

KÖMÜR JEOLojİSİ

DERS NOTLARI*€

Prof. Dr. Faruk Ocakođlu

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliđi Bölümü
Eylül 2015

*Bu ders notları "Coal and Coal Technology" adlı Colin R. Ward (1984) tarafından derlenen bir İngilizce ders kitabının bazı bölümlerinin benim tarafından yapılan çevirileri ile kendimin bazı kısa eklemelerinden oluşmuştur.

€ Ders notlarını öğrencim Ahmet Özdemir yazım hataları açısından gözden geçirmiştir. Teşekkür ederim.

KÖMÜR JEOLJİSİ

DERS İÇERİĞİ

Kömürü önemli kılan etmenler nelerdir? Tarihsel arkaplan, günümüz için taşıdığı önem

Kömürün özellikleri

- Kömürün oluşumu ve kömürleşme
- Fiziksel özellikler
- Kimyasal özellikler
 - Uygulanan kimyasal analizler
 - Örnekleme yöntemleri
- Kömürlerin sınıflandırılması
- Jeokimyasal özellikler
 - Kömürleri oluşturan organik bileşikler

Kömür petrografisi

- Mikrolitotiplerin ve maserallerin tanımlanması ve kökenleri
- İnorganik bileşenler ve kökeni

Kömür oluşum ortamları

- Akarsu ortamları
- Deltayik ortamlar
- Lagüner ortamlar
- Gölsel ortamlar

Kömürün aranması ve değerlendirilmesi yöntemleri

- Arama programı nedir?
- Arazi çalışmalarına hazırlık
- Jeolojik haritaların derlenmesi
- Jeofizik yöntemler
- Kömür sondajları
- Kuyu loğu hazırlanması

Kömür ve çevre

- Üretim sırasındaki çevre etkileri
- Yakılması sırasında ortaya çıkan etkiler
- Kömürdeki iz elementlerin etkisi

Türkiye kömür yatakları: Stratigrafi, kalınlık, rezerv

- Zonguldak taşkömürü havzası
- Linyit havzaları

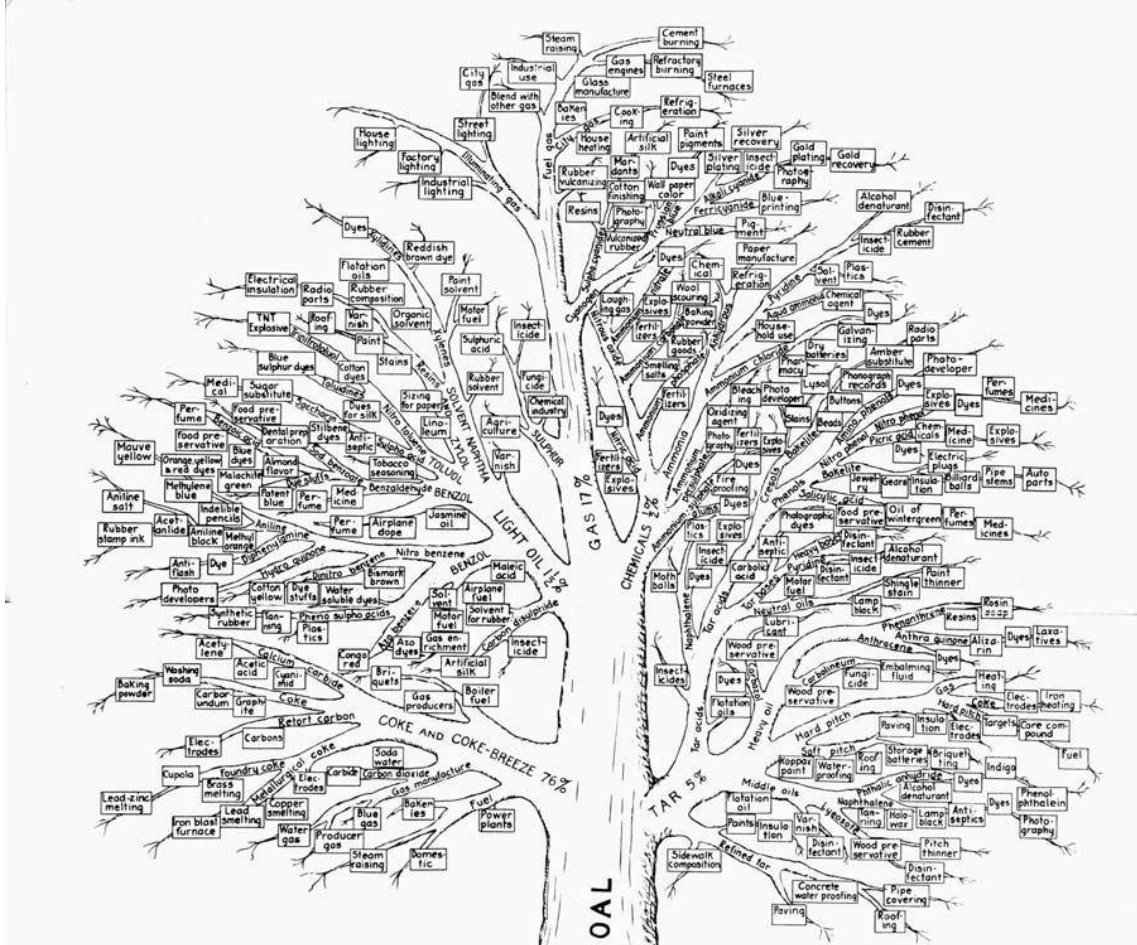
Tartışmalı Dersler

- Dünya Kömür İstatistikleri
- Eskişehir kent merkezinde kullanılan kömürlerin kökeni, cinsi, kalitesi, fiyatları
- Afşin-Elbistan kömürlerinin jeolojisi
- Kömürdeki iz elementlerin çevre ve insan sağlığına etkileri
- KB Panama'da Chanğuinola turba yatağı: bir tropikal set gerisi turba oluşum ortamı
- Kömür işletmeciliğinde ortaya çıkan mühendislik sorunları

KÖMÜRÜ ÖNEMLİ KILAN ETMENLER NELERDİR? TARİHSEL ARKAPLAN, GÜNÜMÜZ VE ÜLKEMİZ İÇİN TAŞIDIĞI ÖNEM

Kömür çoğumuz için siyah renkli, yanarken çevreye ısı saçan, kökeni üzerinde pek de fazla düşünmediğimiz bir sedimanter kayaçtır. Isınma ve elektrik enerjisi eldesi amacıyla yaygın olarak kullanılan bu jeolojik malzeme geleneksel kullanım (demir çelik sanayi, ısınma, ulaştırma, termik santraller) alanlarının dışında Şekil 1’de verilen ve “kömür ağacı” olarak bilinen pek çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Kömürden elde edilen başlıca ürünler arasında tar (asfalt), kimyasallar, gazlar, hafif yağlar ve kok sayılabilir.

Kömür enerji üretiminde hala baskın olarak fosil enerji kaynaklarına bağlı ülkemizin en önemli yerli enerji kaynağı niteliğindedir. Eklî çizelgeler (Çizelge) 1980’lerden 90’ların ortasına kadar birincil enerji kaynaklarının üretim ve tüketiminin miktar ve oranlarını göstermektedir. Burada birincil enerji kaynakları içinde özellikle linyitin baskın durumuna dikkat ediniz. Taşkömürü ve linyit tüketiminin önemli bir kısmı elektrik enerjisi eldesi amacıyla termik santrallere beslemeyle gerçekleşmektedir.



Şekil 1: Kömür ağacı.

Çizelge 1. Birincil Enerji Kaynakları Üretimi

YILLAR	TAŞ KÖMÜRÜ (Bin Ton)	LİNYİT (Bin Ton)	ASFALTİT (Bin Ton)	PETROL (Bin Ton)	D. GAZ (10 m ³)	HİDROLİK (Gwh)	JEOTERMAL			GÜNEŞ (Bin Tep)	ODUN (Bin Ton)	HAYVAN VE BİTKİ ART. (Bin Ton)	TOPLAM (Bin Tep)
							ELEKTRİK (Gwh)	ISI (Bin Tep)	ISI (Bin Tep)				
1980	3598	14469	558	2330	23	11348					15765	12839	17298
1985	3605	35869	523	2110	68	12045	6				17368	11039	21703
1990	2745	44407	276	3717	212	23148	80	16	21		17870	11080	25824
1991	2762	43207	139	4451	203	22683	81	16	27		17970	11000	25847
1992	2830	48388	213	4281	198	26568	70	30	32		18070	10922	27132
1993	2789	45685	86	3892	200	33951	78	30	38		18171	10842	26818
1994	2839	51504	3687	200	30586	79	47	45	45		18272	10763	26902

Kaynak : ETKB/APK/PFD

Çizelge 2. Birincil Enerji Kaynaklarının Toplam Enerji Üretimi İçindeki Payları (%)

YILLAR	TAŞKÖMÜRÜ	LİNYİT	ASFALTİT	TOPLAM KÖMÜR	PETROL	D. GAZ	HİDROLİK	JEOTERMAL			GÜNEŞ	ODUN	HAYVAN VE BİTKİ ART.	TOPLAM
								ELEKTRİK	ISI	ISI				
1980	12.7	21.6	1.4	35.7	14.1	0.1	5.6					27.3	17.1	100.0
1985	10.1	37.8	1.0	48.9	10.2	0.3	4.8	0.0				24.0	11.7	100.0
1990	8.1	36.9	0.5	45.5	15.1	0.7	7.7	0.3	0.1	0.1	20.8	9.9	100.0	
1991	7.1	35.3	0.2	42.6	18.1	0.7	7.5	0.3	0.1	0.1	20.9	9.8	100.0	
1992	6.4	38.0	0.3	44.7	16.6	0.7	8.4	0.2	0.1	0.1	20.0	9.3	100.0	
1993	6.4	36.5	0.1	43.0	15.2	0.7	10.9	0.3	0.1	0.1	20.3	9.3	100.0	
1994	6.1	38.9	0.0	45.0	14.4	0.7	9.8	0.3	0.2	0.2	20.4	9.2	100.0	

Çizelge 3. Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi

YILLAR	TAŞ KÖMÜRÜ (Bin Ton)	LİNYİT (Bin Ton)	ASFALTİT (Bin Ton)	PETROL (Bin Ton)	D. GAZ (10 m ³)	HİDROLİK (Gwh)	JEOTERMAL			GÜNEŞ (Bin Tep)	ODUN (Bin Ton)	HAYVAN VE BİTKİ ART. (Bin Ton)	ELEKTRİK		TOPLAM (Bin Tep)
							ELEKT. (Gwh)	ISI (Bin Tep)	ISI (Bin Tep)				İTHAL	İHRAC	
1980	4630	15243	558	15309	23	11348					15765	12839	1341		31913
1985	6189	34767	523	17270	68	12045	6				17368	11039	2142		39167
1990	8191	45891	287	22700	3418	23184	80	16	21		17870	11080	176	-907	5334
1991	8824	48851	139	22113	4205	22683	81	16	27		17970	11000	759	-506	54624
1992	8841	50659	197	23660	4612	26568	70	30	32		18070	10922	189	-314	57022
1993	8544	47340	102	27074	5088	33951	78	30	38		18171	10842	213	-589	60641
1994	8192	50853		25859	5408	30586	79	47	45		18272	10763	31	-570	59489

Kaynak : ETKB/APK/PFD

Çizelge 4. Birincil Enerji Kaynaklarının Toplam Enerji Tüketimi İçindeki Payları (%)

YILLAR	TAŞ KÖMÜRÜ	LİNYİT	ASFALTİT	TOPLAM KÖMÜR	PETROL	D. GAZ	JEOTERMAL			GÜNEŞ	ODUN	HAYVAN VE BİTKİ ART.	İTHALAT	TOPLAM
							ELEKTRİK	ISI	ISI					
1980	8.9	12.4	0.8	22.1	50.4	0.1	3.1				14.8	9.3	0.4	100.0
1985	9.8	20.3	0.6	30.7	46.3	0.2	2.6	0.0			13.3	6.5	0.5	100.0
1990	12.2	18.3	0.2	30.7	44.8	5.8	3.7	0.1			10.1	4.8	-0.1	100.0
1991	12.6	19.4	0.1	32.1	42.7	7.0	3.6	0.1			9.9	4.6	0.0	100.0
1992	11.9	18.8	0.1	30.8	43.6	7.4	4.0	0.1	0.1	0.1	9.5	4.4	0.0	100.0
1993	11.0	16.4	0.1	27.5	46.9	7.6	4.8	0.1	0.0	0.1	9.0	4.1	-0.1	100.0
1994	10.8	17.3	0.0	28.1	45.6	8.3	4.4	0.1	0.1	0.1	9.2	4.2	-0.1	100.0

2003 YILI GENEL ENERJİ DENGESİ
(Bin Ton Petrol Eşdeğeri)

Tarih:02/08/2004

Hazırlayan:ETKB/APKK/PFD

	T.Köm.	Linyit	Asfaltit	İkincil Kömür	P.kok	Odun	Hay.ve Bit.Art.	Toplam K.Yak.	Petrol	D.Gaz	Hidrolik	Jeoter. Elekt.	Rüzgar	Elektrik	Jeoter. Isı	Güneş	Toplam
Yerli Üretim (+)	1083	9723	0			4497	1251	16554	2494	510	3038	76	5		784	350	23812
Yerli Üretim/Enerji arzı	1,3	11,6	0,0	0,0	0,0	5,4	1,5	19,7	3,0	0,6	3,6	0,1	0,0	0,0	0,9	0,4	28,3
İthalat (+)	10499	0		356	1285			12140	34003	18949				100			65192
İthalat (%)	12	0	0	0	2	0	0	14	40	23	0	0	0	0	0	0	78
İhracat (-)		5						5	4035					51			4090
İhrakiye (-)									644								644
Stok Değişimi (+/-)	-299	-5	0	25	36			-244	-99	-9							-352
İstatistik Hata (+/-)									87								87
Birincil Enerji Arzı	11283	9713	0	381	1321	4497	1251	28446	31806	19450	3038	76	5	49	784	350	84005
Birincil Enerji Arzı (%)	13	12	0	0	2	5	1	34	38	23	4	0	0	0	1	0	100
Rafineri Dışı Üretim (+)									0								0
Toplam Enerji Arzı	11283	9713	0	381	1321	4497	1251	28446	31806	19450	3038	76	5	49	784	350	84005

TURBANIN DİYAJENEZİ VE KÖMÜRLEŞME

Kömürleşme sürecini ayrıştırıcı organizmaların ve salt fiziksel süreçlerin ağırlıklarına göre *biyokimyasal* ve *jeokimyasal kömürleşme* olarak iki bölümde ele almak kolaylıklar sağlar İlk kategori turbalaşma olarak da bilinir.

Turbalaşma

Kömürleşmenin ilk evresini oluşturan biyokimyasal süreçleri kapsar. Kavram olarak birincil bitkisel materyalin asidik ve indirgeyici koşullarda biyolojik etkinlik vasıtası ile karbondioksit, su ve hümik asitlere dönüşmesine karşılık gelir. Bu süreç tamamen oksijenli ortamda (su üstünde) gerçekleşirse bitki tamamen karbondioksit, amonyak ve suya dönüşerek ortadan kalkar. Ancak bitki su tablası altında kalırsa veya hızlı bir bitki gelişimi mevcutsa aerobik organizmalar ve oksidasyon süreci tarafından yok edilemez.

