

2. KARBON ÇEVİRİMİ VE ORGANİK MADDENİN KORUNMASI

Yeryüzünde hemen bütün yaşam fotosentez olayına bağlıdır. Karbondioksit atmosferden kara bitkileri yada deniz suyundan denizel algler vasıtasıyla alınır ve daha sonradan bitki dokularına dönüştürülür. Bazı bitkiler doğal olarak ölürler. Diğerleri ise otçul hayvanlar tarafından yok edilirler, otçul hayvanlar çevrim içerisinde et oburlar tarafından ve etoburların bazıları da diğer bazı etoburlar tarafından yok edilirler. Hatta pek çok cansız organik materyal leş yiyen hayvanlar tarafından tüketilmektedir. Fotosentez bu nedenle hemen hemen bütün yaşayan organizmalar için beslenmenin tahmini kaynağıdır. Şayet atmosferdeki CO₂ bitecek yada çok azalacak olursa, fotosentez olayı sona erer. Bu eksilmeyi önlemenin yolu karbonun bitki ve hayvan hücrelerinden tekrar atmosferik CO₂'e dönüşümünün sağlanması gereklidir.

Bu çevrim birçok yolla meydana gelir. İnsan, hayvan ve bitkilerin solunumu CO₂ 'i doğrudan atmosfere döndürür. Ölü hayvanların ve bitkilerin bakteriyel bozulması ve doğal oksidasyon CO₂ üretir. Petrolün insan vasıtasıyla yakılması, kömür damarlarının yerli yerinde doğal yolla yanması ve petrol sızıntılarının oksidasyonu da yine karbon çevrimi içerisinde yer alır.

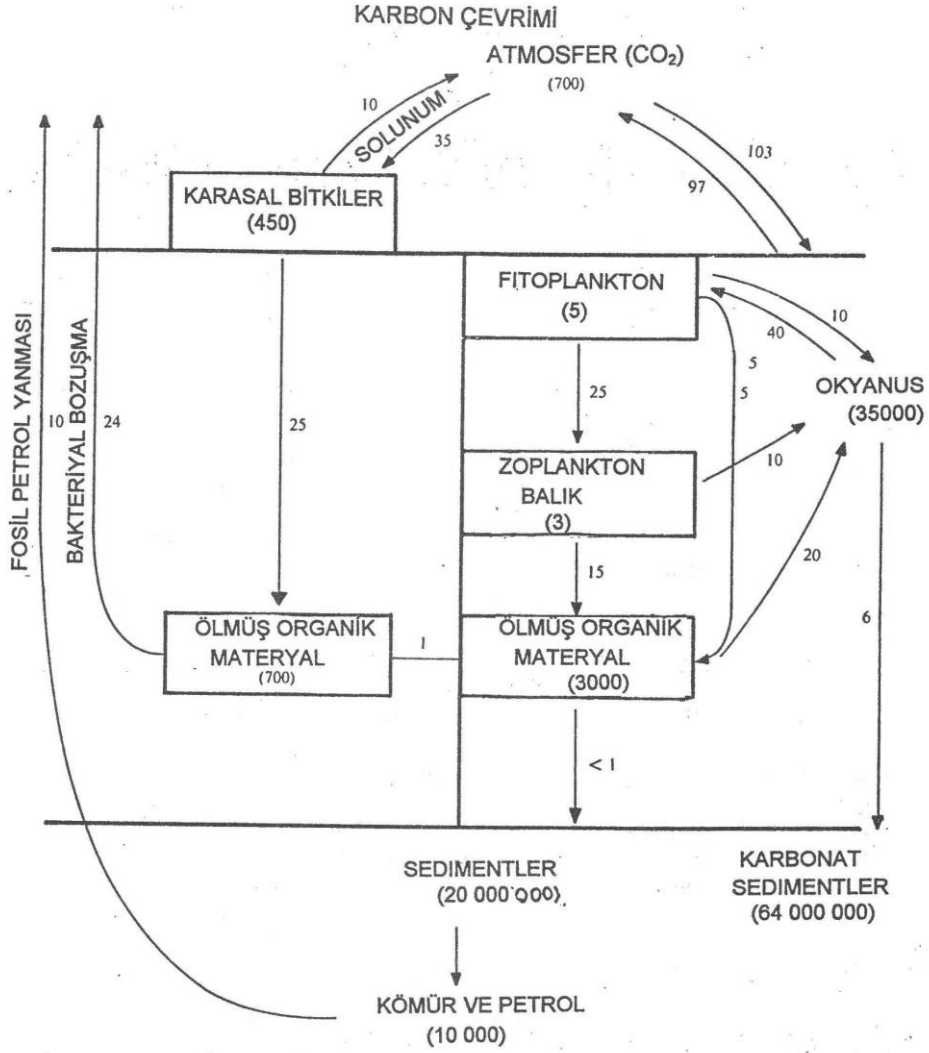
Karbon çevrimi % 100 olarak gerçekleşmez. Organik meteryalin küçük miktarları CO₂'in oluşmadığı oksidasyon ortamlarında izole edilerek sürekli olarak çevrimden ayrılır. Üretilen organik materyalin % 1 den daha azının çevrimden kaçması olasıdır (Garrels ve Perry, 1974). Fakat bu küçük miktar jeolojik zaman boyunca son derece büyük oranlarda fosil organik materyal üretir. Bu fosil organik materyalin bir kısmı kömür, petrol ve doğal gaz olarak bilinmektedir.

