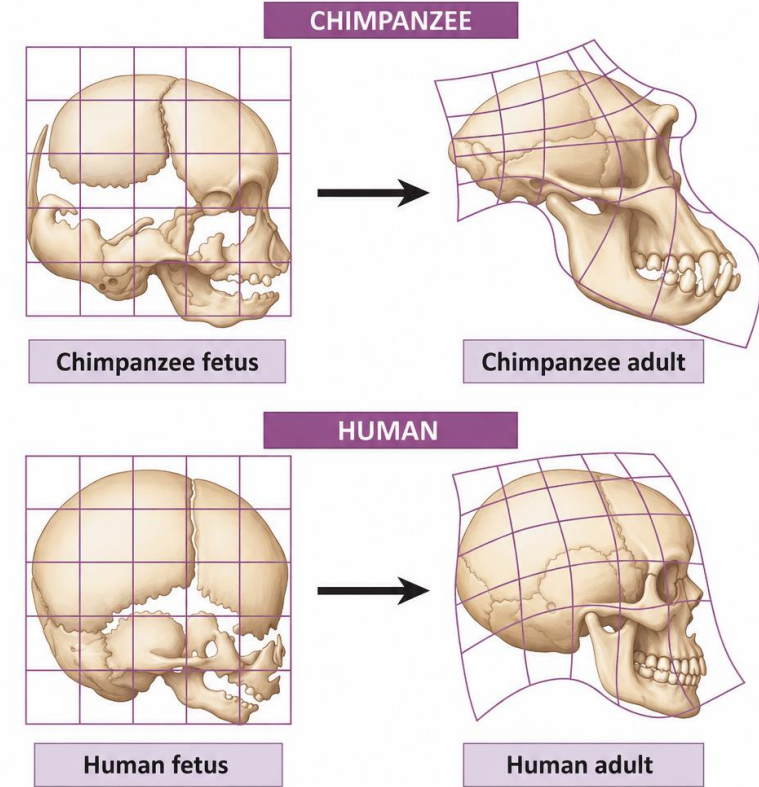
- Evrimsel dönüşümlerin önemli bir bölümü, gelişimsel olayların hızında veya zamanlamasında meydana gelen değişikliklerden kaynaklanır.
- Bu tür değişiklikler heterokroni olarak adlandırılır.
- Bir organizmanın erişkin biçimi, gelişim sırasında farklı vücut bölümlerinin birbirine göre büyüme hızlarından etkilenir.
- Bu hızlardaki değişiklikler, erişkin morfolojisinde belirgin farklılıklar oluşturabilir.





Heterokroni Kafatası Biçimini Nasıl Değiştirebilir?

- İnsan ve şempanze kafataslarının gelişimi, farklı vücut bölümlerinin görelî büyüme hızlarının morfolojiyi nasıl değiştirebildiğini gösterir.
- İnsan soyunda kafatasının farklı bölümleri arasındaki görelî büyüme oranlarının değişmesi, erişkin kafatasının şeklini etkilemiştir.
- Yandaki figür, şempanze ve insanlarda fetal dönemden erişkinliğe kadar kafatasının görelî büyüme örüntülerini karşılaştırmaktadır.
- İnsan erişkin kafatası, bu büyüme örüntüsü nedeniyle şempanze erişkininden çok şempanze fetüsünün kafatasına daha fazla benzerlik gösterir.





Heterokroninin Diğer Morfolojik Sonuçları

- Heterokroni, yalnızca kafatası biçiminde değil, diğer anatomik yapılarda da önemli değişikliklere yol açabilir.
- Örneğin parmak kemiklerinin büyüme hızındaki artış, yarasalarda kanat iskeletinin oluşumuna katkı sağlamıştır.
- Arka bacak ve pelvis kemiklerinin büyümesinin yavaşlaması ise balinalarda arka üyelerin büyük ölçüde küçülmesine ve kaybolmasına yol açmıştır.
- Böylece gelişim hızındaki değişiklikler, erişkin organizmanın genel vücut planını önemli ölçüde değiştirebilir.





Üreme Sisteminin Gelişim Zamanlaması da Değişebilir

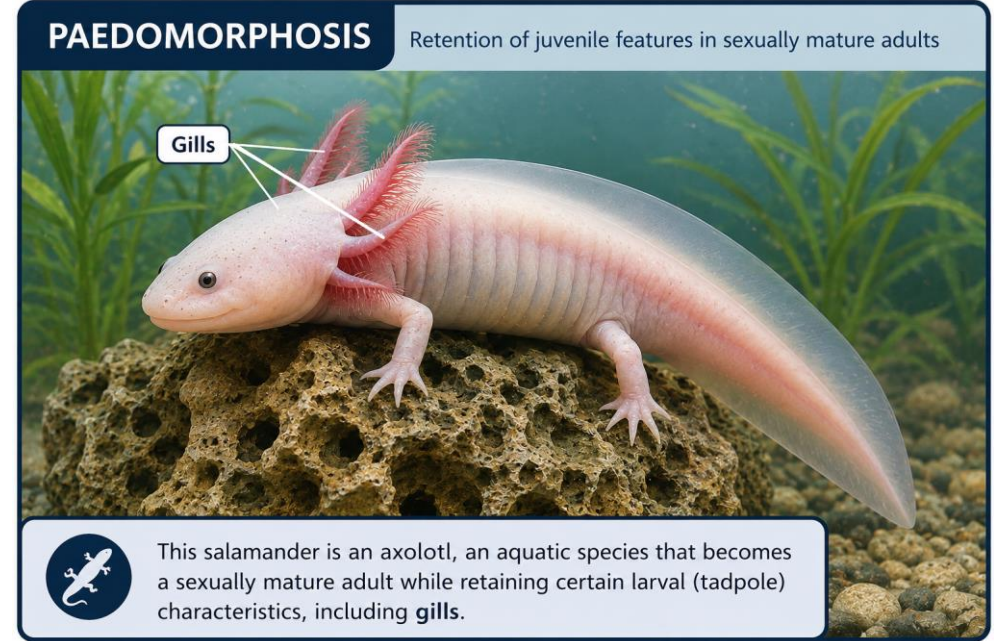
- Heterokroni, üreme organlarının gelişim zamanlamasını diğer vücut yapılarına göre değiştirebilir.
- Üreme organlarının gelişimi hızlanırsa, organizma diğer organlar tam gelişmeden cinsel olgunluğa ulaşabilir.
- Bu durumda erişkin birey, atasal türlerin genç bireylerine ait bazı özellikleri koruyabilir.
- Bu olgu paedomorfoz olarak adlandırılır.