KÖMÜRÜ OLUŞTURAN BİTKİSEL MATERYALİN

YAPITAŞLARI

Bitkilerin temel biyokimyasal yapıtaşları karbonhidratlar, proteinler, lignin ve lipidlerdir. Formülleri $C_n(H_2O)_n$ olarak yalınlaştırılabilen karbonhidratların başlıcaları früktoz, nişasta, hemiselüloz ve selülozdur. Nişastalar bitkilerin kısa süreli enerji ihtiyacını karşılayan yapılar olup bitkilerin ölümünden sonra suyun da etkisi ile kolayca hidrolize olurlar. Hemiselüloz ve selüloz hücre duvarlarında yer alır, bitkilerin dayanıklılığını sağlar. Bitkilerin ölümünden sonra da uzun zaman varlıklarını koruyabilmektedirler. Proteinler azot içeren bileşiklerdir. Kolayca hidrolize olurlar. Lipidler organizmaların ürettikleri bileşikler olup suda çözünmezler, ancak belirli çözücülerde çözünebilirler. Algler yağ asitleri bakımından diğer organizmalara göre daha zengindir. Mumlar, yağ asitlerinin enzimler etkisi ile biyokimyasal sentezlenmesi sonucu oluşurlar. Lignin ve benzeri bileşikler yüksek bitkilerin önemli yapı taşları olup turbadaki aromatik bileşiklerin başlangıç maddesi olarak kabul edilirler

Birincil bitkisel malzemenin başlıca yapıtaşları yandaki açıklama kutusunda verilmiştir. Turbalaşmanın erken sürecinde turbalıkta en şiddetli bozunma, oksijenin sınırlı ölçüde nüfuz edebildiği turbanın hemen yüzeyinde veya en çok 50 cm derinliğine kadar bir zonda gerçekleşir. Bu zonda *aerobik bakteriler, aktinomyces ve mantarlar* aktiftir. Bozunma bunlar sayesinde hücre duvarlarından önce (ki buralar dirençli olan lignin ve selülozdan ibarettir) bitki hücresinin yumuşak kısımlarından itibaren başlar. Dokulardan *hidrokarbonlar* çıkarılır, geriye oksijen ve karbonca zengin bölümler kalır. Bozunma sonucu ortaya çıkan organik bileşikler (monomerler, polimerler ve organometaller) oldukça kompleks moleküler yapılara sahiptirler. Bunların içinde *hümik asit* denen organik moleküler kompleksin, kömürleşmenin sonraki evrelerinde oldukça belirleyici bir rolü olduğuna inanılır. Ayrıca hüminitler bataklık ortamındaki organik maddelerin

homojenizasyonunu sağladıklarından önemlidirler. Bu süreçte organik bileşiklerde serbest karbonhidrat ve serbest aminoasitlerce (lipid ve protein) önemli derecede bir farklılaşma gerçekleşir. Gerçekten Brown (1972) bir turbanın ilk 10 cm'lik kısmında %28 oranında bulunan şeker ve aminoasitlerin 120 cm derinlikte %12'ye indiğini; proteinlerdeki azot açısından bu oranın %40'tan %15'e çekildiğini belirtmektedir. Ortaya çıkan nitrat ise yeraltısuyu dolaşımı sayesinde turbadan uzaklaştırılmaktadır. Turbanın üstteki 1 m'si içinde gerçekleşen bu süreç *denitrifikasyon* olarak anılır. Bu evreyi *demetanizasyon* evresi izler ki, bu evrede turba hidrojenle çok daha fazla fakirleşip, karbonca zenginleştiğinden turbanın organik madde içeriği oransal olarak giderek zenginleşir. Yine bu evrede ortamda var olan kükürt bakterilerinin etkisi ile bir miktar kükürt de ortamdaki uzaklaştırılır (*desülfürizasyon*). Turbalaşmanın bu erken evrelerinde dayanıklı moleküler yapıları nedeniyle serbest selüloz hala varlığını korur.

Derinliğin artmasıyla birlikte bu organizmalar yerlerini *aneorobik bakterilere* bırakırlar. Bu kesimde organizmalar bitki dokularındaki oksijeni kullanırlar. Derinlere doğru kolayca asimile edilebilecek maddeler artık pek kalmadığından mikrobiyal yaşam azalır ve 10 m derinlikten sonra büsbütün ortadan kalkar. Artık daha derinlerde yalnızca kimyasal değişimler (başlıca *kondenzasyon, polimerizasyon ve indirgeyici reaksiyonlar*) gerçekleşir.

Turbalaşma sırasındaki en önemli süreç hümik maddelerin oluşumudur. *Hümifikasyon*, oksijenin varlığı, artan turba sıcaklığı ve alkalın ortamlarda daha etkin gerçekleşir.

Turbalaşma sırasındaki en önemli süreç hümik maddelerin oluşumudur. Hümifikasyon denen bu süreç oksijenin varlığı, artan turba sıcaklığı ve alkalın ortamlarda daha etkin gerçekleşir.

Turbanın en üst kesimindeki 50 cm'lik zonda (ing. peatigenic zone) karbon içeriği en üstte %40'tan altta %50'ye kadar yükselir. Fakat daha derinlere doğru çok belirgin bir artış gözlenmez. Buna karşın daha derinlere doğru gidildikçe turbanın kendi ağırlığı nedeniyle nem içeriği hızla düşer. Nem içeriğindeki bu düşüş turba diyajenezinin iyi bir göstergesidir (Çizelge 5).

Turba birikim hızı önemli jeolojik parametrelerden biridir ve birçok etmene bağlıdır. Turbanın içinde bulunduğu jeolojik ortamın çökme (ing. Subsidence) hızı bunlardan biridir. Bitki bolluğu ve organik malzemenin bozunma hızı gibi büyük oranda iklim tarafından kontrol edilen parametreler de birikim hızında önemlidir. Şöyle ki; tropikal bölgelerde sıcak ve nemli iklim yüzünden biyokimyasal bozunma oldukça hızlı gerçekleşir. Ancak, bu iklimsel koşullarda bitki gelişimi de hızlı olduğundan birikim hızı dengelenmiş olur. Soğuk iklimlerde ise bakteri ve mantarların gelişimi ve dolayısı ile bozunma sınırlıdır. Biyokimyasal bozunma, artık bütün hümik maddelerin polimerleştiği (organik moleküller halinde yeniden düzenlendiği) kahverengi kömür evresinde son bulur.

Çizelge 5: Turba ve kahverengi kömür ayırımında kullanılan bazı parametreler

	TURBA	KAHVERENGİ KÖMÜR
%NEM	>75	<75
%KARBON (kuru külsüz bazda)	Çoğunlukla <60	Çoğunlukla >60
SERBEST SELÜLOZ	VAR	YOK
KESİLEBİLİRLİK	Kesilebilir	Kesilemez

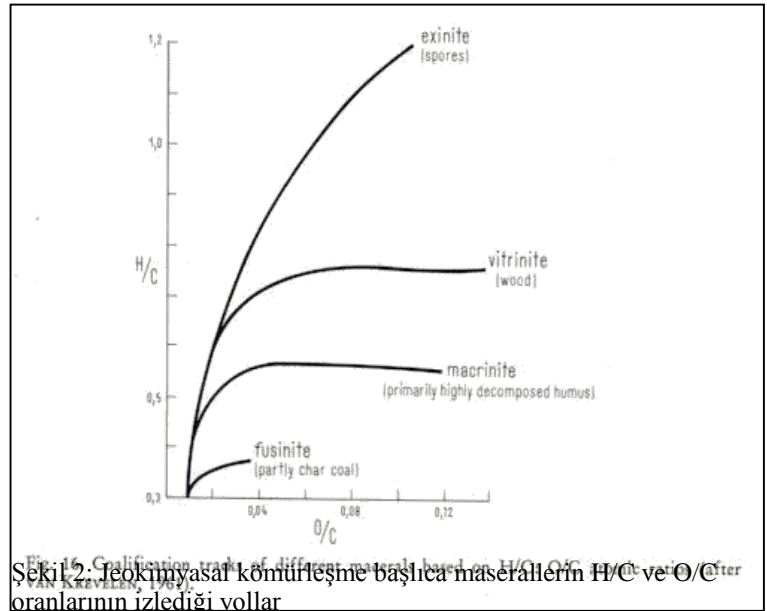
Jeokimyasal Kömürleşme

Kömürleşmenin turbalaşmayı izleyen bu ikinci evresi mikrobiyal aktivitenin izlenmediği evredir. Kömürün kahverengi kömür (linyit), alt bitümlü, bitümlü kömür evrelerinden geçerek antrasit ve metaantrasite uzanan bu dönüşümüne yalnızca “kömürleşme” adı da verilir.

Kimyasal ve fiziksel bozunmalar temel alındığında kömürleşme, olgun yumuşak kahverengi kömür evresine kadar yalnızca bir diyajenetik süreç olarak düşünülebilir (Şekil 2; Çizelge 6). Ancak bu evreden hemen sonra sert kahverengi kömür (alt bitümlü kömür) evresiyle birlikte organik malzemenin bozunması öylesine şiddetli gerçekleşir ki, bundan sonraki evreler artık

metamorfizma olarak algılanmalıdır.

Kömürde muazzam değişikliklerin ortaya çıktığı bu evrede kömürün hemen altındaki ve üstündeki diğer sedimanter kayalarda neredeyse hiç bir ciddi mineralojik/kimyasal dönüşüm olmaz. Bu, organik yapıların mineral yapılara göre sıcaklık ve basınca karşı çok daha duyarlı olduklarının iyi bir göstergesidir. Kömürün bu özelliği



öte yandan, sedimanter kayaların diyajenez koşullarına da ışık tutar.

Kömürleşme sürecinde kimyasal süreçlerle fiziksel-yapısal süreçleri birbirinden ayırmakta yarar bulunuyor. Bu ikinci grup süreçlerden porozite azalması ve tabakalaşma düzlemine paralel optik anizotropi artışı gömülmeye paralel olarak derinlikle birlikte örtü yükü basıncının artmasıyla ilişkilidir. Porozite normalde, kömürleşmenin erken evrelerinde çok hızlı bir şekilde

Çizelge 6: Kahverengi kömürün sınıflandırılması ve özellikleri ile kahverengi kömür ve kok kömürünün (Alman terminolojisi) ayrımı

Rank of coal	Megascopic	Microscopic	PATTEISKY & M. TEICHMÜLLER (1960)	Chemical-Physical		
				Streak (Colour)	Behaviour on boiling with KOH	Behaviour with dilute HNO ₃
Weichbraunkohle (soft brown coal)	brown, dull, partly earthy	large pore volume, gelification rare, open cell lumens (textinite)	75–35 % H ₂ O < 4000 kcal/kg ² usually > 60 – < 70 % C ³			
Mattbraunkohle (dull brown coal)	dark brown to black, dull to low brightness	less pore volume, stronger gelification, open cell lumens (textinite) rare	35–25 % H ₂ O 4000–5500 kcal/kg ² usually < 71 – ca. 71 % C ³ ca. 53–49 % VM ³	brown, seldom black	brown solution	red solution
Glanzbraunkohle (bright brown coal)	black, bright	gelification (vitrinitization) completed, micrinite not yet formed	usually > 8–10 % H ₂ O 5500–7000 kcal/kg ² ca. 71–77 % C ³ ca. 49–42 % VM ³			
Steinkohle (bituminous coal)	black, bright	like Glanzbraunkohle, micrinite formed	usually < 8–10 % H ₂ O usually > 7000 kcal/kg ² usually > 77 % C ³ usually < 42 % VM ³	black, seldom brown	no colour	no colour

¹ for correlation with the ASTM classification see Table 4
² moist, ash-free
³ dry, ash-free; VM = volatile matter

azalır (bu, kısmen nem içeriğindeki azalmaya karşılık gelir), bu yüzden porozite turbayı kahverengi kömürden ayırmak için yararlı bir parametredir. Kömürleşmenin daha sonraki evreleri ise büyük ölçüde kimyasal parametrelerle (C, H, O içerikleri gibi) veya optik özelliklerle (vitrit nit yanıtması gibi) tahmin edilebilir.

Kimyasal bozunma farklı kömür evrelerinde farklı derecelerde gerçekleştiğinden belirli kömür rütbelerinde (rank) belirli rütbe göstergelerini kullanmak daha uygun düşer. Kömürdeki farklı maserallerin kömürleşme sürecindeki davranışları birbirinden farklı olduklarından karşılaştırmalı çalışmalar tüm kömür analizleri üzerinden yapılmaz; yalnızca hüminitritler veya bunların konsantreleri kullanılır.

Kahverengi kömürde rütbenin artması başlıca toplam nem içeriğindeki azalışla karakterize edilir. Buna “Schürmarın Kuralı” denir. Yumuşak kahverengi kömür (linyit) evresinde bu azalış her 100 m derinlikte %4 nemi bulur. Mat kahverengi kömür evresinde (linyit bitümlü C) bu değer %1 nem/100 m derinlik ve parlak linyit evresinde %1 nem/1000 m derinlik kadardır (Çizelge 6). Nem içeriği azaldıkça kömürün kalorifik değeri de (orijinal bazda) aynı derecede artar (Şekil 3). Nem içeriğindeki düşme büyük ölçüde porozite azalmasına bağlıdır. Ancak nem içeriği azalması bir ölçüde hidrofilik (su içeren) fonksiyon gruplarının, özellikle –OH grubunun kahverengi kömür evresinde belirgin azalışından da kaynaklanır. Buna ek olarak hidroksil (H), karboksil OOH), metoksil (CH₃) grupları ve yüzük şekilli oksijen molekülleri de parçalanırlar ve sonuçta bağlı karbon içeriği giderek artar (Şekil 3).

Sert kahverengi kömür evresinde (linyit alt bitümlü) linyin ve selülozun son kalıntıları da hümik maddelere dönüşür ve hümik asitler asit karakterini kaybederek giderek daha iri moleküllü alkali hüminlere evrilirler. Uçucu maddeler, kahverengi kömür evresinde pek az değişiklik gösterirler

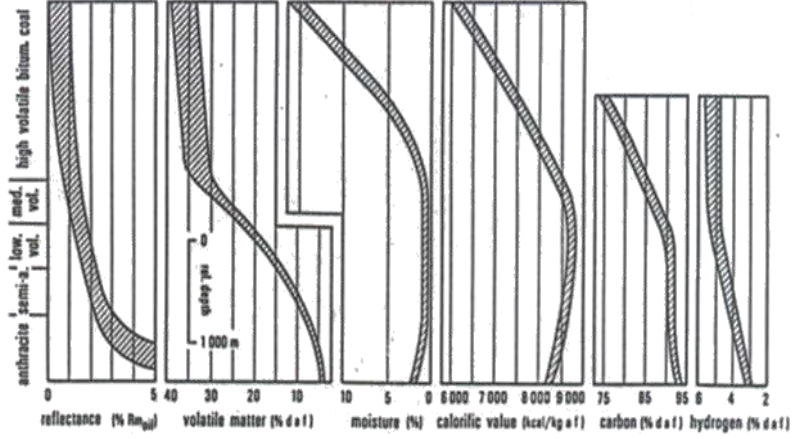


Fig. 17. Increase of degree of coalification with depth based on vitrite analyses and vitrinite reflectivities from deep boreholes and shafts, mainly in the Ruhr district (after M. & R. TEICHMÜLLER, 1967).