Bolin (1970) karbon çevrimini teknik olmayan ifadelerle çok açık bir şekilde açıklamıştır. Şekil 2.1. onun makalesinden uyarlanmış olup karbon çevriminin genel hatlarını göstermektedir. Organik karbonun tonlarca milyon metreküpten daha az olarak her yıl karbon çevriminden ayrıldığı görülmesine rağmen, uzun zaman süresi boyunca proses oluşmakta ve korunan organik maddenin toplam miktarı inanılmaz büyüklüklere ulaşmaktadır. Bu karbonun büyük bir çoğunluğu sonuçta sedimanter kayalar içinde dağılır ve hiçbir zaman ekonomik olarak yeniden üretilebilecek şekilde bir araya gelemezler. Ekonomik kabul edilen depolarda korunmuş organik materyal yaklaşık 0,05 % den daha fazla bulunamaz ve bunun çoğunluğu da kömür olarak oluşur. Bunun için fotosentezde ayrılan her 1.000.000 CO₂ molekülünden fosil yakıtı dönüşeni birden fazla olamaz.

Şekil 2.1. in diğer bazı özellikleri yorum değerleridir. Dikkat edilirse herhangi bir zamanda kara bitkilerinde bulunan karbonun toplam miktarı (450 milyon ton) denizel fitoplanktonlarda depolanan miktardan daha fazladır (mikroskopik fotosentetik bitkiler örneğin alg; 5 milyon ton). Fakat fitoplankton tarafından her yıl kullanılan CO₂ miktarı gerçekten kara bitkilerinininkinden fazladır (40 milyona karşılık 35 milyon ton). Burada çok şaşırtıcı olan şey son derece kısa yaşam çevrimi ve yüksek metabolik oranlara sahip olan fitoplankton ve kara bitkilerinin karşılaştırılmasıdır. Buradan fitoplanktonların sedimanlarda korunan toplam organik karbona çok fazla yardım ettiği anlaşılmaktadır.