Paedomorfoz

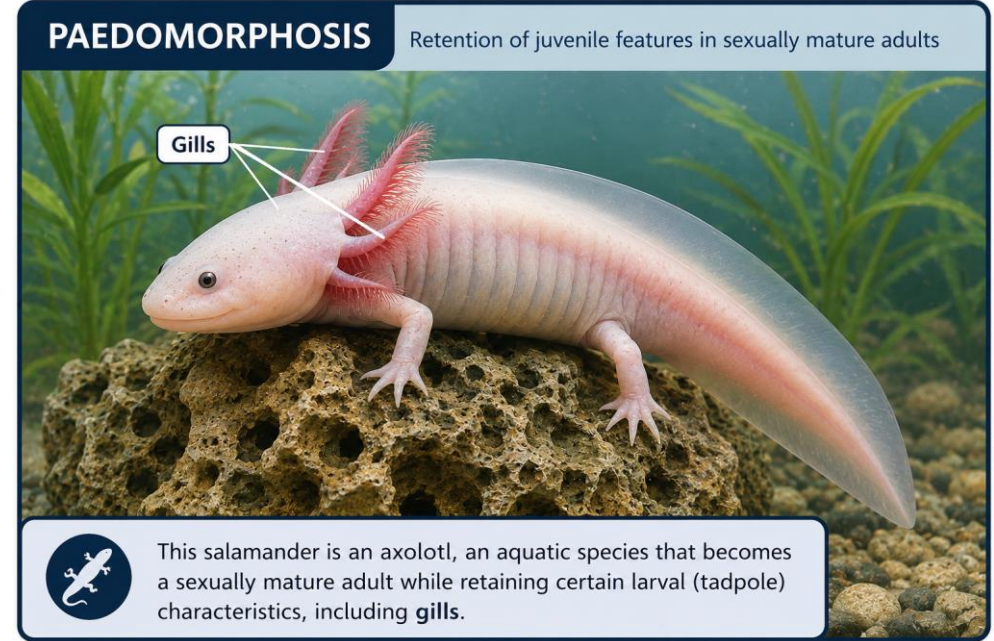
- Paedomorfozda erişkin organizma, atasal formlarda yalnızca genç dönemlerde görülen bazı özellikleri korur.
- Bazı semender türleri, yetişkin olduklarında da larval döneme ait belirli özellikleri taşır.
- Yandaki figür, erişkin bir axolotl semenderinin larval özelliklerden biri olan solungaçlarını koruduğunu göstermektedir.
- Gelişim zamanlamasındaki tek bir değişiklik, erişkin organizmanın atasal gençlik özelliklerini kalıcı biçimde taşımasına yol açabilir.





Paedomorfoz Küçük Genetik Değişikliklerle Ortaya Çıkabilir

- Bazı semenderlerde metamorfoz gerçekleşmediği için bireyler larval özelliklerini koruyarak erişkin hâle gelir.
- Buna karşılık bazı türler metamorfize olur, karada yaşar ve erişkin dönemde bu larval özellikleri kaybeder.
- Axolotl üzerindeki çalışmalar, paedomorfozun tek bir lokustaki değişiklikle ortaya çıkabileceğini göstermektedir.
- Bu bulgu, görece küçük genetik değişikliklerin önemli morfolojik sonuçlar doğurabileceğini ortaya koyar.





Mekânsal Gelişim Örüntülerindeki Değişiklikler

- Evrimsel değişiklikler, vücut bölümlerinin mekânsal organizasyonunu belirleyen genlerde meydana gelen değişimlerden de kaynaklanabilir.
- Bu tür genler, gelişim sırasında belirli yapıların vücudun hangi bölgesinde oluşacağını belirler.
- Homeotik genler, vücut bölümlerinin organizasyonu üzerinde etkili olan önemli düzenleyici genlerdir.
- Bu genlerin çalışma biçimindeki değişiklikler, büyük morfolojik farklılıklara yol açabilir.





Hox Genleri Vücut Planını Belirler

- Homeotik genlerin bir sınıfı olan Hox genleri, embriyonun baştan kuyruğa uzanan eksenini boyunca konumsal bilgi sağlar.
- Bu bilgi, hücrelerin belirli bölgelerde uygun vücut yapılarını geliştirmesine yardımcı olur.
- Hox genlerinin ifade edildiği bölgelerde veya ifade düzeylerinde meydana gelen değişiklikler, vücut planında önemli farklılıklar oluşturabilir.
- Bu nedenle Hox genleri, evrimsel morfolojik değişikliklerin anlaşılmasında temel öneme sahiptir.





Hox Genlerindeki Değişiklikler Büyük Morfolojik Sonuçlar Doğurabilir

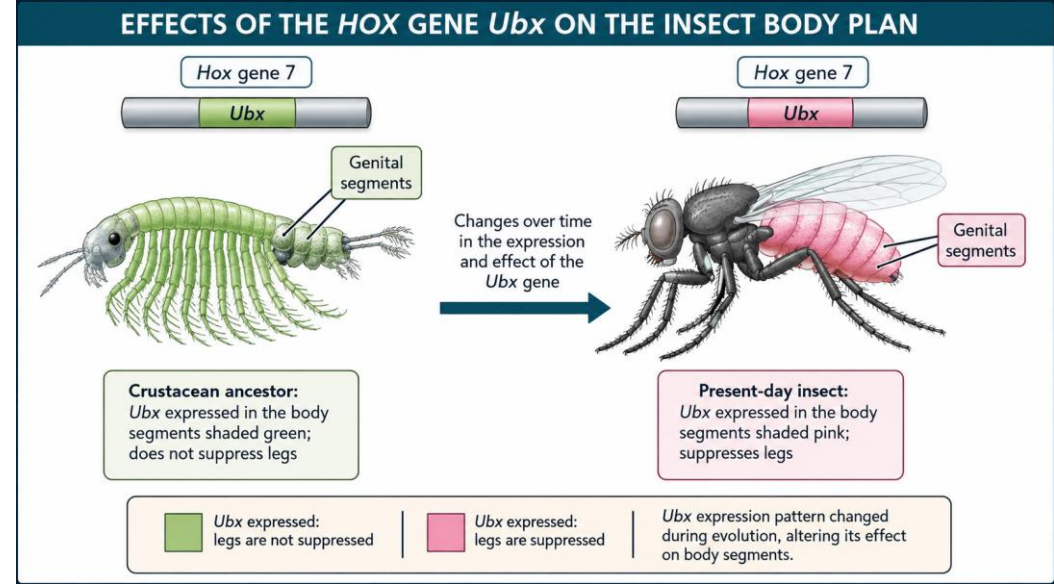
- Bazı kabuklularda Hox genlerinin ifade bölgelerindeki değişiklikler, yüzme uzantısının beslenmeye hizmet eden bir uzantıya dönüşmesiyle ilişkilidir.
- Benzer şekilde bitkilerde homeotik genlerin ifade örüntülerindeki değişiklikler çiçek biçimini önemli ölçüde etkileyebilir.
- Bu örnekler, mekânsal gen düzenlenmesindeki değişikliklerin yeni morfolojik yapıların ortaya çıkmasına katkıda bulunabileceğini gösterir.
- Gelişim genlerindeki değişiklikler böylece vücut bölümlerinin kimliğini ve işlevini değiştirebilir.