Şekil 3: Vitrit analizi ve vitrinit yansıtması ile kömürleşme derecesinin derinlikle değişimi

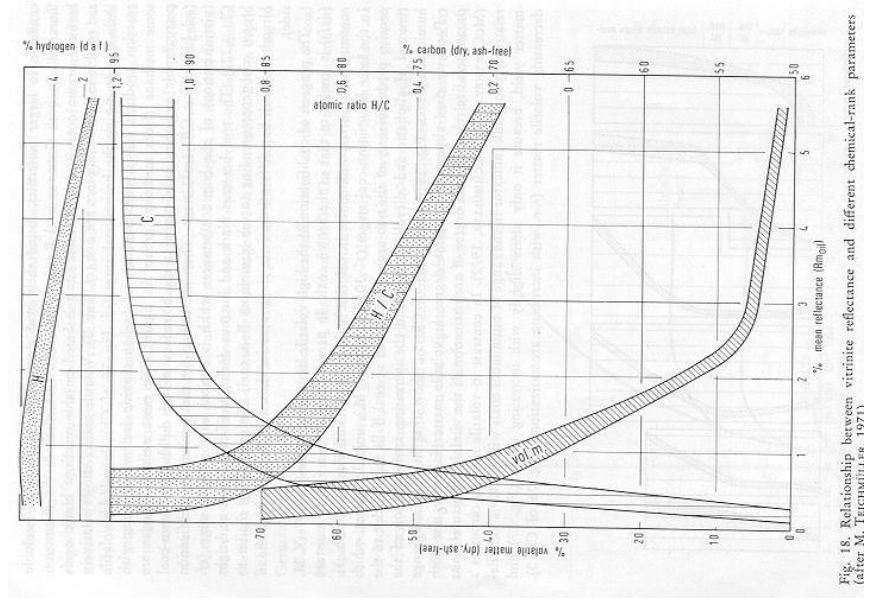
başlıca CO₂ ve su ile biraz metandan ibarettirler.

Rank değişimi sırasında en çarpıcı değişiklikler petrografik olanlardır ve mat ile parlak kahverengi kömür dokanağında (alt bitümlü C/B sınırında) ortaya çıkar. Bu petrografik değişiklik hümik maddelerin jeokimyasal jelifikasyonunu (vitrinizasyon) içerir. Jelifikasyon sırasında kömür siyah ve parlak bir hal alır. Bu evre kömürleri bitümlü kömürler kadar parlaktırlar, ancak başka özellikleri ile onlardan ayrılırlar (Çizelge 6).

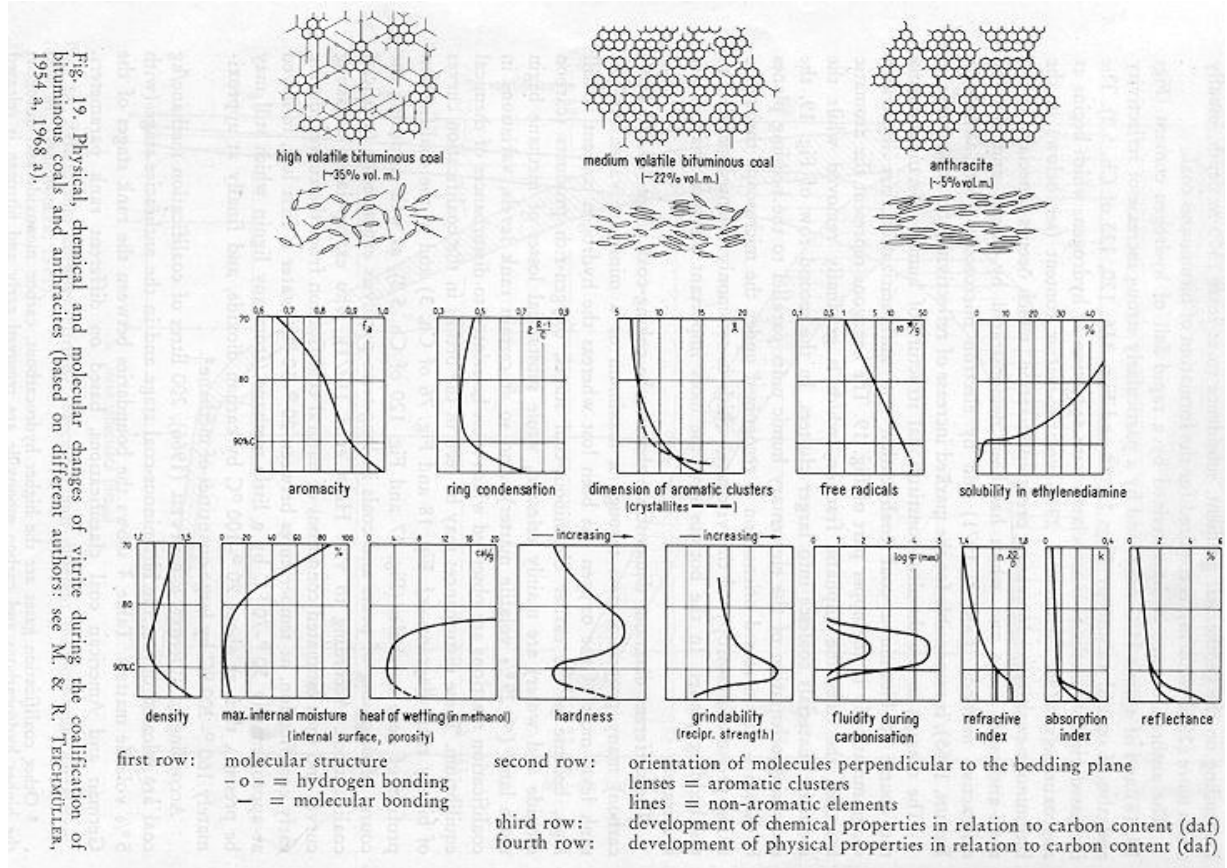
Yüksek uçuculu bitümlü kömürlerdeki kömürleşme gelişimi kahverengi kömürlerdekilere benzer; nem düşer, kalorifik değer artar. Daha sonraki bitümlü kömür evrelerinde (orta ve düşük uçuculu evreler) uçucu madde oranı (ki bu baskın olarak kömürün aromatik olmayan kısmıdır) alifatik ve alisiklik grupların uzaklaştırılması ve hümik komplekslerin aromatisasyon artışı yüzünden hızla düşer. Bu evrede uçucu maddenin tersine karbon içeriği iyi bir rank göstergesi değildir, çünkü derinlikle birlikte artık fazla değişmez (Şekil 3). Antrasit evresi hidrojen içeriğindeki ve H/C oranındaki hızlı bir düşmeyle ve özellikle vitrinit yansımadaki ve optik anizotropideki güçlü bir artış ile karakterize edilir. Son olarak metan verimi (kömür içinde uçucu madde olarak metanın açığa çıkışı) hidrojen azalmasıyla kendini belli eder. Metan tipik olarak Karbon içeriği %87 ve uçucu madde oranı %29 civarında iken ortaya çıkmaya başlıyor (Şekil 4).

Şekil 5'de bitümlü kömür ve antrasit evrelerinde organik maddenin kimyasal yapısında ortaya çıkan değişimler diyagramlarla gösterilmiştir. Burada altıgenler aromatik kesri, çizgilerse alifatik kesri temsil

ediyor. Görüldüğü üzere rank arttıkça alifatik kesir uzaklaştırılıyor ve aromatik kesir birbiriyle kaynaşıyor. Aynı şekilde ikinci satırda hümik yapı taşlarının rank arttıkça tabakalaşmaya paralel düzenlenmesinin arttığı izleniyor. Bu artan düzen vitrinin yansıtma değerinin rankla birlikte artışını somutluyor. Son satırda da bu iki kömür evresi boyunca fiziksel özelliklerin değişimi veriliyor.



Şekil 4: Vitrinit yansıtması ile çeşitli kimyasal rank parametrelerinin ilişkisi



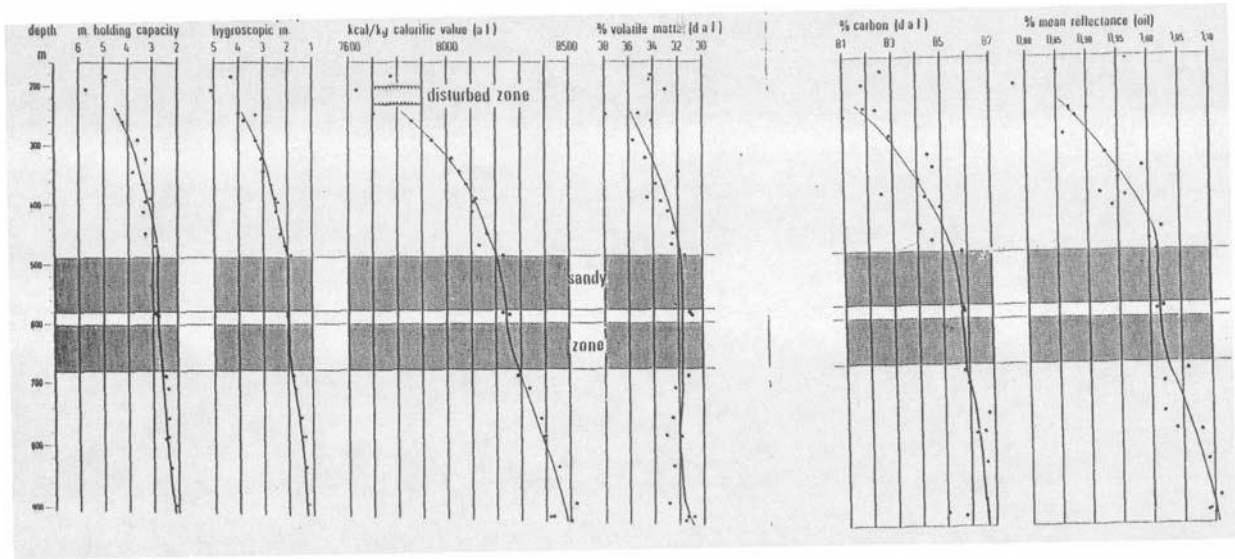
Şekil 5: Bitümlü kömür ve antrasitlerin kömürleşmesi sırasında vitritteki fiziksel, kimyasal ve moleküler değişimler.

KÖMÜRLEŞMENİN NEDENLERİ

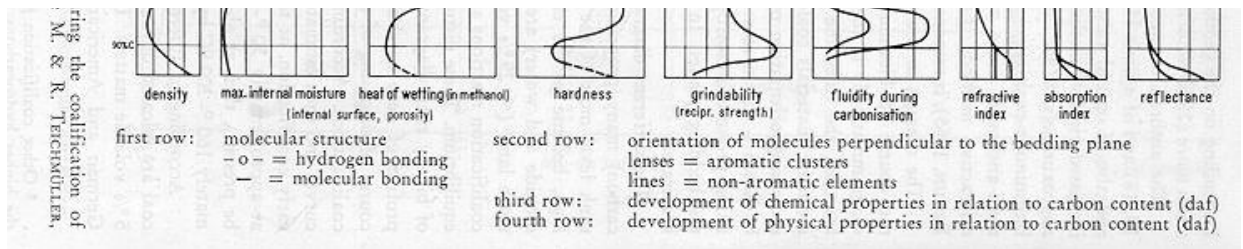
Kömürleşme başlıca sıcaklık artışıyla ve kömürleşme sürecindeki zamanla belirlenir. Basınç, kömürleşme sırasındaki reaksiyonları geciktirici etkide bulunur.

Sıcaklığın kömürleşmede önemli bir etken olduğu kontak metamorfik kömürlerde gözlenen ileri kömürleşme derecelerinde açıkça gözlenmektedir. Genelde mat siyah renkli, bol çatlaklı olan ve doğal kok (ya da jeolojik kok) diye adlanan bu kömürlerin magmatik ısı kaynağından uzaklaştıkça hızla kömürleşme derecelerinin azaldığı ileri sürülmektedir.

Kömürleşmenin gömülmeyle (normal ısıl gradyanla) değişimine *hilt yasası* deniyor. Şekil 6, bir Almanya örneği ile kömürleşme parametrelerinin gömülmeyle nasıl değiştiğini özetliyor.



Şekil 6: Ruhr havzasında (Almanya) gömülme ile değişik rank parametrelerinin değişimi



Şekil 5: Bitümlü kömür ve antrasitlerin kömürleşmesi sırasında vitritteki fiziksel, kimyasal ve moleküler değişimler.

Yapılan çalışmalar kömürleşme sıcaklıklarının, ilk önceleri tahmin edilen sıcaklıklardan çok daha düşük olduğunu ortaya çıkarmıştır. Jeolojik gözlemler göstermektedir ki, 150 °C'lik sıcaklıklar bitümlü kömür oluşumu için yeterlidir.

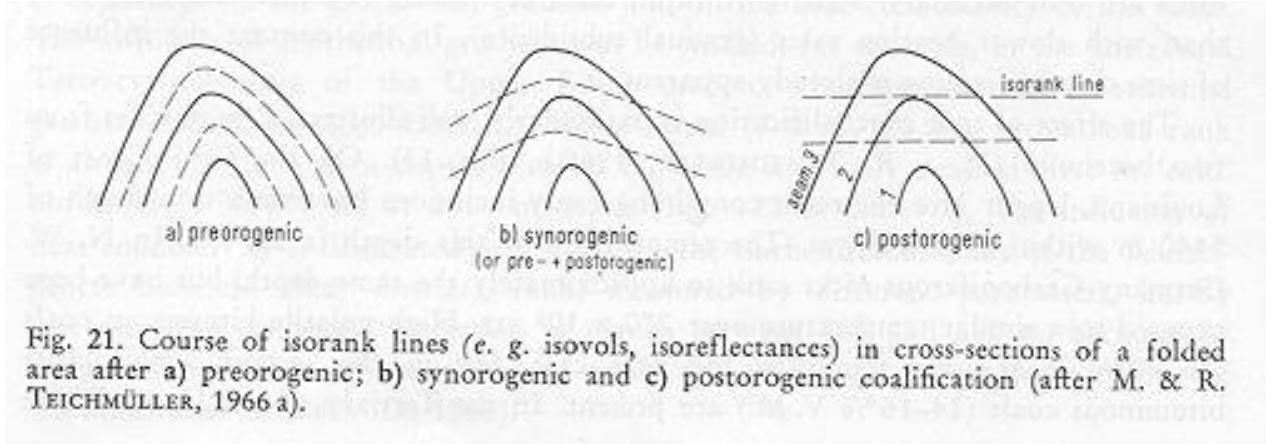
Kömürleşmede zamanın önemi Techmüller (1966)'in üzerinde çalıştığı iki kuyu incelemesiyle açık bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Bunlardan biri Louisiana'nın (ABD) Meksika körfezi sahillerinde kömürlü düzeyler içeren ve bu düzeyleri yüzeyden 5440 m derinde bulunan Üst Miyosen kayaçlarıdır (yaklaşık 17 milyon yaşında). Bu derinlikte sıcaklık 140 °C kadardır. KB Almanya'daki Karbonifer kayaçları da (270 milyon yıl yaşında) hemen aynı derinliklerde kömürler içeriyorlar. Bu iki örnekten Amerika'daki yüksek uçuculu bitümlü kömür kategorisine girerken Almanya'daki yalnızca düşük uçuculu bitümlü kömür kategorisinde yer alabiliyor. Ren grabeninde aynı derinliğe gömülmüş Tersiyer yaşlı istif içindeki kömürler, çok hızlı gömüldükleri için kömürleşme için gerekli sıcaklıkta "pişme zamanı" (İng. cooking time) çok daha kısa olmuş, sonuçta çok daha düşük kömürleşme ranklarına ulaşılabilmiştir.

Zamanın, görece yüksek sıcaklıklar mevcut değilse kömürleşmede etkin bir faktör olamayacağına ilişkin bir örnek Moskova havzasında oluşumlarından bu yana ancak 25 °C sıcaklıklara gömülebilmemiş Erken Karbonifer yaşlı linyitlerdir.