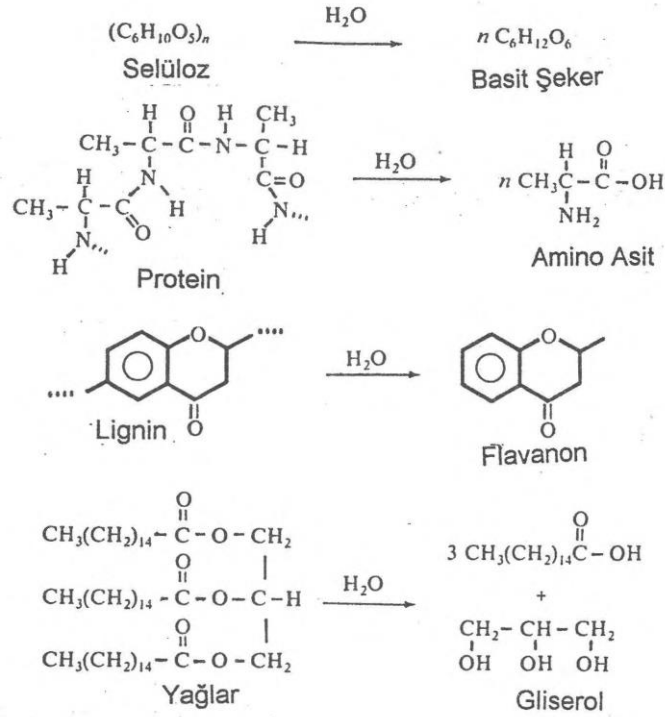
Canlı organizmalarının kömür, petrol ve doğal gaza dönüşüm proseslerinin detayları nelerdir. Bu konu yalnızca düşük sıcaklık prosesleriyle ilgilidir, bunlar oda sıcaklığı yada buna yakın değerlerde oluşmaktadır. Böyle proseslerin tamamı diyajenez olarak adlandırılır. Isısal prosesler ise bölüm -4 'de tartışılmaktadır.

Organizma öldüğü zaman doğrudan bozulma başlar. Kompleks moleküller küçük moleküller şeklinde parçalanır. Birçok organizmanın büyük bir bölümü çok değişik türdeki polimerlerden oluşur (örn. selüloz, protein, kitin, sporopollen) ve onun için parçalanma prosesi biyopolimerlerin jeomonomerler şekline dönüşümü şeklinde tanımlanabilir. Bu şekildeki dönüşümlere ait örnekler şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2-1 Karbon çevrimi. Sayılar milyon tonları, parantez içerisindeki sayılar birikme miktarlarını; parantezsiz sayılar ise yıllık değişimleri ifade ederler.

Biyopolimerlerin indirgenmesi hem mikrobiyolojik hem de biyolojik olmayan proseslerle meydana gelir. Bakteriler yeryüzüne yakın hemen hemen her yerde bulunurlar ve bütün polimerler onların saldırısına karşı oldukça hassastırlar.



Şekil 2.2. Biyopolimerlerin jeomonomere dönüşümü

Şayet bakteriyal aktivite engellenmeden devam ederse, bu durumda sedimanlar içindeki organik madde ya hiç korunmaz yada çok az korunabilir. Aslında bakteri büyümesini engelleyen pek çok doğal koşul bulunmaktadır. Bunun yanında bakteri büyümesi için gerekli olan koşullar; organik materyal, bir miktar ışık gereksinimi ve en fazla gereksinim ise organik materyalin oksidasyonu süresince serbest bırakılan elektronların bulunması olarak kabul edilebilir.

Aerobik bakteri için oksijen elektron kabul edicidir; oksijen olmadan besinler metabolize olamazlar.

Oksijen bazı bakteriler için toksik olabilir. Fenoller örneğin birçok bakteri için çok zehirlidir ve jeokimyasal olarak ta çok ilginçtirler. Bunlar kömür bataklıklarındaki sularda oldukça fazla bulunurlar. Jeomonomerlerin birçoğu hızlı bozuşmaya karşı hassastırlar. Örneğin, şeker ve amino asitler mikroorganizmalar tarafından çok hızlı bir şekilde tüketilir ve onun için bunu sedimanlar içerisinde tespit etmek çok zor olabilir. Diğer bileşikler örneğin fenoller, hidrokarbonlar ve yağ asitleri bakteriyal ayrışmaya karşı çok dirençlidirler. Biyopolimerler ve Jeomonomerler aynı anda bozuşmaya başlarlar, proses onların indirgenmeye başlamasıyla birlikte işlemeye başlar. Cansız organizmalarda bulunan moleküllerin birçoğu kimyasal olarak oldukça aktiftir, ve bunlar arasında kendi kendine olan tepkimelerde vardır. Kendi kendine olan tepkime ürünleri rasgele olarak mevcut organik döküntülerden meydana gelmektedir ve bu yüzden de bu şekilde oluşan polimerler esas olarak rasgele veya tesadüfi polimerilerdir. Bu polimerler jeosferde oluştuğu için jeopolimerler olarak adlandırılırlar. Jeopolimerlerin yapıları anaerobik bakteriyal indirgemeye karşı son derece dirençlidirler.