Ubx Geninin Böcek Vücut Planındaki Rolü

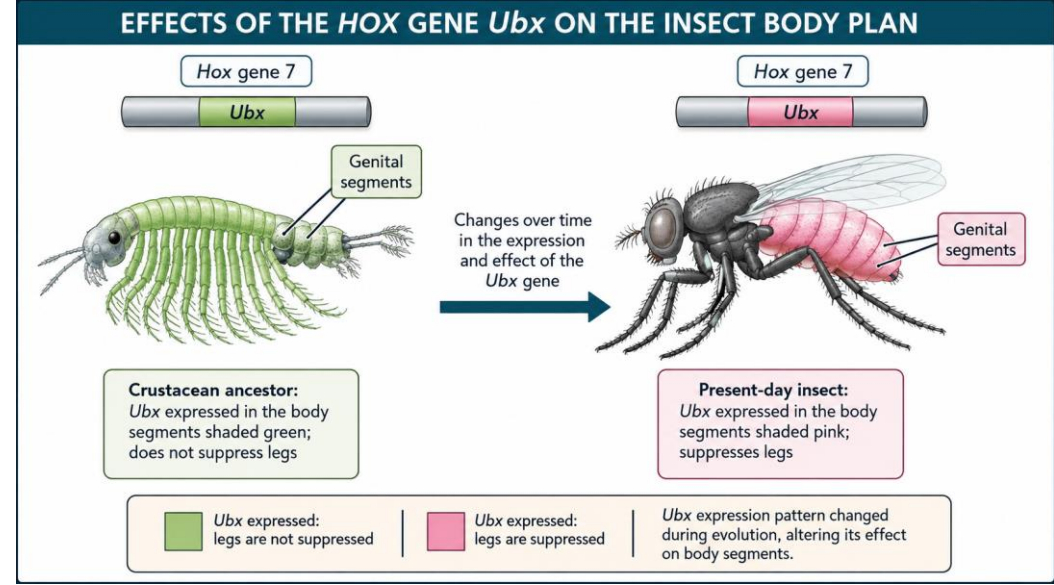
- Ubx, eklem bacaklılarda vücut segmentlerinin gelişimini etkileyen bir Hox genidir.
- Kabuklu atalarında Ubx, belirli vücut segmentlerinde ifade edilir ancak bacak gelişimini baskılamaz.
- Günümüz böceklerinde ise Ubx, belirli segmentlerde bacak oluşumunu baskılar.
- Yandaki figür, Ubx geninin etkisindeki değişimin kabuklu atalarından böcek vücut planına geçişle ilişkisini göstermektedir.





Ubx Genindeki Değişimin Mekanizması

- Araştırmacılar, böcek ve kabuklu Ubx genlerinin işlevsel etkilerini karşılaştırmak için gen aktarım deneyleri gerçekleştirmiştir.
- *Drosophila* Ubx geni ifade edildiğinde embriyolarda bacak oluşumu tamamen baskılanmıştır.
- Kabuklu *Artemia* türünden alınan Ubx geni ise bacak gelişimini yalnızca kısmen baskılamıştır.
- Bu sonuç, böcek Ubx proteininin zaman içinde bacak oluşumunu baskılayan daha güçlü bir işlev kazanmış olduğunu göstermektedir.





Ubx Üzerindeki Evrimsel Değişikliklerin Belirlenmesi

- Araştırmacılar, böcek ve kabuklu Ubx genleri arasında hibrit genler oluşturarak hangi bölgelerin morfolojik etkiye katkıda bulunduğunu incelemiştir.
- Bu hibrit genler *Drosophila* embriyolarına aktarılmış ve bacak gelişimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.
- Bu deneyler, böceklerde ek bacakların baskılanmasından sorumlu belirli amino asit değişikliklerinin tanımlanmasını sağlamıştır.
- Böylece bir gelişim genindeki sınırlı dizi değişikliklerinin büyük ölçekli vücut planı farklılıklarına katkıda bulunabileceği gösterilmiştir.



Gelişim Genlerinin Dizisindeki Değişiklikler

- Gen duplikasyonu sonrasında ortaya çıkan yeni gelişim genleri, büyük morfolojik biçimlerin kökeninde rol oynamış olabilir.
- Ancak gen dizisi değişiklikleri çok eski dönemlerde gerçekleştiğinde, bu değişikliklerle morfolojik sonuçlar arasında doğrudan nedensel bağlantı kurmak zorlaşır.
- Ubx örneği, gen dizisindeki belirli değişikliklerin morfolojik sonuçlarla ilişkilendirilebildiği bir durumdur.
- Bu tür çalışmalar, gelişim genlerindeki dizi değişikliklerinin evrimsel yeniliklere nasıl katkıda bulunabileceğini göstermektedir.





Gen Düzenlenmesindeki Değişiklikler

- Bir genin nükleotid dizisi değiştiğinde, o gen nerede ifade edilirse edilsin işlevi etkilenebilir.
- Buna karşılık gen düzenlenmesindeki değişiklikler, yalnızca belirli hücre veya dokulardaki gen ifadesini etkileyebilir.
- Bu nedenle gelişim genlerinin düzenlenmesindeki değişiklikler, gen dizisindeki değişikliklere göre daha sınırlı yan etkilere sahip olabilir.
- Birçok evrimsel biçim değişikliğinin, gelişim genlerinin protein kodlayan bölgelerinden çok düzenleyici bölgelerindeki mutasyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.





Dikenbalıklarında Diken Kaybı

- Üç dikenli dikenbalıkları hem denizel hem de tatlı su ortamlarında yaşayan popülasyonlara sahiptir.
- Denizel dikenbalığı bireylerinde pelvis bölgesinde belirgin ventral dikenler bulunurken, bazı göl popülasyonlarında bu dikenler küçülmüş veya tamamen kaybolmuştur.
- Dikenler avcı balıklara karşı koruma sağlayabilirken, düşük kalsiyumlu göllerde üretimlerinin maliyetli olması nedeniyle dezavantaj oluşturabilir.
- Bu farklılık, gelişim genlerindeki değişimlerin doğal popülasyonlarda morfolojik çeşitliliğe nasıl yol açtığını incelemek için kullanılmıştır.



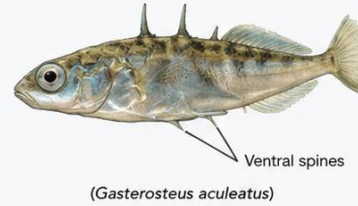


Pitx1 Geni ve Ventral Dikenlerin Gelişimi

- Pitx1 adlı gelişim geni, dikenbalıklarında ventral dikenlerin oluşumunu etkileyen genlerden biridir.
- Araştırmacılar, göl popülasyonlarındaki diken kaybının Pitx1'in protein kodlayan dizisindeki bir değişiklikten mi kaynaklandığını test etmiştir.
- Deniz ve göl dikenbalıklarında Pitx1 proteininin 283 amino asitlik dizisinin aynı olduğu belirlenmiştir.
- Yandaki figür, ventral diken kaybının Pitx1 protein dizisindeki bir değişiklikten kaynaklanmadığını göstermektedir.

WHAT CAUSES THE LOSS OF SPINES IN LAKE STICKLEBACK FISH?

THREESPIN STICKLEBACK



EXPERIMENT

Marine populations have a set of protective ventral spines; these spines have been lost or reduced in some lake populations.