Basıncın kömürleşme üzerindeki etkisi de literatürde oldukça tartışılmış bir konudur. Kıvrılmış istifler içindeki kömürlerin rankının tektonikten etkilenmemiş istiflerdekinden yüksek olması basıncın kömürleşmeyi cesaretlendirdiği şeklinde yorumlana gelmiştir. Halbuki kıvrımlı istiflerin aynı zamanda en çok derinlere gömülen (ve gömüldüğü için de en çok ısınan) istifler olduğu göz ardı edilmiştir. Ruhr ve başka kömür havzalarında kömürleşmenin büyük ölçüde kıvrımlanmadan önce (preorojenik) kazanıldığı değişik çalışmalarla gösterilmiştir (Şekil 6). Şekil 7, kömür rankının kazanılmasının tektonikle ilişkisini açıklamaktadır. Preorojenik kömürleşmelerde (Ruhr havzasında olduğu gibi) kömürleşme eşderece eğrileri tabakalaşma düzlemlerine paraleldir. Sinorjenik kömürleşmelerde (yani aynı anda hem gömülme hem de kıvrımlanmanın izlendiği kömürlerde) eşderece eğrileri tabakalaşma düzlemlerine az çok benzer uzanmakla birlikte tam paralel değildirler. Kıvrımlanma sonrası (postorojenik) kömürleşmelerde eşderece eğrilerinin az çok yatay olması beklenir.

Kömür tabakası üzerindeki sedimanların yük basıncının kömürleşmeye etkisine gelince, yapılan deneysel çalışmalar bu basıncın kimyasal dönüşümleri kolaylaştırmadığını, tersine zorlaştırdığını göstermiştir. Çünkü bu basınç koşulları altında gazların bünyeden uzaklaştırılması zor olmakta, ayrıca maserallerin bozunması da güçleşmekte, dolayısıyla kömürleşme süreci zorlaşmaktadır.

Depremler sırasında faylar boyunca ortaya çıkan ani tektonik hareketler olasılıkla sürtünme ısısı nedeniyle yerel rank yükselmesine neden olabilmektedir.



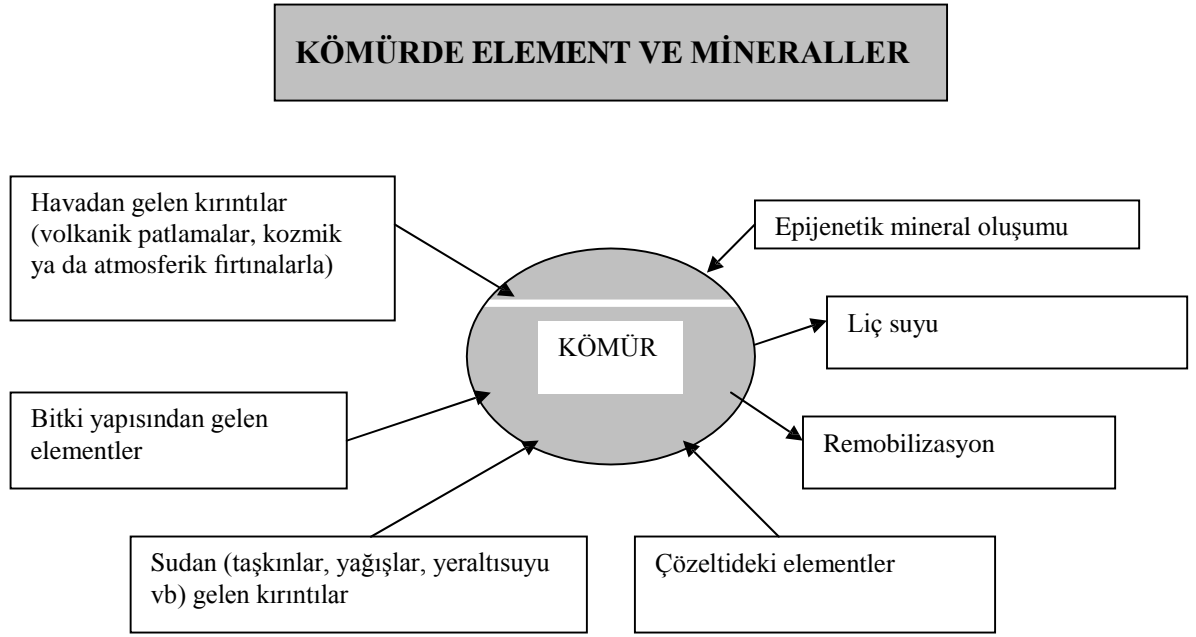
Şekil 7: Kıvrımlı alanlardaki enine kesitlerde a)orojenez öncesi, b) orojenezle eşzamanlı, c) orojenez sonrası kömürleşmelerde izorank çizgilerinin desenleri

Radyoaktivite nedeniyle kömürleşme artışı çok ender gözlenen bir durumdur. Bu durum ancak mikroskopik ölçekte kömürdeki uranyum konsantrasyonları çevresinde “kontakt halesi” olarak izlenebilmektedir.

KÖMÜRE UYGULANAN KİMYASAL ANALİZLER

Kömür, dar anlamda organik madde, mineraller, elementler, su, yağ ve gazların karışımı olarak düşünülebilir. Elimizdeki bir kömür örneği konusunda tam bir anlayışa sahip olabilmek için bu her bir bileşenin miktar ve kökeni konusunda bilgiye ihtiyaç duyarız.

Bu bileşenlerden inorganik olanla, yani minerallerle inorganik elementler değişik şekillerde kömür içinde yer alabilirler (Şekil 8). Bir kısım element ve mineral volkanik püskürmeler ve kozmik fırtınalarla yüzeyde oluşan turbaların yapısına katılır. Bazı elementler doğrudan bitkisel materyalin dokusunda yer alır ve buradan doğrudan turbanın ve giderek kömürün yapısına karışırlar.



Şekil 8: Kömürle ilişkili element ve minerallerin kökeni ve hareket yönü

Hatırı sayılır miktardaki kırıntı, taşkın tesirleri altında bulunan bataklık bölgelerinde taşkınlar ve kısmen yeraltısuyu maharetiyle turbanın yapısına katılır. Yine yeraltısuları özellikle çözülmüş halde bulunan elementlerin turbalıkta, ya da kömür jeokimyasal evrimleşmesinin herhangi bir evresinde kömürün yapısına karışmasında etkin rol oynarlar. Bu girdilere karşın yıkama (liç) suları, yani kömürlü birimleri drene eden sular, ciddi miktarda çözülmüş elementin kömür yapısından uzaklaştırılmasına yol açarlar.

Kömürün kimyasal yapısını anlayabilmek üzere ona bir dizi analiz yöntemi uygulanır. Bunlar;

* Kısa analiz (proximate analysis):

Nem, kül uçucu madde ve sabit karbon oranlarını belirlemede kullanılır.

* Elemental analiz (ultimate analysis):

Kömürün organik yapısını büyük ölçüde oluşturan beş elementin (C, H, O, N ve S) bağlı oranlarının saptanması için yapılır.

* Isı testi

Kömürün kalorifik değerinin (yakıldığında açığa çıkaracağı enerjinin belirlenmesi amacıyla) güder.

* Diğer analizler:

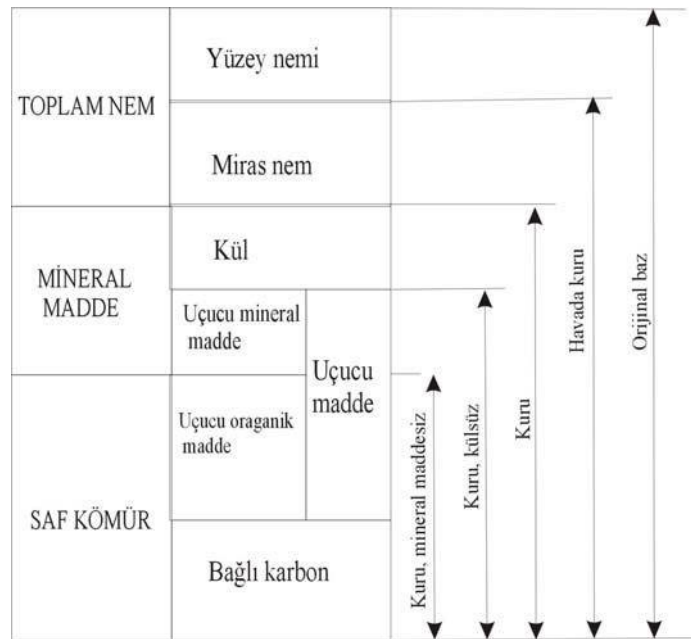
Kükürt formları, CO₃, Cl, ve iz elementlerin miktarları için ayrı kimyasal analizler yapılır.

Kömür Kimyasal Analiz Sonuçlarının Sunumu

Kömür jeolojisi ve kimyası çalışan kişilerin ortak bir dili kullanabilmeleri açısından kömür kimyasal analiz sonuçlarının hangi tür örneklerden hangi analiz teknikleriyle elde edildiği ayrıntılarıyla belirtilmelidir.

Kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki şekillerde ifade edilebilir (Şekil 9):

- Orijinal baz (ing. As received, Fr. Tout venant): Veriler toplam nem içeriğini içerecek şekilde verilir.
- Havada kuru baz (ing. Air dried): Veriler havada kurutulmuş örneğin nem içeriğini de kapsar. havada kurutma aşıkta 40°C’de gerçekleştirilir
- Kuru baz (dry): Kömürün kalıcı nemi de uzaklaştırıldıktan sonraki oranlardır. Kuru baz için örnek 110 °C’de azot akımının bulunduğu küçük bir vakumda kurutulur.
- Kuru külsüz baz (dry, ash free) : Veriler, toplam nem ve kül içeriği dışarıda bırakılacak şekilde ifade edilir.



Şekil 9: Farklı bazlardaki analizleri rapor ederken kullanılan kömür bileşenleri

Kısa Analiz Parametreleri

Nem (moisture):

Bu, kömürün ısı değerini ve koklaşabilir kömürlerin C içeriğini azaltır.

Kömürdeki nem 4 farklı şekilde bulunur:

Yüzey nemi: Kömür kütleindeki partiküller çevresinde ince bir zar/film şekline bulunur. Kömüre dıştan ve sonradan katılan sudur.

Hygroskopik su: Kömür kütleindeki partiküller içine sızmış, yer yer boşluklarında bulunan sudur. Bu ikisi dış kökenli nemi oluşturur.

Bozunma nemi: Bazı kömür bileşenlerinin organik yapılarında bulunan sudur.

Mineral nemi: Kömür içindeki bazı inorganik maddelerin (özellikle killerin) yapısında bulunan sudur.

Uçucu Madde (Volatile matters):

Nem dışında yüksek sıcaklıkta serbestleşen maddelerin tamamıdır.

Bunlar organik maddelerden veya inorganik maddelerden türeyebilirler.

İngiliz ve Amerikan standartlarına göre uçucu madde testi 900 (°C sıcaklıkta 7 dk özel bir düzenek içinde ısıtma) yapıyor. Amerikan standardı (ASTM) ise 950 °C'de ısıtmadır.

Kül (Ash):

Kömürün külü, yakılmadan arta kalan yanıcı olmayan inorganik kalıntıdır. Bu, inorganik maddelerden yüksek sıcaklıkta uçucu olan bileşiklerin (CO₂, SO₂ ve H₂O gibi) uzaklaşmasıyla geriye kalan maddeyi temsil eder.

Yüksek kül içeriği tercih edilen bir özellik değildir. Yakma sonrası atık problemleri açığa çıkarır.

İngiliz ve Avustralya standartlarına göre kül için gerekli yakma işlemi 815 °C sıcaklıkta, kütle miktarı sabit kalıncaya dek devam ediyor.

ASTM standartlarına göre 750 °C sıcaklık yeterli oluyor.

Şayet kömürde yüksek kalsit ve pirit oranları mevcutsa kökürdün külden bağlı kalmasına engel olmak için ısıtma iki basamaklı gerçekleştiriliyor. Önce örnek 500 °C'de 1 saat tutuluyor. Sonra 750 °C'de 2 saat bekleniyor; kütle sabit kalana dek 750 °C ile devam diliyor.

Sabit Karbon (fixed carbon):

Kömürdeki uçucu maddeler uzaklaştırıldıktan sonra arta kalan malzeme bulunan karbondur. Bu kömürün organik bileşiklerinin bozunma artıklarını temsil eder ve az miktarda N, S, H ve olasılıkla oksijeni de içerir.

Bağlı karbon koklaşma endeksinin iyi bir ifadesidir.

Bağlı karbon doğrudan belirlenmez. Basitçe havada kuru kömürde 100'den bütün diğer bileşenlerin (nem, uçucu madde ve kül) bolluğunun çıkarılmasıyla hesaplanır.

Elemental Analiz Parametreleri

Karbon ve Hidrojen: Genellikle karmaşık hidrokarbon bileşikleri olarak bulunurlar. Kömür yakıldığında H₂O ve CO₂ olarak serbestleşirler. Bu yüzden birlikte ölçümleri kolaydır. Ancak ölçülecek CO₂ 'teki karbonun bir kısmının karbonat minerallerinden, suyun bir kısmının da killerin kristal yapısından veya kömürün yüzey neminden gelebileceği unutulmamalıdır. C ve H ölçümü için iki yöntem kullanılıyor. İebig Yöntemi: kömürün 800 °C'ye ısıtılmasına dayanıyor. Yüksek sıcaklık yöntemi: 1350 °C'ye ısıtılan kömürden aynı zamanda kükürt, azot vb.'de ölçülebiliyor.

Oksijen: Kömürdeki organik bileşiklerden çoğunun bileşiminde bulunur. Aynı zamanda nemde, kömürün oksitlenmiş yüzeyinde ve inorganik mineral yapıda da yer alır. Mineral yapıdaki ve nemdeki kömür dikkate bir kenara bırakılırsa, oksijen iyi bir kömür derecesi göstergesidir; Kömür sınıflamalarında kullanılan önemli bir parametredir. Kömürdeki oksijen miktarı, geleneksel olarak, 100'den diğer bütün bileşenlerin çıkarılması ile elde edilir.

Azot: Kömürde büyük ölçüde organik bileşiklere bağlı olarak bulunuyor. Kömürde hiç bir azot minerali bulunmamakla birlikte özellikle gözenek sularında bazı azot bileşikleri oluşabiliyor. Kömürdeki azotun bir kısmı, kok eldesi sırasında amonyum bileşiklerine dönüşebiliyor. Bunlar yan ürün (ing. By product) olarak gübre sanayinde ve nitrik asit eldesinde kullanılabilir. Kömürün yanması sırasında oksit oluşumunu kolaylaştırdığından yüksek azot kömürde istenmeyen bir öğedir.

Kömürde azot ölçümünde en sık Kjeldahl yöntemi kullanılıyor. Burada sülfirik asitte katalitik özütme ile amonyum sülfata dönüştürülüyor.

S: Kömürde 3 formda bulunur.

- Piritik kükürt: Sülfat minerallerinin (özellikle pirit ve markazit) bünyesindeki kükürttür.
- Sülfat kükürdü: Sülfat minerallerinin bünyesinde bulunuyor.
- Organik kükürt: Kömürün organik yapısında bulunuyor.

Piritik kükürt ve sülfat kükürdü ayrı analizlerle elde ediliyor.

Elemental analizlerde doğrudan toplam kükürt elde ediliyor.

Isıl Değer: Yakılan kömürün belirli bir kütle başına açığa çıkardığı ısı miktarıdır. Avustralya'da spesifik enerji diye de bilinir ve MJ/kg (kg başına megajül) olarak ifade edilir. İngiliz standartlarına göre ise ısı değerinin birimi çoğunlukla Kcal/kg veya cal/gr olarak ifade edilir.