Jeopolimerlerin birçok farklı tipi bulunmaktadır. Bunlardan fulvik asitler, hümik asitler ve kerojenler en önemlileridir. Kerojenler öncül moleküllerin birçok farklı tipinden elde edilir ve çok geniş depolanma koşulları altında oluşur. Bu nedenle kerojenin bir çok farklı çeşidi olduğu düşünülür. Kerojenler mineral haliyle nispeten susuzdur, ve özel jeokimyasal koşullar altında belirli bitkisel materyallerden oluşur, Bu yaklaşımın benimsenmesi, organize jeokimya prosesleri ve kavramlarını birleştirmeye yardım eder. Kerojenin teşkili birbirini izleyen iki aşamada meydana gelir bunlar polimerizasyon ve yeniden düzenlemedir. Polimerizasyon safhası jeomonomerlerden jeopolimerlerin oluşum safhasını içermektedir, bu belki cansız organizmanın hemen üzerinde başlar ve belki de birkaç yüzyıl yada binlerce yıl gibi bir sürede tamamlanır. Yeniden düzenlenme safhası ilk jeopolimerlerin oluşumuyla başlar ve kerojenin meydana gelmesine kadar devam eder.

Organik materyalin korunma derecesi ve kerojenin oluşumu organik materyalin taşınması, depolanması ve gömülmesi süresince karşılaştığı çok büyük biyokimyasal koşullara bağlıdır. Tablo 2.1. deki liste bazı önemli depolanma ortamları ve taşınma modellerinin genel tanımlamalarını ve depolanma koşullarını içermektedir. Tablonun son kolunu bazı doğal fosil yakıtlar hakkındaki genel tahminleri içermektedir.

Tablo 2.1. den doğrudan görüldüğü gibi karasal organik materyal normalde yeterli miktarda petrol üretmez. Düşük enerjili ortamlarda minimum oranda detritik mineraller bulunur, bu ortamlar mükemmel şekilde turba ve kömür bataklıklarına geçişi temin ederler. Düşük enerjili ortamlarda bulunan hemen hemen bütün sedimanlar organik maddece zengindirler. Kömür bataklıkları genellikle yaygın ağaç büyümelerine sahiptir ve ağaçtaki fenolik bileşikler bakteriyosit olarak görev yaparlar bakteriyositler cansız organik materyalin bakteriyal ayrışmasını engeller. Çok büyük miktardaki organik döküntü sudaki oksijeni yok edici olarak çalışır, bunun için böyle ortamların anoxic ortamlar olduğu iddia edilir. Anoksik koşullar organik materyalin korunması için idealdir. Stutzer (1932) kömür bataklıklarında bulunan jeolojik ve biyolojik koşulları detayıyla tanımlamıştır.

Kömür bataklıkları çok fazla petrol üretmez çünkü organik materyalin kimyasal bileşimi farklıdır. Kömür bataklıklarında hidrokarbonlara dönüşüm yerine, ağaçsız organik materyali oluşturan selüloz ve lignin önce turbaya, daha sonra kömüre dönüşür ve sonuçta da bir miktar gaz üretebilir. Yağ ve parafinlerin küçük miktarları özellikle lif tabakaları şeklinde pollenler ve ağaç resinlerinden oluşur ve bunlar bazı durumlarda petrole dönüşebilirler. Bu materyallerden oluşmuş ekonomik olarak üretim yapılan petrol yatakları nadir olarak bulunmaktadır. Avustralyadaki Cooper Baseninde kömürlerden ekonomik miktarda petrol üretilmektedir (Brooks ve diğ. 1971).