HYPOTHESIS A

A change in the DNA sequence of *Pitx1* caused spine reduction.



HYPOTHESIS B

A change in the regulation of *Pitx1* expression caused spine reduction.

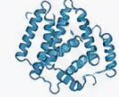
TEST 1

Are there differences in the coding sequence of the *Pitx1* gene in marine and lake stickleback fish?

RESULTS

RESULT NO

The 283 amino acids of the *Pitx1* protein are identical in marine and lake stickleback populations.



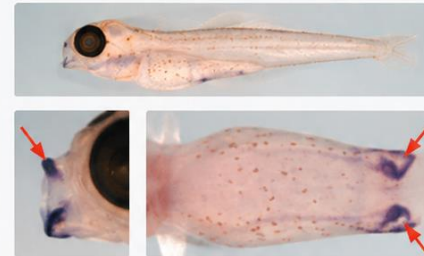
TEST 2

Are there any differences in the regulation of the expression of *Pitx1*?

RESULT YES

Red arrows (→) indicate regions of *Pitx1* gene expression in the photographs below.

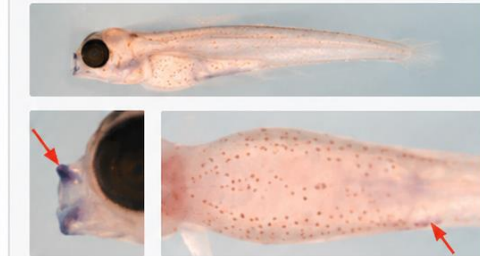
MARINE STICKLEBACK EMBRYO



Close-up of mouth

Close-up of ventral surface

LAKE STICKLEBACK EMBRYO



Close-up of mouth

Close-up of ventral surface



Pitx1 coding sequence is the same in both populations, but its expression pattern differs. Reduced expression in the ventral spine and mouth regions is associated with spine loss in lake stickleback fish.

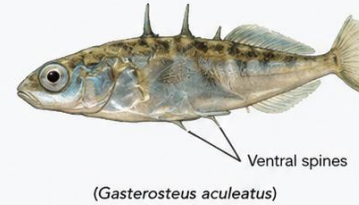


Pitx1 Geninin Düzenlenmesi Değişmiştir

- Araştırmacılar daha sonra diken kaybının Pitx1 geninin ifade düzenlenmesindeki bir değişiklikten kaynaklanıp kaynaklanmadığını incelemiştir.
- Denizel dikenbalığı embriyolarında Pitx1, gelişmekte olan ventral diken ve ağız bölgelerinde ifade edilmektedir.
- Göl dikenbalığı embriyolarında ise Pitx1 ağız bölgesinde ifade edilmeye devam ederken ventral diken bölgesindeki ifade kaybolmuştur.
- Yandaki figür, morfolojik değişimin Pitx1 gen dizisinden çok genin belirli bir vücut bölgesindeki düzenlenmesinin değişmesiyle ilişkili olduğunu göstermektedir.

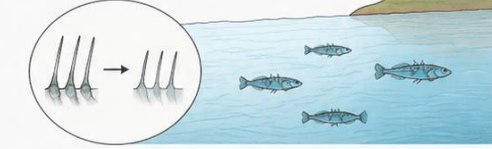
WHAT CAUSES THE LOSS OF SPINES IN LAKE STICKLEBACK FISH?

THREESPIN STICKLEBACK



EXPERIMENT

Marine populations have a set of protective ventral spines; these spines have been lost or reduced in some lake populations.



HYPOTHESIS A

A change in the DNA sequence of *Pitx1* caused spine reduction.



HYPOTHESIS B

A change in the regulation of *Pitx1* expression caused spine reduction.

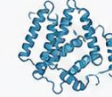
TEST 1

Are there differences in the coding sequence of the *Pitx1* gene in marine and lake stickleback fish?

RESULTS

RESULT
NO

The 283 amino acids of the *Pitx1* protein are identical in marine and lake stickleback populations.



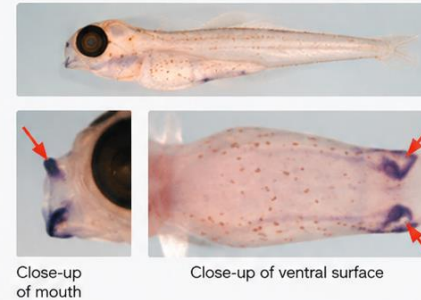
TEST 2

Are there any differences in the regulation of the expression of *Pitx1*?

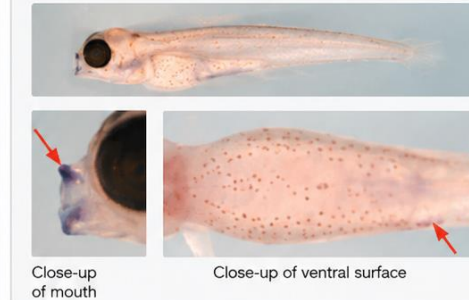
RESULT
YES

Red arrows (→) indicate regions of *Pitx1* gene expression in the photographs below.

MARINE STICKLEBACK EMBRYO



LAKE STICKLEBACK EMBRYO



Pitx1 coding sequence is the same in both populations, but its expression pattern differs. Reduced expression in the ventral spine and mouth regions is associated with spine loss in lake stickleback fish.

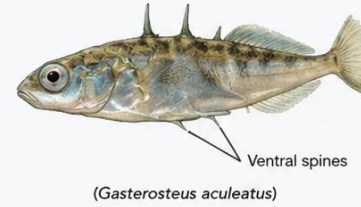


Deneyisel Sonuç

- Yandaki figürde verilen deneyler, göl ve deniz dikenbalıklarında Pitx1 protein dizisinin aynı olduğunu göstermektedir.
- Buna karşılık Pitx1'in geliştirmekte olan pelvis bölgesindeki ifade örüntüsü iki popülasyon arasında farklıdır.
- Bu bulgular, göl popülasyonlarında ventral dikenlerin azalması veya kaybolmasının esas olarak Pitx1 gen ifadesinin düzenlenmesindeki değişiklikten kaynaklandığını destekler.
- Böylece aynı protein korunurken, genin nerede ifade edildiğinin değişmesi önemli bir morfolojik farklılık oluşturabilir.

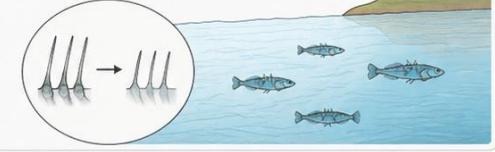
WHAT CAUSES THE LOSS OF SPINES IN LAKE STICKLEBACK FISH?

THREESPIN STICKLEBACK



EXPERIMENT

Marine populations have a set of protective ventral spines; these spines have been lost or reduced in some lake populations.



HYPOTHESIS A

A change in the DNA sequence of *Pitx1* caused spine reduction.



HYPOTHESIS B

A change in the regulation of *Pitx1* expression caused spine reduction.

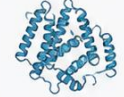
TEST 1

Are there differences in the coding sequence of the *Pitx1* gene in marine and lake stickleback fish?