Kömür yanarken içindeki N, S ve mineral maddeler bir takım reaksiyonlara girerler. Bu reaksiyonlar çoğunlukla endotermik karakterde olduklarından ısı soğururlar; yani kömürün ısınımlarını alırlar.

Kömürün laboratuvarında kapalı bir fırında belirlenen ısı değerine üst ısı değer (gross calorific value) denir. Laboratuvar koşullarında yanma sırasında açığa çıkan gazlar test cihazından dışarı kaçmadığından ve bu gazlar enerji taşıdığından üst ısı değer kapalı olmayan koşullarda elde edilecek teorik değere (alt ısı değer (net calorific value)) göre daima daha büyük bir değerdedir. Bir kömürün alt ısı değeri üst ısı değerinden hesaplama yoluyla elde edilir.

Yüksek uçucu madde içeren kömürlerin alt ve üst ısı değerleri arasındaki fark da büyük olacaktır.

KÖMÜRLERİN SINIFLANDIRILMASI

Saha jeologlarının kömür sınıflandırması kömürün fiziksel özelliklerine dayanır; Onlar kömürleri dış görünüşleriyle parlak kömür, mat kömür, killi kömür, kahverengi kömür gibi isimler kullanırlar. Ancak bu yaklaşımın yalnızca bilimsel sözlü iletişimde bir yeri olabilir.

Kömürlerin endüstriyel kullanımları açısından bu sınıflama oldukça yetersizdir. Bunun yerine çok daha anlamlı olan kimyasal parametreler (özellikle elementer analizler) sınıflama aracı olarak kullanılır.

Kullanılan sınıflamalar ve bunların temeli şunlardır.

- Seyler sınıflaması: 1933 'te ana çerçevesi çizilen bu sınıflama halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Sınıflama parametrelerini kuru mineral maddesiz %C içeriği ve % H içeriği oluşturur (Şekil 10).
- ASTM (Amerikan Standart) sınıflaması kömürün sabit karbon içeriğini ve ısı değerini dikkate alır (Çizelge 7).
- Ruhr Kömür Sınıflaması taşkömürü ve antrasiti uçucu madde miktarına göre ayrıntılı bir bölümlenmeye tabi tutar (Çizelge 6).
- Çizelge 7'de Alman ve Amerikan sınıflamaları toplu olarak gösteriliyor. Buraya ayırma aracı olarak bir de vitrinit yansımasının eklendiğine dikkat ediniz.

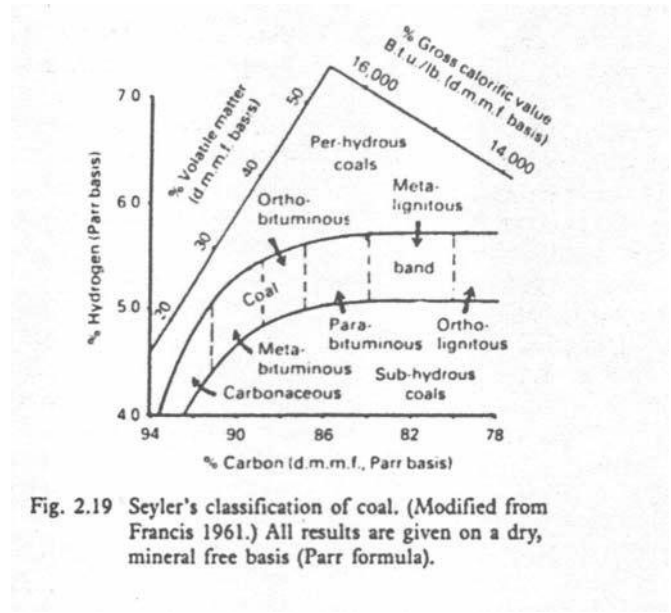


Fig. 2.19 Seyler's classification of coal. (Modified from Francis 1961.) All results are given on a dry, mineral free basis (Parr formula).

Şekil 10: Kömürün Seyler sınıflaması. Kullanılan parametrelerin tamamı kuru, mineral maddesiz bazdadır.

Çizelge 7: Alman ve Amerikan kömür sınıflamalarının farklı kömürleşme derecesi parametrelerine göre karşılaştırılması (Stach vd., 1982).

Kömürleşme derecesi (rank)		Yan-sıtma ($R_{r_{oil}}$)	Uçucu madde (daf) %	Karbon (daf) vitrit	Tabaka nemi	Isıl değer kcal/kg (Btu/lb)	Farklı kömürleşme derecesi parametrelerinin uygulanabilirliği	
Alman	Amerikan						tabaka nemi (külsüz)	ısıl değer (nemli, külsüz)
Turba	Turba	0.2	68					
			64	çoğ.60	çoğ.75			
Yumuşak	Linyit	0.3	60			4000 (7200)		
			56		çoğ.35			
Mat	Alt-bitümlü C	0.4	52			5500 (9900)		
			48	çoğ.71	çoğ.25			
Parlak	B	0.5	48					
			44			7000 (12600)		
	A	0.6	44	çoğ.77	çoğ.8-10			
Alevli	B	0.7	40					
			36					
Gazlı-alevli	A	0.8	36					
			32					
Gazlı	Yüksek uçuculu bitümlü	1.0	32					
			28	çoğ.87		8650 (15500)		
Yağlı	Orta uçuculu bitümlü	1.2	28					
			24					
			20					
Az yağlı	Düşük uçuculu bitümlü	1.6	20					
			16					
Yağsız	Semi-antrasit	2.0	12					
			8	çoğ.91		8650 (15500)		
Antrasit	Antrasit	3.0	8					
			4					
Meta-antrasit	Meta-antrasit	4.0	4					

KÖMÜR PETROGRAFİSİ

Bir kömür örneği çıplak gözle incelendiğinde farklı bantlardan ve mikroskopla incelendiğinde farklı kökene sahip organik maddelerden (maserallerden) oluştuğu görülebilmektedir. Her bir kömürün bileşimi ve karakteri, onu oluşturan organik ve inorganik bileşenlerin doğası ve geçirdiği diyajenez derecesiyle tanımlanmaktadır. Bir turba parçası incelendiğinde, turbayı oluşturan bitki parçaları kolayca görülebilmektedir; ancak kömürleşme derecesinin artmasıyla, bitki parçalarının kömür içinde gözle tanımlamak olanaksızlaşmaktadır. Yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde, farklı organik maddeler, sıkışma ve diğer süreçlerle değişime uğradığından bunları mikroskopla bile tanımlamak zorlaşmaktadır.

Çoğu kömür havzası, pek çok farklı kömür damarı içerir (Örneğin; Zonguldak Kömür Havzası'nda yapılan sondajlarda, 60 adet farklı kömür damarı tespit edilmiştir). Bu damarların tanımlanması, gerek jeolojik araştırmalar, gerekse madencilik çalışmaları için büyük öneme sahiptir. Kömür damarlarının tanımlanması, damarın tavan-taban kayaçları yardımıyla ve/veya damarın kendisinin incelenmesiyle yapılmaktadır. Bu amaçla ya kayaçların bileşimlerinden veya içerdikleri fosillerden (örneğin; kalın kumtaşı ve konglomera tabakaları, fosilli tabakalar, kömür damarının tavanındaki karakteristik bitki, mikrofauna zonları veya deniz fosilleri) yararlanılmaktadır. Damar tanımlamada ikinci yöntem, damarın kendisinin gözle ve/veya petrografik yöntemlerle incelenmesidir. Bu amaçla kullanılabilen litotipler ve petrografik yöntemler bu bölümde özetlenmiştir. Bu konuda ayrıntılı bilgiler Stach ve arkadaşları tarafından da verilmektedir (Stach ve arkadaşları, 1982).

Kömür petrografisi, kömürü oluşturan bileşenleri tanımlamaya ve bunların miktarını belirlemeye çalışmaktadır. Ayrıca, sıvılaştırma, koklaştırma ve gazlaştırma gibi olaylarda gösterecekleri davranışları önceden tahmin etmek için, kömürlerin petrografik olarak incelenmesine de ihtiyaç duyulmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde, kömürlerin litotipleri, maseralleri ve mikrolitotipleri kısaca açıklanmıştır. Kömürlerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, makroskopik ve mikroskopik bileşenleri ve bunların birbirleriyle genel ilişkileri Çizelge 8'de verilmiştir.

LİTOTİPLER

Bitümlü kömürlerin (taşkömürlerinin) farklı bantlardan oluştuğu, çıplak gözle kolayca görülebilmektedir. Makroskopik olarak tanımlanabilen bu bantlar, Stopes terminolojisine göre *litotip* olarak isimlendirilmektedir (Stach ve arkadaşları, 1982; Çizelge 8). Minimum bant kalınlığı 3 mm ile 10 mm arasında olup, ülkeden ülkeye değişmektedir. Ancak, çoğu ülkede, gözle kolayca ayrılabilmesi için minimum bant kalınlığı 10 mm olarak alınmaktadır. Litotipler; parlaklık, renk, şekil ve kalınlık gibi fiziksel özellikleriyle birbirlerinden ayrılabilirler. Litotipler, daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi, sadece hümik kömürlerde görülmektedir (Karayığit ve Köksoy, 1997). Alg ve/veya bitki sporlarından ya da ince taneli organik maddeden oluşan bazı kömürler, hümik kömürlerin aksine, bantlı yapı göstermezler ve bunlar *sapropelik kömür* olarak isimlendirilirler. Sapropelik kömürler, anaerobik veya oksijence fakir ortamda oluşurlar ve turbalaşma yerine sapropelleşme geçirirler. Litotipler, sonlarına *-en* takısı alırlar ve kahverengi kömürlerden ziyade taşkömürlerinde çok daha iyi şekilde izlenirler:

Çizelge 8: Bitümlü kömür gruplarının genel özellikleri, litotip ve mikrolitotiplerin sınıflandırılması (Müller ve arkadaşları, 1990)

MASERAL GRUBU	LIPTİNİT (L)	VİTRİNİT (V)	İNERTİNİT (I)			
YOĞUNLUK	1.15	1.30	1.45			
YANSITMA	0.5	0.70	1	2	3	4
YANSIYAN IŞIKTAKİ RENGİ	SIYAH	AÇIK GRI	BEYAZ			
FLORESANS	SARI → KAHVERENGLİ					
% KARBON	75	80	85	90		
MAKROSKOPİK	LİTOTİPLER (-EN eki)	VİTREN				
		FÜZEN				
MIKROSKOPİK	MIKROLİTOTİPLER (-İT eki)	KLAREN				
		DÜREN				
		TEK MASERALLI	LIPTİT L>%95	VİTRİT V>%95	FUSİT I>%95	
		İKİ MASERALLI	KLARİT V+L>%95	VİTRİNERTİT V+I>%95	DÜRİT L+I>%95	
ÜÇ MASERALLI	VİTRİNERTOLİPTİT L>V+I	KLARODÜRİT I>L+V	DÜROKLARİT V>L+I			
MASERALLER (-İNİT eki)	SPORİNİT (mikro ve mega-sporlar) KÜTİNİT RESİNİT ALGINİT	TELİNİT KOLLİNİT VİTRODETRİNİT	FÜSİNİT SEMİFÜSİNİT MAKRİNİT İNERTODETRİNİT MİKRİNİT SKLEROTİNİT			

Stopes terminolojisine göre dört farklı litotip mevcut olup, bunlar; vitren, düren, füzen ve klaren olarak isimlendirilir (Stach ve arkadaşlı, 1982; Çizelge 8). Bu litotiplerin bazı özellikleri ile killi kömürün, kömürlü kil taşının ve karbonlu şeylin özellikleri Çizelge 9'da verilmiştir.

Vitren, kömürlerde makroskobik olarak tanınabilen, ince, siyah camsı homojen bant olup, kalınlığı 3-10 mm'den daha fazladır (Ward, 1992). Bu litotip, eli boyamamaktadır ve genellikle çok kırılğan olup, tabakalanmaya dik yöndeki çatlaklarıyla karakteristiktir. *Düren*, sert, mat, eli boyamayan, kompakt kömür bantıdır. Bu özelliğiyle, çoğunlukla karbonlu şeyl veya saf olmayan kömürle karıştırılabilir. Ancak, daha düşük yoğunluk ve kül içerikleriyle bunlardan kolayca ayrılabilir. Bant kalınlığı, vitren gibi, 3-10 mm'den daha fazladır. *Füzen*, odun kömürüne benzer şekilde, yumuşak ve tozlu bir görünüme sahiptir. Ancak, füzenin boşlukları minerallerle doldurulduğunda oldukça sert bir yapıya da sahip olabilmektedir. Çoğunlukla mercekler şeklinde kömür içinde bulunur ve sürüldüğünde eli boyayan tek kömür litotipidir. *Klaren*, diğer litotiplerin (vitren, düren ve/veya füzenin) ince bantların ardalanmasından oluşur. Bant kalınlığı 3-10 mm'den azdır. Parlak, çizgisel, bazen merceksi, çok küçük, ince taneli, ipek parlaklığındaki litotiptir. Bitümlü kömürlerde yapılan bazı bilimsel çalışmalarda, yukarıda tanımlanan litotipler dışında, düren ve klaren arasında geçiş litotipleri (düroklaren veya klarodüren) de tanımlanabilmektedir. Vitren ve füzen bantları, genellikle homojendir, ancak klaren, düren ve geçiş litotipleri ise farklı organik maddelerin karışımından oluşur. Diğer taraftan, yapılan bazı bilimsel çalışmalarda, kömür damarının parlak (vitren ve klaren) ve mat (düren ve füzen) olarak ikiye ayrılıp incelendiği de görülmektedir.