Birçok karasal bitkiler petrol üreten kerojenleri oluşturan çok küçük lipid materyallerini (yağlar ve parafinler) içerirler. Selüloz ve lignin ise karasal bitkilerde hakim olarak bulunurlar ve bu materyallerden metan yalnızca küçük miktarlarda oluşabilir. Birçok karasal materyal, bununla birlikte, kömür bataklıklarında son bulmazlar. Şayet bunlar hemen bakteriler tarafından oksidasyona uğratılmazlarsa, genellikle kıyasal yada deltaik depolanma ortamlarının bulunduğu en son depolanma ortamlarına kadar çok uzun mesafelerde taşınırlar. Bu taşınma oksijenli sularda olur, ve fazla bakteriyal ve biyolojik olmayan oksidasyonla sonuçlanır. Çünkü oksidasyon petrol yada gaza dönüşen organik madde miktarını azaltmaktadır, bu nedenle kıyasal yada deltaik ortamlardaki birçok taşınmış organik materyal petrol jeokimyacılarını çok az ilgilendirmektedir.

Herhangi bir denizel depolanma ortamı, taşınmış ilave karasal döküntülerde içerebilir ki, bunlar yersel flora ve özellikle de fitoplankton alg kalıntılarıdır. Alg lignin içermez, bu nedenle indirgenme olduğunda dirençli ağaç kalıntıları ayrılmaz. Bakteriyal aktivitenin çok elverişli olduğu sahalarda, algler çoğunlukla indirgenirler. Bunların lipid bileşikleri bakteri etkinlerine karşı çok dirençlidirler ve bu yüzden tercihen korunabilirler.

Bakteriler kendi büyümeleri ve hücre bölünmelerini artırmak için besinleri kullanırlar. Diğer bir deyişle, mikroorganizmaların indirgediği organik materyalin bir kısmı yeni dokulara dönüşür. Çünkü birçok bakteri lipid bileşiklerince zengindir, ve bitkisel karbonhidrat ve proteinin bakteriyal lipidler şekline dereceli bir dönüşümü vardır. Bu proses diyajenez

Tablo 2.1. Depolanma ortamları ve Organik Maddenin Korunmasına Etkisi

Organizmanın Büyüme Ortamı	Depolanma Ortamına Taşınma Şekli	Depolanma Ortamı	Örnekler	Depolanma Koşulları Ortamı	Organik Materyalin Korunması	Organik madde Tipi	Fosil yakıt potansiyeli
Kara	Düşey sedimentasyon (Asılı)	Turba/Kömür Bataklığı	Dismal Bataklık, Virginia	Düşük enerji; az oksijen; çok az bakteri etkinliği; çok az mineral madde katkısı	Özellik: oksidasyon yok. Miktar: çok yüksek	Odunsu	Kömür (belki bir miktar petrol)
Kara	Düşey sedimentasyon (Asılı)	Eutropik Göl	Dağ gölleri, Minnesota Gölü	Düşük enerji; bir miktar oksijen; orta derecede anaerobik bakteri aktivitesi; düşük oranda mineral katkısı	Özellik: nispeten oksidasyon yok. Miktar: yüksek	Odunsu ve Algal	Olasılıkla jeolojik zaman süresince korunamaz
Kara	Akarsu	Kıyıda yada deltaik	Gulf Coast	Yüksek enerji; fazla oksijen; yüksek oranda mineral madde katkısı	Özellik: yüksek oksidasyon Miktar: düşük	Odunsu	Gaz ve bir miktar petrol
Göl	Düşey sedimentasyon (Asılı)	Göl (Stratification Lake)	Green River Şeyli	Düşük enerji; az oksijen; çok az bakteri etkinliği; çok az mineral madde katkısı	Özellik: oksidasyon yok. Miktar: yüksek, çok yüksek	Algal	Petrol
Denizel	Kıyı Akıntıları	Kıyı bataklığı ve Körfez	Gulf Coast	Yüksek enerji; fazla oksijen; yüksek oranda aerobik bakteri etkinliği; yüksek oranda mineral madde katkısı	Özellik: Bakteri etkinliği fazla Miktar: Az'dan ortaya kadar	Algal	Petrol (miktar kayacın kalınlığına bağlı)
Denizel- az tuzlu	Düşey sedimentasyon (Asılı)	Oldukça derin körfezler yada sirkülasyon olmayan sular	Kara Deniz	Nispeten sıg; Düşük enerji; Az oksijen; Düşük anaerobik bakteri etkinliği; az oranda mineral madde katkısı	Özellik: oksidasyon yok. Miktar: yüksek,	Algal ve Odunsu	Petrol
Denizel	Düşey sedimentasyon (Asılı)	Tabakalanmanın az olduğu oksijenli su yükselmesi görülen kıta şelfi	Fosforia Formasyonu; Perunun Batısı (Pasifik Okyanusu)	200-1500 m. su derinliği; az oksijenli, düşük bakteri etkinliği; Minerallerin kimyasal yolla çökmesi	Özellik: oksidasyon yok. Miktar: yüksek	Algal	Petrol
Denizel	Düşey sedimentasyon (Asılı)	Açık Okyanus, Abişi derinlikler	DSDP Log 58 (Kuzey Filipin denizi)	Düşük enerji; taban akıntılarının neden olduğu yüksek oksijen; yüksek oranda aerobik bakteri etkinliği	Özellik: oksidasyon yok. Miktar: yüksek	Algal	Hiçbirşey