RESULTS

RESULT NO

The 283 amino acids of the *Pitx1* protein are identical in marine and lake stickleback populations.



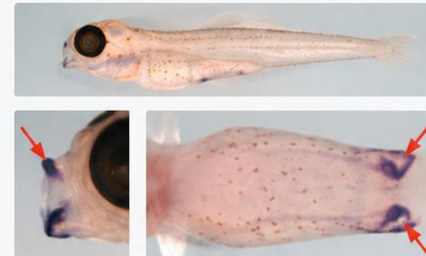
TEST 2

Are there any differences in the regulation of the expression of *Pitx1*?

RESULT YES

Red arrows (→) indicate regions of *Pitx1* gene expression in the photographs below.

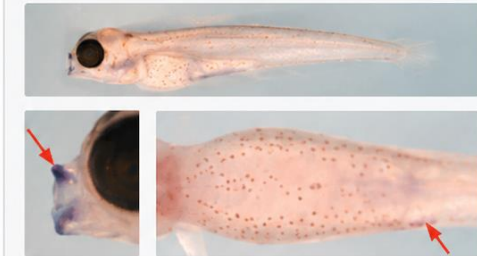
MARINE STICKLEBACK EMBRYO



Close-up of mouth

Close-up of ventral surface

LAKE STICKLEBACK EMBRYO



Close-up of mouth

Close-up of ventral surface



Pitx1 coding sequence is the same in both populations, but its expression pattern differs. Reduced expression in the ventral spine and mouth regions is associated with spine loss in lake stickleback fish.





Pel Enhancer Bölgesi ve Dikenbalığı Evrimi

- Daha sonraki çalışmalar, Pitx1 geninin pelvis bölgesindeki ifadesini etkileyen Pel enhancer adlı kodlamayan bir DNA bölgesini tanımlamıştır.
- Bu düzenleyici bölgedeki değişiklikler, göl dikenbalıklarında ventral dikenlerin azalmasıyla ilişkilendirilmiştir.
- Böylece morfolojik evrim, bir proteinin amino asit dizisi değişmeden yalnızca gelişimsel gen ifadesinin düzenlenmesi yoluyla gerçekleşebilir.
- Dikenbalığı örneği, gelişim genlerinin düzenleyici bölgelerindeki değişikliklerin popülasyonlarda evrimsel değişime nasıl yol açabileceğini göstermektedir.





Gelişim Genleri ve Vücut Biçiminin Evrimi

- Gelişim genlerindeki değişiklikler organizmanın gelişim hızını, zamanlamasını veya vücut bölümlerinin mekânsal düzenlenmesini etkileyebilir.
- Heterokroni ve paedomorfoz, gelişim zamanlamasındaki değişikliklerin erişkin morfolojisini değiştirebildiğini gösterir.
- Hox ve Ubx örnekleri, gelişim genlerinin dizisi veya etkisindeki değişikliklerin vücut planını yeniden şekillendirebildiğini ortaya koyar.
- Dikenbalığı örneği ise gen düzenlenmesindeki değişikliklerin, gen dizisi değişmeden de belirgin morfolojik evrime yol açabileceğini göstermektedir.





Evrin Belirli Bir Hedefe Yönelmez

- Evrimsel değişim, popölasyonlarda doğal seçilim gibi küçük ölçekli süreçlerle ve türleşme gibi büyük ölçekli süreçlerle şekillenir.
- Yeni canlı biçimleri çoğu zaman mevcut yapıların ve gelişim genlerinin değiştirilmesiyle ortaya çıkar.
- Bu süreç, organizmaların çevrelerine uyum sağlamasına ve yaşam çeşitliliğinin artmasına katkıda bulunur.
- Ancak evrim önceden belirlenmiş bir hedefe veya kusursuz bir sonuca doğru ilerlemez.



Evrimsel Yenilikler Mevcut Yapıların Değişiminden Doğabilir

- Darwin'in "değişerek türeme" görüşü, karmaşık yapıların atasal yapılarda meydana gelen kademeli değişikliklerle ortaya çıkabileceğini öngörür.
- Karmaşık yapılar çoğu zaman aynı temel işlevin daha gelişmiş biçimlerini temsil eden ara aşamalar üzerinden evrimleşir.
- Bu nedenle yeni bir yapı, bir anda tamamen oluşmak yerine daha basit işlevsel yapılardan kademeli olarak gelişebilir.
- Gözün evrimi, bu süreci açıklamak için kullanılan dikkat çekici örneklerden biridir.





Basit Gözler de İşlevseldir

- Karmaşık bir gözün tüm bileşenlerinin aynı anda ortaya çıkması gerekmez; daha basit göz yapıları da işlev görebilir.
- En basit gözler, ışığa duyarlı fotoreseptör hücrelerden oluşan küçük yamalar şeklindedir.
- Bu tür yapılar görüntü oluşturamaz ancak organizmanın ışık ile karanlığı ayırt etmesine yardımcı olur.
- Yandaki figür, limpetlerde bulunan basit fotoreseptör hücre yamalarının ışık ve karanlık ayrımını sağladığını göstermektedir.

✓ **Limpets** (*Patella vulgata*), molluscs that can sense light and dark with a simple patch of photoreceptor cells.





Basit Gözler Hayatta Kalma Açısından Yeterli Olabilir

- Limpetler ışığın geldiği yönü ayrıntılı biçimde belirleyemese de, üzerlerine gölge düştüğünü algılayabilir.
- Gölge algılandığında kayaya daha sıkı tutunmaları, yenme riskini azaltan davranışsal bir uyum sağlar.
- Yandaki figür, basit göz yapılarının uzun evrimsel geçmiş boyunca hayatta kalma ve üreme için yeterli olabileceğini göstermektedir.
- Bu durum, karmaşık bir yapının evrimi için önceki ara aşamaların da işlevsel olması gerektiğini destekler.

✓ **Limpets** (*Patella vulgata*), molluscs that can sense light and dark with a simple patch of photoreceptor cells.



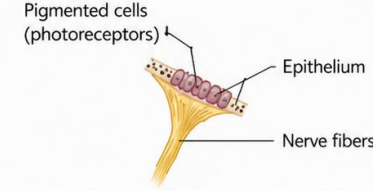


Göz Karmaşıklığında Geniş Bir Çeşitlilik Vardır

- Hayvanlar âleminde basit fotoreseptör yamalarından karmaşık kamera tipi gözlere kadar çok farklı göz yapıları bulunur.
- Bazı yumuşakçalarda göz, fotoreseptör yamasından göz çukuruna ve iğne deliği tipi göze kadar farklı karmaşıklık düzeylerinde görülür.
- Daha gelişmiş yapılarda kornea, lens, retina ve optik sinir gibi bileşenler bulunabilir.
- Yandaki figür, yumuşakçalar arasında göz karmaşıklığının geniş bir aralıkta değiştiğini göstermektedir.