Çizelge 9: Bitümlü kömürlerin litotipleri, kömür-kil taşı karışımları ve özellikleri

Tanım	Ayırt edici özellikler					
	Litotip	Tabakalanma	Yarılabılme	Kırılma şekli	Görünüm	Diğer özellikler
Kömür	Vitren	Zayıf	İyi	Küp şeklinde, kısmen konkoidal	Çok parlak - parlak	Tabakalanma yönüne dik çok sayıda çatlakları bulunur
	Düren	Zayıf	Kötü	Düzensiz	Mat	Bantların yüzeyleri pürüzlü olup genellikle gri ve siyah görünümlüdür
	Füzen	Bantsız	Yok	Düzensiz	Mat - ipeğimsi	İpeğimsi, lifsi dokuya sahip, yüksek oranda mineral içermekte, eli boyayan tek litotip
	Klaren	İyi	Orta	Vitren ve dürenin özellikleri arasında değişir		Vitren, düren ve/veya füzenin ince bantlarının ardalanmasından oluşur. Bant kalınlığı 1 cm'den küçüktür
Killi kömür	Belirgin	Kırılma	Renk	Çizgi rengi	Kömür ve kil taşı ardalanması, kil taşı kalınlığı 1 cm'den küçüktür	
			Gri çizgili siyah			
Kömürlü kil taşı	Belirgin		Siyah çizgili gri		Kömür ve kil taşı ardalanması, kömür kalınlığı 1 cm'den küçüktür	
Karbonlu şeyl	Kötü	Düzenli değil	Koyu kahverengi - siyah	Kahverengi	Kömür ve kil taşı karışımı	

Bir bitümlü kömür damarının kolon kesiti (stampı) ve litotiplerin damar kalınlığı boyunca değişimi, şematik olarak Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

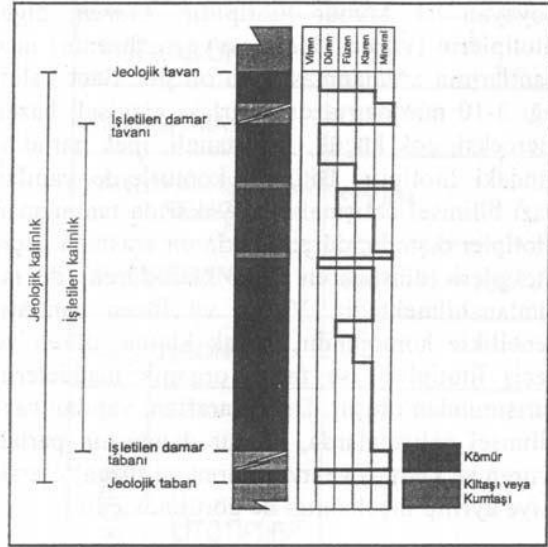
Şekil 5.1'de görülen kolon kesitleri, kömür damarlarının tanımlanmasında ve korelasyonunda kullanılabilir. Ancak, ülkemizde, kömürlerin litotiplerinin incelendiği çalışmaların sayısı oldukça azdır. Bazı çalışmalar, Karayığit (1989) ve Buzkan (1990) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu yazarlar tarafından yapılan çalışmalar kapsamında, Zonguldak ve Amasra havzalarındaki bitümlü kömürlerin genellikle klarenden oluştuğu, kömür içerisinde yaygın oranda kıltaşı- silttaşına rastlandığı ve bazı kömür damarlarının makroskopik yapısının, havzada damar korelasyonunda

kullanılabileceği belirtilmektedir. Ancak, havzada damar korelasyonu konusunda halen büyük sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle, damar korelasyonu konusunda çok daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

MASERALLER

Kömürler, ince kesitleri veya parlak kesitleri yardımıyla mikroskopta incelendiğinde, farklı organik bileşenlerden (maseral) ve bileşenlerin toplanması sonucu oluşmuş bantlardan (*mikrolitotip*) meydana gelmiş olduğu görülmektedir. Bu organik bileşenler, değişik bitki dokularının veya turba oluşumu sırasında, mevcut bitkiden türemiş maddelerin, tümüyle kömürleşmesinden oluşmuştur. Bu bileşenler; görünüşleri, sertlikleri, optik ve kimyasal özellikleri ile kömür kullanımı sırasındaki teknolojik davranışlarıyla birbirinden ayrılabilir. Kömürü oluşturan bu bileşenler, kayaları oluşturan minerallere benzer şekilde *maseral* olarak isimlendirilmektedir. Maseraller, sonlarına *-nit* takısı alırlar ve *vitritin*, *liptinit* ve *inertinit* olmak üzere üç gruba ayrılırlar (Çizelge 7 ve 9). Vitritin ve inertinit, sırasıyla, vitren ve füzenin ana bileşenlerini oluşturur. Klaren ve düren ise genellikle farklı maserallerin heterojen karışımından oluşur (Çizelge 7).

Kömürle ilgili araştırmalarda, önceleri, yaklaşık 8-10 mikron kalınlığındaki ince kesitler kullanılmış ve buna göre petrografik tanımlamalar geliştirilmiştir. Yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerin (örneğin, antrasit) ince kesitleri kolayca yapılabilmesine karşın, turbanın, linyitin ve çoğu bitümlü kömürün ince kesitinin yapılmasının çok zor ve zaman alıcı olması, mineral ile inertinit maserallerinin opak olarak görülmesi ve ince kesitler üzerinde vitritin yansıtmasının ölçülememesi nedeniyle, sonradan parlak kesit (parlatma bloku veya parlatma briketi) yöntemi geliştirilmiştir. Bu nedenle, günümüzde yapılan çoğu araştırmada parlak kesit yöntemi kullanılır hale gelmiştir. Aşağıda, maserallerin üstten aydınlatmalı mikroskop, parlak kesit ve immersiyon yağ objektifindeki bazı özellikleri kısaca açıklanmıştır.



Şekil 11: Bir bitümlü kömür damarının kolon kesiti ve litotiplerin kalınlık boyunca değişimi

Çizelge 9: Kahverengi kömür ve bitümlü kömürlerin maseralleri

Kahverengi kömür (linyit)				Bitümlü kömür		
Maseral Grubu	Maseral Altgrubu	Maseral	Maseral Tipi	Maseral Tipi	Maseral	Maseral Grubu
hüminit	hümotelinit	tekstinit ülminit	teksto-ülminit ö-ülminit	telinit 1 telinit 2	telinit	vitrit
	hümodetrinit	atrinit densinit			vitrodetrinit	
	hümokollinit	jelinit korpohürhinit	levijelinit porijelinit filobafinit psöydo-filobafinit	detrojelinit telojelinit öjelinit	desmokollinit telokollinit jelokollinit korpokollinit	
liptinit (= eksinit)		sporinit kütinit resinit alginit fluorinit liptodetrinit				liptinit
inertinit		füsinit semifüsinit mikrinit makrinit sklerotinit inertodetrinit				inertinit

Vitrit grubu, kahverengi kömür ve linyitlerde *hüminit* olarak isimlendirilmektedir. Bu maseral grubunun, bir bitümlü kömürdeki özellikleri Çizelge 7'de özetlenmiştir. Bu çizelgede görüldüğü gibi, liptinit grubu, diğerlerinden daha az yoğunluğa, çok düşük yansıtma, daha düşük karbon içeriğine ve siyah renge sahiptir. Artan kömürleşme derecesine bağlı olarak liptinitin rengi açılmakta ve antrasitte beyaza dönüşmektedir. Hüminit/vitrit, kahverengi kömürlerde genelde koyu gri, gri; bitümlü kömürlerde açık gri ve antrasitte beyaz renkte görülmektedir. İntertinit grubu maserallerin rengi, kömürlerde çoğunlukla çok açık gri, sarımsı beyaz ve beyaz renkte gözlenmekte ve artan kömürleşme derecesine bağlı olarak, diğer iki gruptan farklı şekilde, çok az değişim göstermektedir.

Vitrit/hüminit grubu, çoğu kömürün en önemli bileşenidir. Bitkilerin kök, gövde ve yapraklarından oluşur ve bunlar; odun, periderm, yaprak mesofil dokularını ve bazı hücre dolgularını içermektedir. Vitrit, aynı zamanda kolloidal hümit jellerden de oluşabilmektedir (Ward, 1984).

Bitki hücre yapısı gösteren telinit çoğunlukla ağaç dokularından, kollinit hümit jellerden ve vitrodetrinit hümit maddelerin parçalanmış kırıntılarından oluşur. Mikroskopta, vitrit, daha koyu renkli liptinit ve daha açık renkli inertinite göre gri renkli olarak görünmektedir. Vitren bantlarında, odunsu dokulardan oluşan vitrit, jelleşmiş kalın bantlar şeklinde görünmektedir ve bunlar

telokollinit olarak bilinmektedir. Daha küçük parçalanmış bitki dokularından oluşan diğer vitrinitler, **desmokollinit** olarak bilinir ve bunlar diğer maseral ve minerallerle karışım halindedirler. Desmokollinit, klarenlerin tipik üyesidir ve çoğunlukla aynı kömürde telokollinitten daha koyu renkte görülür. Bu, herhalde, desmokollinitin bitkinin daha çok selülozca zengin kısmından türemesinden ve içerisinde lipit maddelerin absorbe edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bazı telinit ve Füsinitin hücre boşlukları ile maserallerin kırık-çatlakları, vitrinitik maseralce doldurulmuştur ve bu jelimsi maseral, jelokollinit olarak isimlendirilmektedir. Vitrinitin diğer maserali olan korpokollinit, yuvarlak, elips şekilli veya çubuk şekilli olup, ya tek başına ya da hücre dolguları olarak görülmektedir.

Linyit ve altbitümlü kömürlerde, hüminit grubu, bitümlü kömürlerdeki vitrinitlerden daha komplekstir ve daha büyük değişiklikler gösterir. Hüminit grubu, jelleşme derecelerine göre maseral altgrubuna, maserallere ve maseral tiplerine ayrılmaktadır (Çizelge 9). Tekstinit, jelleşmemiş hücre duvarı maddelerinden; ülminit, hala hücre yapılarının görülebildiği jelleşmiş bitki dokularından; atrinit ve densinit, hümik parçalardan; jelinit, şekilsiz hümik jellerden; korpohüminit, birincil hücre içi dolgulardan ve ikincil kolloidal hücre salgularından oluşur.

Liptinit (veya eksinit) grubu, spor-polen, reçine, yağ, mum, alg, bitüm, süberin ve kütinlerden türemiştir ve diğer iki maseral grubundan daha yüksek hidrojen ve uçucu madde içeriğine, daha düşük yoğunluğa, yansıtmaya ve karbon içeriğine sahiptir (Çizelge 7). Yansıyan ışıkta koyu renkte gözüklükler ve mavi ışık veya ultraviyole ışıkta gösterdikleri floresans renkleriyle, minerallerden kolayca ayrılabilir. Liptinitlerin kimyasal karakteristikleri ve optik özellikleri, kömürleşme derecesinin ilerlemesiyle önemli oranda değişmektedir ve ayırt edici özelliklerinin çoğu, yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde (örneğin, antrasitte) kaybolmaktadır.

Hümik kömürlerin, liptinit grubunda en yaygın üyesi olan *sporinit*, spor-polenlerin kömürleşmiş kalıntılarından oluşur. Oval şekli ve merkezi kısmındaki boşluk veya bir çizgi, sporinitin tipik görünümünü oluşturur. Büyüklükleri, beş mikron ile birkaç yüz mikron arasında değişir. Sapropelik (cannel) kömürlerin karakteristik üyesini oluşturur ve kömürlerin bazı düren ve klaren bantlarında da yaygın olarak bulunur. *Kütinit*, kömürlerde çoğunlukla ince bantlar şeklinde görülür. Tek taraflı dişli yapılan, bu maseralin ayırt edici özelliklerinden biridir. Kalın duvarlı kütinitlere kömürlerde rastlanabilmektedir.

Resinit, çoğunlukla, hücre boşluklarını doldurur durumda oluşur, oval veya çubuk şekilli olarak görülürler. Bazı resinitlerin etrafında daha koyu renkli bir kuşak da görülebilir (zonlu resinit). *Alginit*, alglerin kömürleşmiş kalıntılarıdır ve hümik kömürlerde çok az oranda görülür. Alginit, özellikle sapropelik kömürlerin (boghead) karakteristik üyesidir. *Fluorinit*, siyah ve şiddetli sarı floresans rengiyle tipiktir. Fluorinit, kahverengi kömür veya linyitlerde petrografik olarak kolayca tanınabilmekte ve bitkisel yağlardan oluştuğu düşünülmektedir. Liptodetrinit, diğer liptinit grubu maserallerin parçalarından oluşur.

Inertinit grubu, aynı kömürde, diğer iki maseral grubundan daha yüksek yansıtma değerine, karbon içeriğine ve daha az uçucu madde ve hidrojen içeriğine sahiptir (Çizelge 7). Bu maseral grubu, daha ziyade bataklık ortamında oksitlenmiş veya yanmış organik maddelerden meydana gelmiştir (Stach ve arkadaşları, 1982). Parlak kesitlerde, beyaz veya çok açık gri olarak görülür. İntertinit ismi, bu gruba, diğer iki maseral grubundan farklı olarak, teknolojik süreçlerde (örneğin, koklaştırma) inert davrandığı için verilmiştir. Ancak, bu maseral grubu içinde yer alan semifüsinit (Çizelge 9), bu süreçler sırasında bazen reaktif olarak rol oynayabilmektedir. Koklaştırmada, kömürde bir miktar inertinit bulunması, kokun sağlamlığını artırdığı için, koklaşan kömür içinde

inertinit bulunması istenmektedir.

Füsinit ve semifüsinit, tipik hücre yapılarıyla kolayca tanınmaktadır. Hücre içleri boştur ya da minerallerle (karbonat, pirit ve kil mineralleri) veya jelokollinitle doldurulmuştur. Füsinitte, elektrik yapısı ve bunların kırılması sonucu oluşmuş yıldız yapısı görülebilmektedir. Füsinit, genellikle beyaz görünür. Semifüsinit, vitrinitin gri rengi ile füsinitin beyaz rengi arasında renge sahiptir. *Makrinit*, çoğunlukla hücre yapısı olmayan, düzensiz şekilli masereldir ve homojen bir görünüme sahiptir; ülkemizde, Zonguldak bitümlü kömürlerinde Füsinit ve semifüsinitler sonra en yaygın bileşen olarak görülmektedir (Karayığit, 1989). Mikrinit; küçük, yuvarlak taneler ve birkaç mikron büyüklüğündeki masereldir. Mikrinit, çoğunlukla vitrinit içinde taneler şeklinde dağıldığı gibi, hücre boşluklarını doldurabilmekte ve/veya bantlar oluşturabilmektedir. Mikrinit, linyit ve altbitümlü kömürlerde nadiren oluşabilmekle birlikte bitümlü kömürlerde sıkça görülmektedir. Yukarıda açıklanan inertinit maserallerinin çoğu, bitkilerin lignoselülozik dokularından meydana gelmiş, sklerotinit ise mantar kalıntılarından oluşmuştur. Gerçek sklerotinit maserali, Tersiyer yaşlı kömürlerde yuvarlak, tek veya çok localı olarak görülür. Bu tip sklerotinit, ülkemiz linyit ve altbitümlü kömürlerinde de görülmektedir. Bu maseral, Karbonifer yaşlı bitümlü kömürlerde de görülebilmekle birlikte, ekseriya oksitlenmiş veya *Füsinitleşmiş reçine çubuklarıdır* (Ward, 1984) ve bunlarda derin kanallar görülebilmektedir. Inertodetrinit, inertinit maserallerinin kırılmış parçalarından oluşur.

MİNERALLER

Çoğu kömür, tümüyle organik madde içermez ve bir miktar minerallerle birlikte bulunur. İnorganik materyal, belirli kristal yapısı olan katılar, boşluk suyu içerisinde çözünmüş tuzlar veya kömürlerin içerisinde bulunan organometalik bileşiklerdir (Ward, 1984). Bitümlü kömürlerde bulunan mineraller, silikatlar (kil mineralleri, kuvars, kalsedon, feldspat ve turmalin), karbonatlar (kalsit, dolomit, siderit, aragonit, ankerit, davsonit, stronsiyanit), sülfidler (pirit, markasit, sfalerit, galen), sülfatlar (*jips*, barit, anhidrit, bassanit), diğer mineraller (apatit, anataz, rutil, hematit, götit ve zirkon) şeklinde gruplara ayrılabilir. Minerallerin bir kısmı, kömür içerisinde makroskopik olarak görülebilen bantlarda, mercikleri ve yumruları ile diğer bir kısmı da çatlaklarda ve eklem yüzeylerinde görülmektedir. Minerallerin kömür maserelleriyle ilişkisi, ayrıntılı olarak optik mikroskopla veya daha ayrıntılı olarak elektron mikroskobu ile görülebilmektedir (Ward, 1984).

Kömür içerisinde görülen mineraller, kömür sınıflaması, test ve kullanım, damar korelasyonu ile kömür oluşum ortamlarının yorumlanması açısından büyük öneme sahiptir. Mineralleri tanımlamak için, optik mikroskopik yöntemlerin dışında X-ışınları difraksiyonu, elektron mikroskobu, ısıl analiz, infrared spektrometri gibi yöntemler de kullanılmaktadır. Şekil 5.5, örnek olarak seçilen, Alt Eosen yaşlı Yozgat-Soruun ve Amasya-Suluova kömürlerinin tüm kayaç ışınları toz difraktogramlarını (CuK α tıp, Ni filtre, 40 kV voltaj, 18 mA akım, 2°/dak gonyometre hızı, 2 cm/dak kağıt hızı, 4.10² duyarlık ve 0° 26) göstermektedir. Bilindiği gibi, bu yöntemle, kömür içindeki mineraller, kömürdeki organik maddeye karşın tanımlanabilmektedir.