süresince sedimanlardaki lipidlerin dereceli olarak konsantrasyonlarını göstermektedir. Bu lipidler çevrimde, petrolde bulunan hidrokarbon molekülleri için kalaylıkla öncü olabilirler.

Deltaik depolanma ortamlarındaki organik materyal oldukça muntazam organik maddece zengin oluşumlar şeklinde dağılmaktadır. Birçok modern delta ortamlarında, büyük lagünlerdeki sedimanlarda organik materyal birikmektedir ve buralarda anoksik koşullar hakim olabilmektedir. Deltalardan özellikle Missisipi Deltası benzeri körfez kıyısı deltaları organik jeokimyacılar için bir dereceye kadar problemlili deltalardır. Son yıllarda jeokimyacılar, çoğunlukla Körfez kıyısı Jeologlarının gayretleriyle gerçekleştirilen çalışmalarda, çok az miktarda organik madde içeren çok kalın kaya istiflerinin zengin kayaçların ince istiflerinininkine kadar petrol verebileceğini göstermiştir. Çünkü delta istifleri genellikle çok kalındır ve onlarda hidrokarbonlar çok büyük miktarlarda birikebilirler.

Körfez kıyıları, kompleks büyüme fayları ve tuz domu-diyapir tektoniğiyle, petrolün göçü ve birikimi için bir olanak sağlar (bölüm 5'e bak). Bundan başka Körfez kıyısı benzeri deltaik ortamlar genellikle mükemmel şekilde yanall fasiyes değişimi sebebiyle ana kayahazne kaya ilişkisine sahiptir. Çünkü göç ve kapanlanma etkinliği körfez kıyısında hidrokarbon birikiminde çok önemlidirler, böyle bir sahadaki petrolün rezervini hesaplarken bu gibi faktörleri dikkate almak son derece önemlidir. Bu durum petrol üretiminde gerekli olan hem ana kaya gelişimi ve hem de göç etkinliğinin göz önünde bulundurulacağına işaret eder.

Kara Deniz sürekli anoksik basene bir örnek teşkil eder, çünkü su seviyesinin iki ayrı seviyede olması, sıg ve derin suların çok az karışması buna neden teşkil eder. Tatlı ve tuzlu suyun sınırlı oranlardaki karışımı hem aerobik ve hem de anoerobik bakteriyel aktiviteyi engeller ve çok fazla miktarda organik materyalin korunmasını temin eder. Organik maddece zengin sedimanların bulunuşu taban suyunun anoksik kalmasını sağlar.

Green River şeyl'lerinin depolandığı ortam koşulları bugün Kara Denizdeki koşullara bir miktar benzerlik göstermektedir. Hem Kara Deniz ve hem de Green River oluşumu ilerledikçe daha çok ayrılan su kültesi olarak tuzluluğun değiştiği koşullar altında depolanır. Organik verimlilik her iki durumda da çok yüksektir ve su tabakalarının seviyesi sediman ve su ara yüzeyinde düzenli bir anoksikliğe neden olur. Bakterial indirgenme çok tabii ortamlarda hakim olan koşullar altında çok azdır, anaerobiok indirgenme yavaştır ve verimsizlik aerobik indirgenmeye benzetilmektedir.