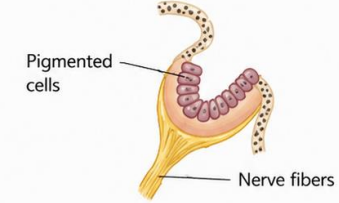
A RANGE OF EYE COMPLEXITY AMONG MOLLUSCS

a Patch of pigmented cells



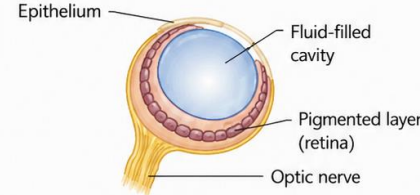
The limpet *Patella* has a simple patch of photoreceptors.

b Eyecup



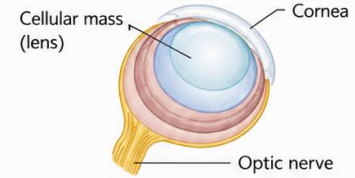
The slit shell mollusc *Pleurotomaria* has an eyecup.

c Pinhole camera-type eye



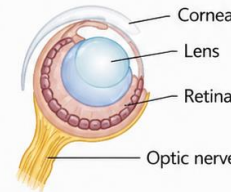
The *Nautilus* eye functions like a pinhole camera (an early type of camera lacking a lens).

d Eye with primitive lens



The marine snail *Murex* has a primitive lens consisting of a mass of crystal-like cells. The cornea is a transparent region of tissue that protects the eye and helps focus light.

e Complex camera lens-type eye



The squid *Loligo* has a complex eye with features (cornea, lens, and retina) similar to those of vertebrate eyes. However, the squid eye evolved independently from vertebrate eyes.

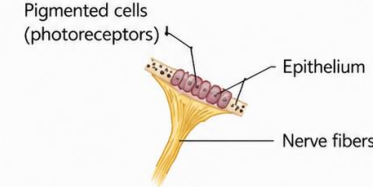


Göz Evriminin Olası Aşamaları

- Figür a'da limpetlerde yalnızca pigmentli fotoreseptör hücrelerden oluşan basit bir ışık algılama sistemi bulunmaktadır.
- Figür b'de bazı yumuşakçalarda fotoreseptörlerin içe doğru çökmesiyle bir göz çukuru oluşmuştur.
- Figür c'de *Nautilus* gibi türlerde açıklığı daralmış, iğne deliği kamera benzeri bir göz yapısı görülür.
- Figür d ve e'de ise lensli ve daha karmaşık kamera tipi gözlerin yapısal özellikleri gösterilmektedir.

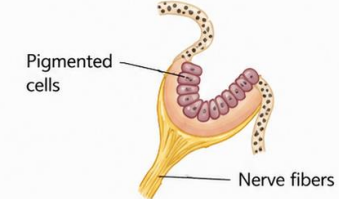
A RANGE OF EYE COMPLEXITY AMONG MOLLUSCS

a Patch of pigmented cells



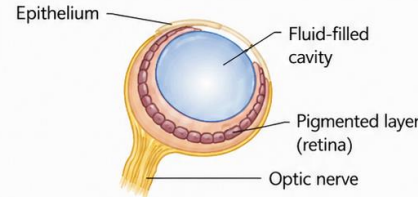
The limpet *Patella* has a simple patch of photoreceptors.

b Eyecup



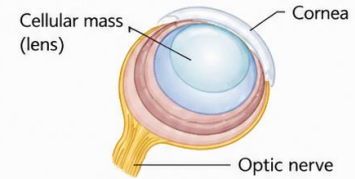
The slit shell mollusc *Pleurotomaria* has an eyecup.

c Pinhole camera-type eye



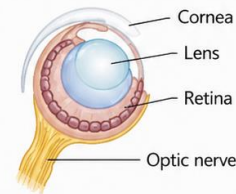
The *Nautilus* eye functions like a pinhole camera (an early type of camera lacking a lens).

d Eye with primitive lens



The marine snail *Murex* has a primitive lens consisting of a mass of crystal-like cells. The cornea is a transparent region of tissue that protects the eye and helps focus light.

e Complex camera lens-type eye



The squid *Loligo* has a complex eye with features (cornea, lens, and retina) similar to those of vertebrate eyes. However, the squid eye evolved independently from vertebrate eyes.





Karmaşık Gözler Bağımsız Olarak Evrimleşmiştir

- Karmaşık gözler hayvanlar âleminde birbirinden bağımsız olarak birden fazla kez evrimleşmiştir.
- Bazı yumuşakçalarda gelişen karmaşık gözler, omurgalı gözlerinden bağımsız bir evrimsel kökene sahiptir.
- Buna rağmen bu gözlerin tümü, ortak atada bulunan daha basit ışığa duyarlı hücrelerden türemiş olabilir.
- Farklı soylar, benzer işlevsel gereksinimler doğrultusunda farklı yapısal yollar izleyerek karmaşık gözler geliştirmiştir.





Aynı İşlev Farklı Yapısal Çözümlerle Gerçekleşebilir

- Omurgalı gözlerinde ışık, fotoreseptörlere ulaşmadan önce retina tabakalarından geçer.
- Bazı karmaşık yumuşakça gözlerinde ise fotoreseptörlerin konumu farklıdır ve ışık doğrudan bu hücrelere ulaşır.
- Bu farklılıklar, karmaşık gözlerin farklı evrimsel yollardan bağımsız olarak ortaya çıktığını destekler.
- Evrim aynı probleme tek bir zorunlu çözüm üretmez; farklı soylar farklı yapısal çözümler geliştirebilir.





Evrimsel Yenilikler Her Zaman Sıfırdan Ortaya Çıkmaz

- Evrimsel yenilikler çoğu zaman daha önce başka bir işlev için kullanılan mevcut yapılardan gelişir.
- Örneğin memelilerin orta kulağındaki çekiç ve örs kemikleri, memeli atalarında çene eklemine parçaları olarak görev yapan kemiklerden türemiştir.
- Bu yapılar daha sonra ses iletiminde yeni bir işlev kazanmıştır.
- Böylece mevcut bir yapı, zaman içinde farklı bir işlev için kullanılabilir hâle gelebilir.





Exaptation Nedir?

- Bir bağlamda evrimleşen ancak daha sonra başka bir işlev için kullanılan yapılar exaptation olarak adlandırılır.
- Exaptation, bir yapının gelecekteki işlevinin önceden “amaçlandığı” anlamına gelmez.
- Doğal seçim gelecekteki gereksinimleri öngörmez; yalnızca bir yapının mevcut koşullardaki işlevsel değerine göre etkili olur.
- Yeni işlevler, daha önce farklı görevler üstlenen yapıların zamanla yeniden kullanılmasından doğabilir.





Evrimsel Trendler Nasıl Ortaya Çıkar?