Kuvars, çoğu kömürde yaygın olarak bulunur. Kilce zengin bantlar içerisinde, detritik, köşeli kuvarsa sıkça rastlanılmaktadır. Buna karşın, kimyasal çökellemeyle turbalaşma sırasında, kömür içerisindeki hücre boşluklarında veya maserellerin çatlak-kırıklarında kalsedon şeklinde de oluşabilmektedir (Ward, 1984).

Kaolinit, bitümlü kömürlerin ve kahverengi kömürlerin en önemli bileşenini oluşturur. Diğer kil minerallerinden; illit, klorit, montmorillonit veya simektite kömürlerde rastlanılmaktadır. Son zamanlarda, kömür havzalarında yapılan araştırmalar kapsamında, kil mineralojisi yardımıyla damar korelasyonu çalışmaları yapılmaktadır. Benzer bir deneme, Karayığit (1991) ve Karayığit ve arkadaşları (1995) tarafından Zonguldak ve Amasra havzasında kömür damarlarına komşu kilttaşları-silttaşları üzerinde yapılmış ve minerallerin kömürlere göre, diyajenetik değişimlerden çok daha az etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca, Westfaliyen yaşlı Karadon formasyonunda kaolinitin, Westfaliyen A yaşlı Kozlu ve Namuriyen yaşlı Alacağzı formasyonlarında çoğunlukla illitin, önemli kil fraksiyonu minerallerini oluşturduğu saptanmıştır. Havzada, gelecekte yapılacak ayrıntılı mineralojik çalışmalardan elde edilecek sonuçların, damar korelasyonu problemini çözmede yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Pirit, çoğu kömürlerin en yaygın üyesidir ve öz şekilli kristaller, framboidal, masif, hücre ve kırık-çatlak dolguları olarak görülmektedir. Ayrıca, küçük miktarlarda; sfalerit, markasit ve galene de kömürlerde rastlanmaktadır. Bitümlü kömürlerin çoğunda, siderit, kalsit, dolomit veya ankerit de görülmektedir. *Siderit*, kömür içinde, çoğunlukla yumrular halinde görülür ve turba oluşumu sırasında kimyasal çökmeyle oluştuğu sanılmaktadır. Çoğu kömürde, kalsit, dolomit ve ankerit, kömür oluşumu sonradan oluşmuş kırık çatlak yüzeylerinde görülmektedir. Diğer taraftan, özellikle ülkemiz linyit ve altbitümlü kömürlerinde, kömür içinde kireçtaşı bantlarına rastlanmaktadır (Karayığit and Whateley, 1997). Bu veri, kömür oluşumu sırasında, nötr ve zayıf alkalın koşulların geliştiğini göstermesi bakımından önemlidir. Kömür içerisinde görülen sülfat minerallerinin çoğu, piritin oksitlenmesi sonucu oluşmaktadır. Sulu demir sülfatlar, özellikle bu şekilde oluşmaktadır. Diğer taraftan, kurak iklimlerde jips, aynı zamanda yüzeye yakın damarlar içinde ve ikincil olarak yeraltı suyundan çökmeyle de oluşabilmektedir (Ward, 1984). Bu mineraller dışında, özellikle Beypazarı-Çayırhan kömürleri içinde yaygın zeolit minerallerine rastlanmaktadır (Whateley ve arkadaşları, 1996). Araştırmacılar, analsim ve klinoptilolit, kömürdeki mineral maddenin yaklaşık %80'lik kısmını oluşturduğu ve zeolitlerin, kömür oluşumuyla, çağdaş volkanik aktiviteden türemiş aminositlik epiklastik malzemenin, sodyumca zengin çözeltilerce bozunması sonucu geliştiğini belirtmektedir. Bitümlü kömürlerde, çok az oranda apatite ve feldspat minerallerine de rastlanmaktadır.

MİKROLİTOTİPLER

Kömür maserallerinin mikroskopik ölçekteki toplanması sonucu mikrobantlar oluşur ve bunlar **mikrolitotip** olarak isimlendirilir. Mikrolitotip çeşitleri, birbirleriyle ilişkileri ve sınıflandırılması, Çizelge 7 ve 10'da sunulmuştur. Analiz için kullanılan, yirmi noktalı okülerin şekli ise Şekil 5.6'da görülmektedir. Çizelge 5.4'te görülüşü gibi, mikrolitotipler, sonlarına *-it* takısı almakta ve tek, iki ve üç maseralli olmalarına ve maserallerin minerallerle olan birlikteliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflamada, esas alınan mikrolitotip kalınlığının minimum 50 mikron ve maserallerin oranının %5'ten daha fazla olması gerekmektedir. Bu nedenle, bir vitrinit bandı üzerinde, küçük liptinit parçaları %5'ten fazla hacim oluşturmadıkça *klarit* olarak isimlendirilemez. Benzer şekilde, üç maseralli mikrolitotip (trimaserit), her bir maseral grubundan en az %5'ten daha fazla içermektedir. Pirit hariç olmak üzere, mineral maddenin % 20'den daha düşük miktarları, mikrolitotiplerin belirlenmesinde göz ardı edilmektedir (Çizelge 10). Ancak bu miktarlar %60'tan fazla olduğunda, mikrolitotip yerine mineral olarak isimlendirilmektedir. Mikrolitotip analizi, maseral analizine göre daha fazla zaman alıcı olmakla beraber, analiz sonuçlarından kömürlerin oluşum ortamının yorumlanabilmesi ve bazı teknolojik proseslerde (özellikle koklaştırma),

kömürlerin davranışları hakkında önceden bilgi edinilmesini sağladığı için günümüzde yaygın olarak yapılmaktadır.

Çizelge 10: Bitumlu kömürlerin mikrolitotipleri

Mikrolitotipler	Bileşim (%)
Tek maseralli mikrolitotipler Vitrin Liptin İnertin	Vitrin (V), > % 95 Liptin (L), > % 95 İnertin (I), > % 95
İki maseralli mikrolitotipler Klarin Vitrinertin Dürin	V + L, > % 95 V + I, > % 95 I + L, > % 95
Üç maseralli mikrolitotipler Düroklarit Vitrinertoliptin Klarodürin	V > I + L (her biri en az ≥ % 5) L > I + V (her biri en az ≥ % 5) I > V + L (her biri en az ≥ % 5)
Karbomineritler Karbarjilit Karbopirit Karbankerit Karbosilisit Karbopolimerit	Kömür + hacimce % 20-60 kil mineralleri Kömür + hacimce % 5-20 demir sülfid mineralleri Kömür + hacimce % 20-60 karbonat mineralleri Kömür + hacimce % 20-60 kuvars Kömür + hacimce % 20-60 değişik mineraller

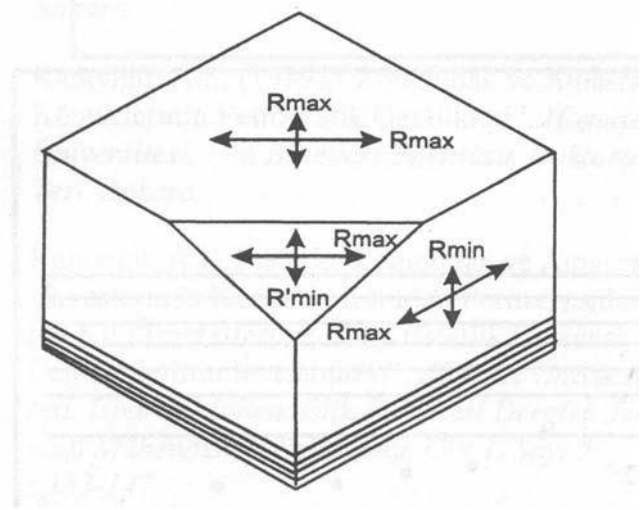
5.6 VİTRİNİT/HÜMİNİT YANSITMASI

Kömürler içindeki bir maseralin veya bir parçanın yansıtması, gelen ışığın yansıyan ışığa oranının yüzde olarak ifade edilmesiyle belirlenir. Kömürleşme derecesinin belirlenmesinde, artan fiziksel ve kimyasal koşullara göre daha duyarlı olduğu için daha çok vitrinin (hüminin) yansıtması kullanılmaktadır. Yansıtma değeri, kömürdeki organik bileşenlerin aromatikliğiyle ilişkidir ve artan kömürleşme derecesiyle artmaktadır. Yansıtma değeri, kömürleşme derecesinin saptanmasında, kimyasal analizlerden daha sağlıklı değerler verebilmektedir. Çünkü kömür içerisindeki inorganik madde (kül), nem, uçucu madde içerikleri ve ısı değerleri, daha ziyade, bize kömürlerin kalitesi ve kullanılma alanları konusunda bazı bilgiler vermektedir.

Yansıtma ölçümleri, üstten aydınlatmalı mikroskopta ve polarize ışıkta yapılmaktadır. Mikroskobun kalibrasyonu için, yansıtması bilinen standartlar kullanılmaktadır. Bu amaçla, yansıtması farklı, en az iki standart kullanılmaktadır. Kömürde, vitrinin optik özellikleri, tek eksenli negatif bir maddeye benzerlik göstermektedir. Optik eksen, tabakalanmaya yaklaşık olarak diktir ve düşey eksen, yatay olandan daha küçüktür. Bu nedenle, tabakalanmaya dik kesilmiş yüzeylerde, tabakalanmaya paralel yönde maksimum (Rmax), dik yönde de minimum yansıtma (Rmin) ölçülür. Tabakalanmaya paralel kesilmiş yüzeylerin bütün yönlerinde ise maksimum yansıtma ölçülecektir.

Tabakalanmaya oblik kesilmiş yüzeylerde ise, tabakalanmaya paralel yönde maksimum, dik yönde görünen minimum (R_{min}) ölçülür ve bu, görünen minimum yansıtma değeri, oblik yüzeyin durumuna göre maksimum ve minimum arasında bir değer alır (Şekil 12).

Vitrinit yansıtması değerinin kömür sınıflamasındaki kullanımı ve kömürdeki değerleri, kitabın diğer bir bölümünde açıklandığı için, konunun daha fazla ayrıntısına burada değinilmemiştir. Diğer taraftan, Şekil 13'te ülkemizde hüminit yansıtmaları ölçülmüş kömürlerin lokasyonları ve hüminit/vitrinit yansıtma değerlerinin, Stach ve arkadaşları, (1982) tarafından verilen, DIN (Alman) ve ASTM (Amerikan) sınıflamalarındaki konumları gösterilmiştir. Bu sınıflamaya, Karayığit (1989) tarafından ölçülen ve %0.5.42 arasında maksimum yansıtma sahip Üst Karbonifer yaşlı, Zonguldak ve Amasra bitümlü kömürleri dahil edilmemiştir. Şekil 13'de görüldüğü gibi, özellikle Miyosen yaşlı Tunçbilek kömürünün yansıtması, Alt Eosen yaşlı kömürlerinkine büyük benzerlik göstermektedir. Diğer taraftan, Orta-Üst Miyosen yaşlı kömürlerin yansıtma değerlerinde, Aşkale kömürü hariç olmak üzere büyük bir benzerlik söz konusudur. Bu benzerlik, bu bölgelerde turba oluşumu sırasında ve/veya sonrasında, benzer jeolojik koşulların geliştiğini gösterebilir. Günümüzde, artık işletilmeyen Aşkale kömürlerinde yüksek yansıtma değerlerinin ölçülmesinin nedeni olarak fayların ısı etkisi gösterilmektedir (Doğru, 1978).



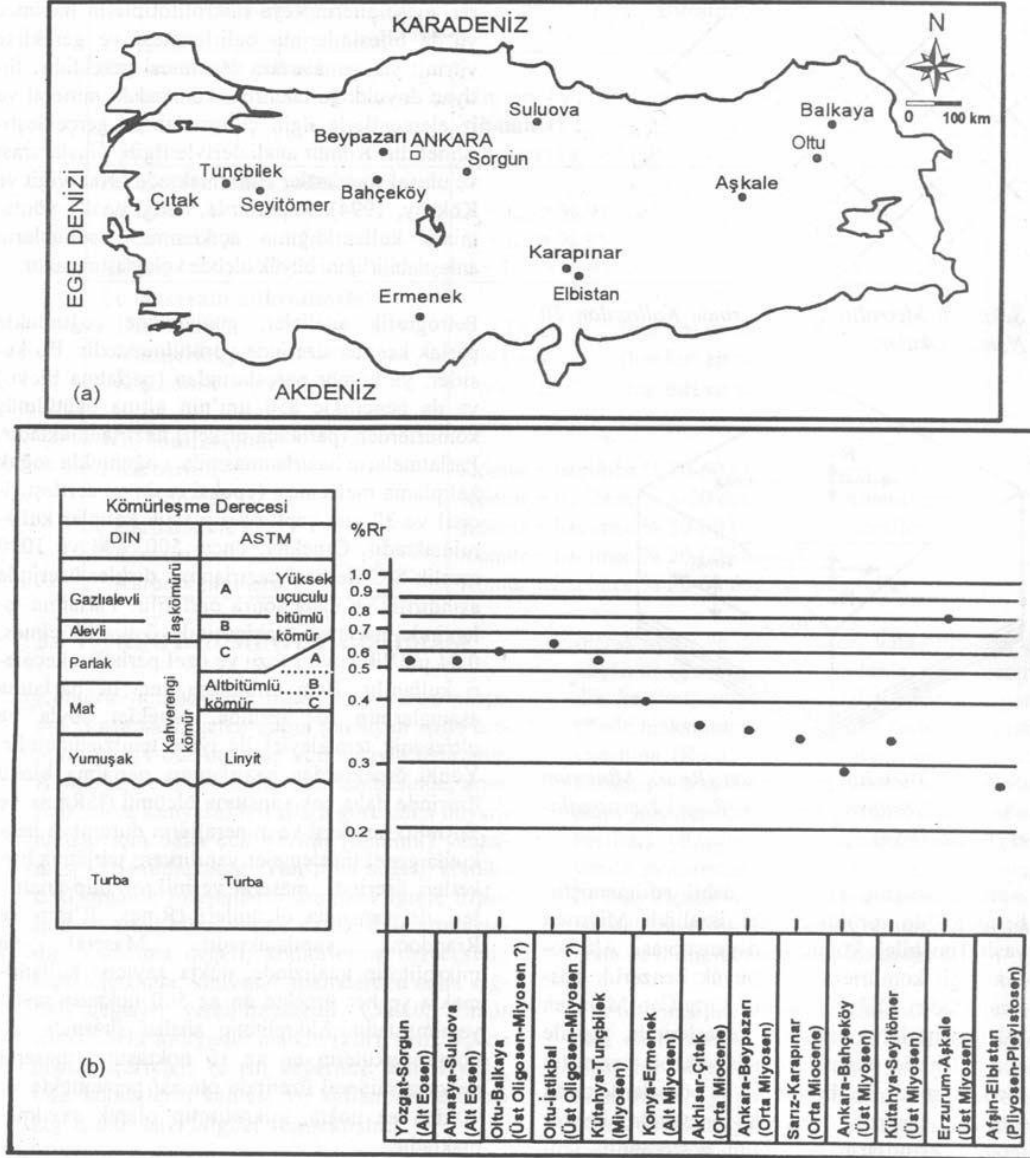
Şekil 12: Vitrinitin Maksimum (R_{max}), Minimum (R_{min}) ve Görünen Minimum (R'_{min})

PETROGRAFİK ANALİZ

Mikropetrografik çalışmalar, ya kömürlerin ekonomik değerinin belirlenmesinde kullanılacak kalite değerlendirilmelerinde ya da materyallerin jeolojik tarihçesini anlamak amacıyla yapılmaktadır (Ward, 1984). Bu amaçla, kömürleri oluşturan maserallerin veya mikrolitotiplerin hacimce yüzde bileşimlerinin belirlenmesi ve gerekirse vitrinit yansıtma değerlerinin ölçülmesi gereklidir. İhtiyaç duyulduğu takdirde, kömürdeki mineral ve iz elementlerle ilgili çalışmalar da gerçekleştirilmelidir. Kömür analizleriyle ilgili, uluslararası ve ulusal standartlar bulunmaktadır (Karayığit ve Köksoy, 1994). Raporlarda, hangi analiz yönteminin kullanıldığının açıklanması, sonuçların anlaşılabilirliğini büyük ölçüde kolaylaştıracaktır.