Petroller jeokimyasal bakış noktasından önemli bir farklılık olarak organik materyallerin farklı kökene sahip olmasından ileri gelmektedir. Green River Formasyonu kerojenin çoğunlukla algal materyalden olduğu düşünülür, halbuki Kara Deniz sapropel'i çoğunlukla karasal organik döküntüleri, bazı karışık algal maddeleri içermektedir. Bu yüzden iki ortamda oluşan kerojenin petrol oluşturma kapasiteleride muhtemelen önemli oranda farklı olacaktır.

Depolanma ortamının bir dereceye kadar farklı olan bir tipi, içerisinde fosfatik seyllerin oluştuğu ortamlardır. Bu ortamlar genellikle besince zengin yeraltı suyu upwelling'leriyle bağlantılıdır. Bu sular fitoplanktonların üretken popülasyonlarını ve onların predatorlarını desteklerler. Güncel bir örnek bir örnek Peru'nun kıtasal şelfi üzerindeki fishing grounds'tur, en eski örnek ise Orta Amerika kıtasının Fosforia Formasyonudur. Fosfatça zengin sedimanlardan oluşan sedimanter kayaçlar fosforitler olarak anılır; bunlara ait en iyi çalışmalar; Manhim ve diğ, (1975), Claypool ve diğ, (1978), Powel ve diğ, (1975), ve Piper ve Corispoti (1975) tarafından derlenmiştir. Fosfatik seyl tabakaları hemen hemen iyi petrol ana kaya materyalinin korunması için en iyi koşulları temin eder, bunlar algal kütlelerin çok büyük miktarları, tabana kadar olan çok kısa düşey yönde taşınma, sediman-su ara yüzeyindeki anoxic koşullar ve sedimanların kendi içlerinde olanlardır.

Fosfatça zengin sedimanlardaki farklılıklar yukarıda tartışıldı, pelajik sedimanlar ise genellikle üretilen fosil yakıtlar için çok küçük potansiyele sahiptir. Açık okyanuslarda biyolojik üretkenlik çok azdır, çünkü oralarda besinler çok küçük oranlarda bulunmaktadır. Açık Okyanuslarda ekolojiler mevcut organik materyalden elde edilen maksimum besin oranına göre gelişirler, onun için tabana ulaşan herhangi bir organik materyal yüksek oranda oksidasyona uğrayacaktır. Abisal sedimanlar çoğunlukla çok küçük oranlarda

organik karbon içerirler, ve bu nedenle mevcut organik materyal petrol ve gaz oluşturabilecek miktarlarda değildir (Waples ve Sloan 1980).

Özetle sedimanlardaki organik materyalin korunması hakkında aşağıdaki maddeleri sıralayabiliriz:

1- Organik materyalin korunması çok zor gerçekleşen bir olaydır bu nedenle birçok karbon hemen yeniden işlenir hale geçer.

2- Birçok faktörlere bağlı olarak organik materyalin korunma dereceleri hemen hemen % 0 ile % 100 arasında değişmektedir.

3- Mikrobik ve biyolojik olmayan oksidasyon birçok organik materyali tahrip eder. Yeterli miktarlardaki korunma yalnızca mikrobik aktivitenin az olduğu yerlerde olur.

4- Özellikle ormanlık alanlarda fenolik bileşikler baktericid'ler olarak rol oynarlar.

5- Sudaki çözülmüş oksijenin azlığı aerobik bakteri aktivitesini engeller. Bu koşullar altında anaerobik bakteri aktivitesi oluşabilir, fakat genellikle aerobik aktiviteden çok daha seçici ve azdır.

6- Jeopolimerlerin oluşumu hemen organizmanın ölmesinden sonra başlar, orjinal jeopolimerler dereceli olarak kerojene dönüşürler ve bileşimleri bütün sedimanter sütun boyunca değişmektedir.

7- Algal materyal karasal organik materyalden çok daha kolay petrole dönüşmektedir.

8- Yüksek enerji ortamları organik materyali tahrip eder, halbuki bu materyal düşük enerjili ortamlarda korunabilir.

9- Kerojen presesinin daha iyi anlaşılması için jeokimyasal proses içerisinde mikroorganizmanın rolünün daha iyi anlaşılması gerekmektedir.