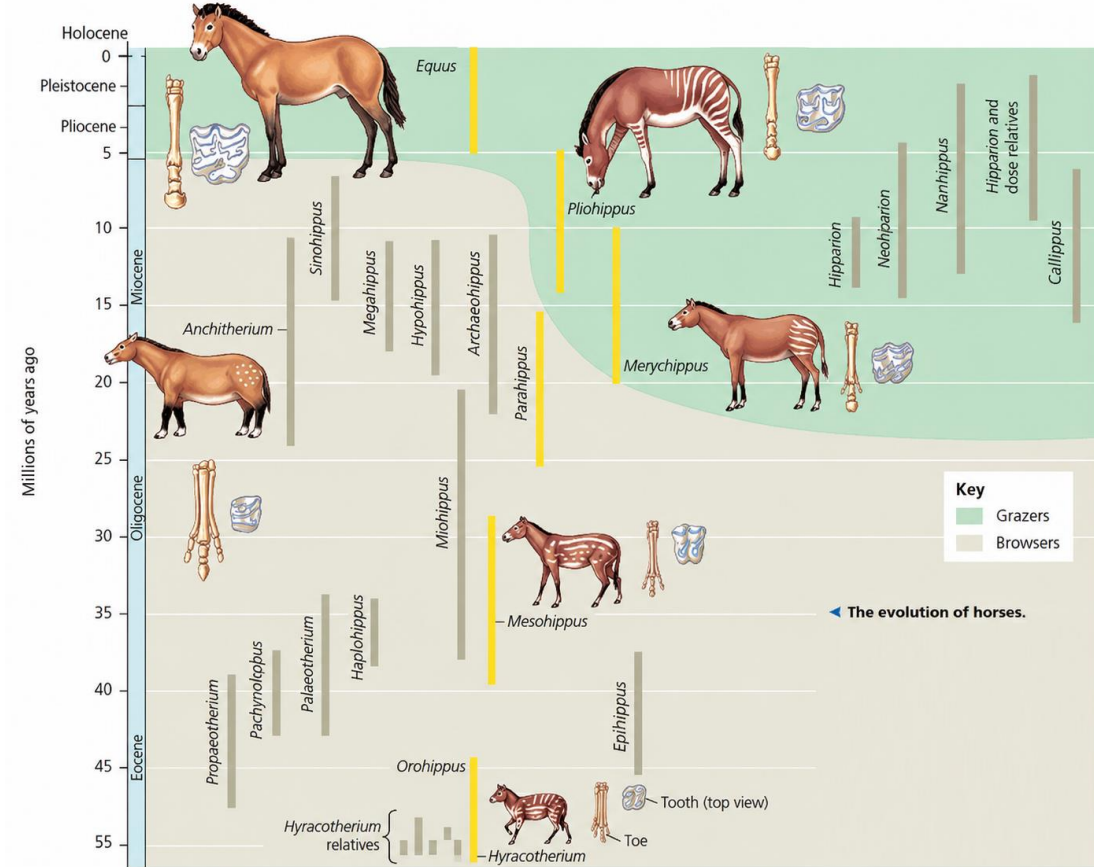
- Fosil kayıtlarda bazı soyların zaman içinde belirli yönlerde değiştiği görülür ve bu örüntüler evrimsel trendler olarak adlandırılır.
- Örneğin bazı soylar boyunca vücut büyüklüğünün artması veya azalması gibi uzun dönemli değişim örüntüleri görülebilir.
- Ancak bir trendin varlığı, tüm soyların aynı doğrultuda ilerlediği veya evrimin belirli bir hedefe yöneldiği anlamına gelmez.
- Evrimsel trendler, dallanan soyların farklı başarıları ve doğal seçilimin etkileri sonucunda ortaya çıkabilir.





Atların Evrimi Düz Bir Çizgi Değildir

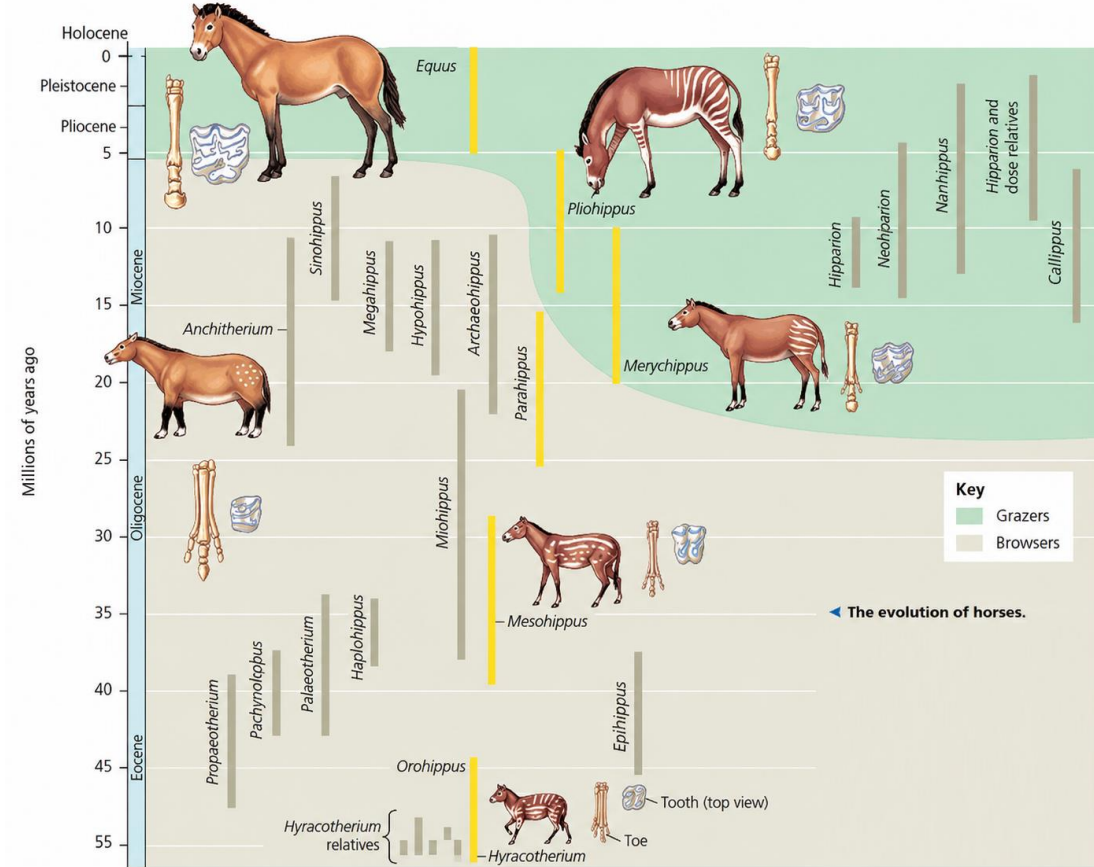
- Günümüz atı *Equus*, yaklaşık 55 milyon yıl önce yaşamış *Hyracotherium* soyundan gelen çok sayıda daldan yalnızca biridir.
- Hyracotherium* yaklaşık büyük bir köpek büyüklüğündeydi ve ön ayaklarında dört, arka ayaklarında üç parmak bulunuyordu.
- Günümüz atları daha büyük gövdeli, tek parmaklı ve otlamaya uyum sağlamış dişlere sahiptir.
- Bu farklılıklar ilk bakışta at evriminde tek yönlü bir ilerleme izlenimi verebilir.





At Evriminin Dallanan Yapısı

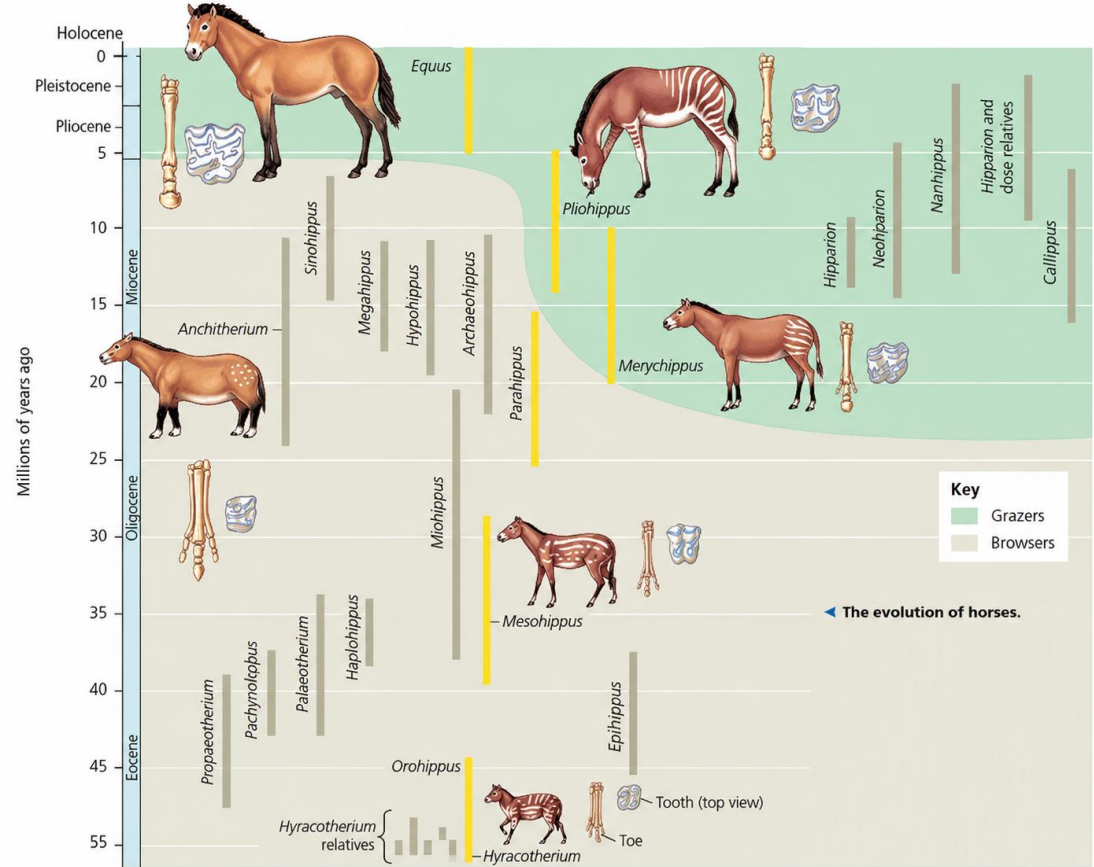
- Yandaki figür, günümüz atlarına ulaşan soyun yanı sıra geçmişte yaşamış çok sayıda farklı at soyunu göstermektedir.
- Fosil kayıtlar, atların evriminin tek bir doğrusal hat boyunca ilerlemediğini ortaya koyar.
- Bazı soylar vücut büyüklüğü, parmak sayısı ve beslenme biçimi bakımından farklı yönlerde değişmiştir.
- Günümüzde yalnızca *Equus* soyunun hayatta kalmış olması, geçmişteki çeşitliliğin büyük bölümünün kaybolduğu anlamına gelir.





Fosiller Yanıltıcı Bir “İlerleme” Görünümünü Oluşturabilir

- Belirli fosiller seçilerek sıralandığında küçük bir atadan büyük ve tek parmaklı günümüz atına doğru düzenli bir ilerleme görüntüsü oluşturulabilir.
- Ancak tüm fosil soyları birlikte incelendiğinde, at evriminin bir çalı gibi çok sayıda dala ayrıldığı görülür.
- *Equus*, bu dallardan yalnızca günümüze ulaşabilmiş olanıdır.
- Yandaki figür, evrimsel değişimin doğrusal ilerleme yerine dallanan bir soy ağacı şeklinde gerçekleştiğini göstermektedir.





Evrimsel Trendler Tür Seçilimiyle de İlişkili Olabilir

- Bazı uzun dönemli evrimsel trendler, bireysel organizmalardaki doğal seçilimin yanı sıra farklı türlerin başarı oranlarından da kaynaklanabilir.
- Bazı özelliklere sahip türler daha fazla yeni tür oluşturabilir veya daha düşük yok oluş oranına sahip olabilir.
- Bu durumda belirli özellikleri taşıyan soyların zaman içinde daha fazla temsil edilmesi mümkündür.
- Böyle bir süreç, makroevrimsel ölçekte tür seçilimi olarak değerlendirilebilir.





Doğal Seçilim Evrimsel Trendleri Doğrudan da Oluşturabilir

- Evrimsel trendler bazı durumlarda doğrudan doğal seçilimin uzun süreli etkisiyle ortaya çıkabilir.
- At atalarının orta Cenozoic dönemde yayılan otlaklara girmesi, daha hızlı koşabilen bireyler üzerinde güçlü seçim yaratmış olabilir.
- Açık otlaklarda yırtıcılardan kaçabilme avantajı, hızlı koşmayı destekleyen özelliklerin yaygınlaşmasına katkı sağlamış olabilir.
- Ancak bu koşullar değişseydi, aynı trend ortaya çıkmayabilir veya zaman içinde tersine dönebilirdi.





Evrimsel Trendler Kaçınılmaz Değildir

- Evrimsel bir trend, gelecekte belirli bir sonucun mutlaka ortaya çıkacağı anlamına gelmez.
- Evrimin yönü, organizmalar ile içinde yaşadıkları çevre arasındaki etkileşime bağlıdır.
- Çevresel koşullar değiştiğinde mevcut bir evrimsel trend yavaşlayabilir, durabilir veya tersine dönebilir.
- Bu nedenle fosil kayıtlarda görülen uzun dönemli yönelimler, önceden belirlenmiş bir evrimsel plan olarak yorumlanmamalıdır.





Evrimin Amaçsızlığı ve Yaşamın Çeşitliliği

- Yaşamın çeşitliliği, organizmaların çevreleriyle uzun süreli etkileşimleri sonucunda ortaya çıkan evrimsel değişimlerin bir ürünüdür.
- Doğal seçim mevcut koşullarda avantaj sağlayan özellikleri destekler, ancak gelecekte hangi özelliklerin gerekli olacağını öngörmez.
- Evrimsel yenilikler, eski yapıların değiştirilmesi, yeni işlevler kazanması ve soyların farklı yönlerde dallanmasıyla ortaya çıkar.
- Böylece yaşamın olağanüstü çeşitliliği, belirli bir hedefe yönelen bir süreçten değil, tarihsel ve çevresel koşullara bağlı evrimsel değişimlerden doğar.



Teşekkür ederim

Prof. Dr. Bektaş TEPE