Petrografik analizler, günümüzde çoğunlukla parlak kesitler üzerinde yürütülmektedir. Bu kesitler, ya kömür parçalarından (parlatma bloku) ya da genellikle 850 mikrometrenin altına öğütülmüş kömürlerden (parlatma briketi) hazırlanmaktadır. Parlatmaların hazırlanmasında, çoğunlukla soğuk kalıplama malzemesi (epoksi resin ve sertleştirici) ve 30 mm çaplı özel plastik kalıplar kullanılmaktadır. Örnekler, önce, 500, 800 ve 1000 meslik SiC ile özel hazırlanmış diskler üzerinde aşındırılır ve daha sonra parlatılır. Parlatma işleminde, parlatma makinesinde, 3 mikronluk elmas, 0.04 jam'lik kuvars tozu ve özel parlatma keçeli kullanılır. Hem aşındırma hem de parlatma aşamalarının her birinde, örnekler suyla ve ultrasonik

temizleyici ile iyice temizlenmelidir. Yönlü örneklerden hazırlanmış parlatma bloku üzerinde daha çok yansıtma ölçümü (%Rmax ve %Rmin), maseral ve minerallerin durumları hakkında genel incelemeler yapılırken; parlatma briketleri üzerinde, maseral ve mikrolitotip analizleri ile yansıtma Ölçümleri (Rmax, R'min ve Rrandom) yapılmaktadır. Maseral ve mikrolitotip analizinde, nokta sayıcısı kullanılmakta ve her örnekte en az 500 noktada sayım yapılmaktadır. Mikrolitotip analizi sırasında, 20 noktalı okülerin en az 10 noktasının maseral ve/veya mineral üzerinde olması gerekmekte ve 10'dan az nokta, mikrolitotip olarak sayılmamaktadır.



Şekil 13: a- Ülkemizde incelenmiş bazı Tersiyer yaşlı kömürlerin dağılımı b-Bu kömürlerin vitrinit/hüminit yansıtmasına göre sınıflandırılması

Elde edilen sonuçlar yüzdeye çevrilerek hacimce yüzde bulunmalıdır. Analiz sonuçlarının hassasiyetini artırmak için her örnekte sayım sayısını 1000'e çıkarmak, örneklerden iki kesit hazırlamak ve örneklerin birini bir uzman, diğerinin de diğer uzman tarafından analiz edilmesiyle bulan sonuçların ortalamasının alınması gerekmektedir.

Yansıtma ölçümü, aynı damardan hazırlanmış örneklerde, 500 farklı noktada ölçüm alınarak yapılmalıdır. Farklı kömürlerin karışımı durumunda, ölçüm sayısı 2500 arasında olmalıdır.

KÖMÜR DAMARLARININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Turba oluşum süreçleriyle birlikte, kömürleşme ranklarının farklı evrelerinde kömürün ve kömür olmayan materyalin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kömürde ve hemen çevresinde bir dizi sıra dışı jeolojik özelliğin kazanılmasını sağlar. Bu özelliklerden pek çoğu ilk önce işletme sırasında madenciler tarafından fark edilmiş ve bunlara bugünkü jeolojik bilgilerimize uymasa da geleneksel bazı adlar verilmiştir. Bu özellikler arazide jeologlar tarafından gözlemlendiğinde açıkça tanınabilmeli, arama, işletme ve kullanım açılarından bunların önemi üzerine yorumlar yapılabilmelidir. Bunların bir alandaki oluşum şekilleri bir kez kavrandıktan sonra, başka alanlarda bulunmaları, yönlendirmeleri ve dağılımlarıyla ilgili öngörü şansına sahip oluruz ve böylece arama ya da işletme planlaması sürecini daha uygun bir çerçevede gerçekleştirme olanaklarına kavuşuruz.

Seviyeler (plies), bantlar (bands) ve arakesmeler (partings)

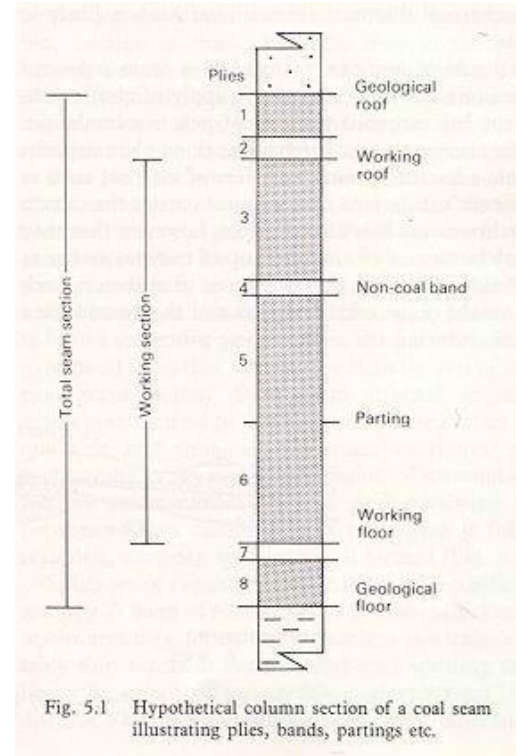
Dikine kesitinde bir damar homojen tabakalardan oluşabileceği gibi litolojik katmanlanma gösteren düzeylerden de oluşabilir. Daha önce özetlendiği gibi bir damar, farklı karakterlerde kömür seviyelerinden veya farklı litolojide kömür olmayan materyalden oluşabilir.

Kömür içinde önemli kalınlıktaki kömür dışı malzemeye bant veya arakesme adı verilir (Şekil 14).

Bunlar kömür damarını farklı seviyelere (benches ya da ply) ayırıyor. Bazen arakesmeler hakim litolojiye ve özelliğine göre isimlendirilir (kil bandı, kir bandı gibi). Bazı bantların litolojisi Almanca "tonstein" (kıltaşı anlamında) veya Amerikanca "flint clay" çakmak kili olarak isimlendiriliyor. Bunlar, en çok pellet benzeri, yumrulu, konkoidal kırılma gösteren, iyi kristalleşmiş kaolinitten oluşan kıltaşı için kullanılıyor.

Arakesme, kömür jeolojisinde iki farklı amaçla kullanılıyor.

- "band" sözcüğünün eşanlamlısı olarak, kömürlü seviyeleri birbirinden ayıran kömür olmayan materyali tanımlamak için
- Kömür olsun ya da olmasın tabakalaşmaya paralel, kolayca levhalara ayrılabilen bir düzlemi anlatmak için



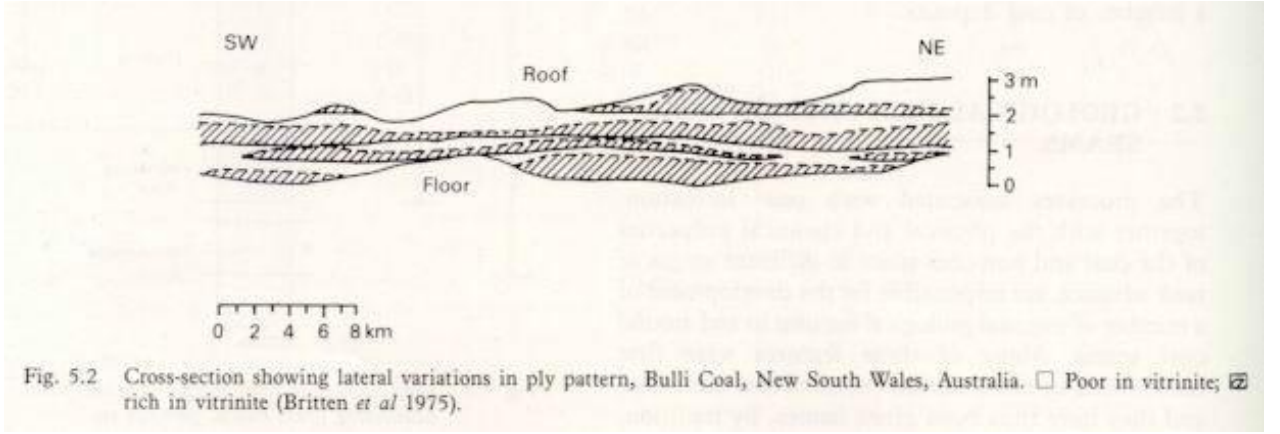
Şekil 14: Seviye, bant, arakesme vd. gösteren bir uydurma kömür damarı

Kömür olmayan malzeme bantları, kırıntılı getiriminin organik birikim hızını aştığı stratigrafik düzeyleri temsil eder. Bu düzeyler, komşu akarsulardan gelen taşkın çökellerinden veya kanal kenarı çökellerinden veya bataklık ortamı dışındaki bir kaynaktan türemiş volkanik malzemelerden oluşabilirler. Bazı durumlarda, bunların turbanın oksidasyona maruz kalması sonucu gelişen kimyasal süreçler sonucu ortaya çıkan yerinde mineral yığılımlarıyla da oluşması söz konusudur.

Kömür seviyelerinin farklı maseral bileşimi ve tipleri turbayı oluşturan bitki topluluğunun doğasına

ve turba oluşumu sırasında çökme ortamlarının değişimine bağlıdır. Oluşum sırasında birbiriyle yanal geçişli turba fasiyesleri zamanla, fasiyeslerin yanal yönde yer değiştirerek çökmesi yüzünden üst üste görülebilirler. Farklı fasiyes aralanmaları bazen, bataklık nitelik değiştirmesinden de kaynaklanabilir.

Farklı kömür seviyeleri veya kömür olmayan bantlar (non-coal bands) her zaman tekdüze bir şekilde yanal yönde uzayıp gitmezler. Şekil 15'te gözüktüğü gibi yanal yönde kamalanabilirler, merceksi hale gelebilirler ya da genişleyebilirler. Farklı kömür seviyelerinin yanal yönde izlenebilirliği özellikle işletme açısından oldukça önemli olabilir.

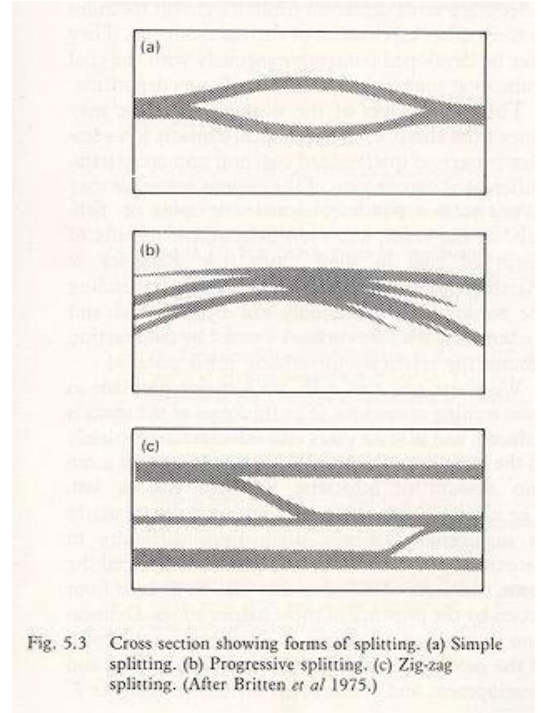


Şekil 15: Arakesme deseninin yanal yönde değişimi gösteren bir enine kesit

Kömürdeki kesmeler "splits"

Bir kömür damarı yanal yönde izlendiğinde bazen kısa mesafede bile araya kömür olmayan, kama şekilli bir sedimanın girdiği görülür (Şekil 16). Benzer şekilde bir bölümde kalın bir sediman katmanıyla ayrılan iki kömür damarı yanal yönde aradaki kömür olmayan seviyenin inceliyor kaybolmasıyla tek bir damara dönüşebilir.

Kömürdeki kesme desenleri oldukça büyük çeşitlilikler sunar. En basit örnek, yanal devamlı bir kömür damarı arasında mercek şekilli, büyük ölçekli bir sediman seviyesinin sokulmasıdır. Buna benzer mercekler kömür seviyesi boyunca dikey yönde sürekli tekrarlanırsa Şekil 16b'deki desen oluşur. Öte yandan, bir kömür damarının bir alt ya da üst seviyedeki damara bağlandığı durumlar da bilinmektedir (Şekil 16c). Bunlara zig-zag kesme (zig-zag splits) deniyor.



Şekil 16: Çatallanmayı gösteren enine kesit

Kömürlerdeki basit kesmeler turba oluşumuyla eşzamanlı bir kanal ya da göl gelişimi ile ilgili olabilir. Bu durumda, organik yığılma kısa bir süre için kırıntılı malzeme birikimi yüzünden duraksar, Ne zaman ki kırıntılı malzeme getirimi kesilir, organik malzeme birikimi, yani turba oluşumu yeniden başlar. Şayet kesmeler yeterince yanal devamlılığa sahipse farklı kömür seviyelerinin korelayonu amacıyla da kullanılabilirler.

Zig - zag kesmeler, bazı Avustralya kömür yataklarında bilinmektedir. Bunlarda kısmi tıkkılaşma yüzünden 45 dereceye varan eğimler bilinmektedir (Şekil 17). Zig- zag kesmelerin oluşum mekanizması Şekil 18’de gösterilmiştir.

Kesmeler kömür sahası jeolojisinde büyük öneme sahiptirler. Sahanın bir bölümünde gözlenen kalın işletilebilir bir damar başka bir tarafta işletilemez incelikte iki damara dönüşebilir. Başka deyişle kesmeler kömür yatağının işletilebilir rezerv miktarını düşürürler. Ayrıca kesmelerin yüksek eğimli yanal yüzeyleri açık işletmelerde yamaç kayması sorunlarına, kapalı işletmelerde duraysızlık sorunlarına yol açarlar.

Yıkanmalar (wasuts) ve tavan yumruları (roof rolls)

Yıkanma, tavadan kömür seviyesi içine sarkan, genellikle kumtaşı litolojisindeki mercekli geometrideki sediman kütleleridir. Plan görünümde uzamış ya da kıvrımlıdır. Bunlar, turba oluşumu sırasındaki akarsu kanalı etkinliğiyle oluşmuş kazınma-doldurma yapılarına karşılık gelir (Şekil 19).

Tek tek yıkanmalar boyut ve yanal devamlılık itibarıyla oldukça değişkendirler. Bazıları kömür tavanında küçük, yuvarlağımsı, kanal şekilli düzensiz killerdir. Bunlara “tavan yumruları” deniyor. Dar anlamda bir yıkanma değilse de ABD’de Karbonifer yaşlı Illinois havzasında km genişliğinde bir

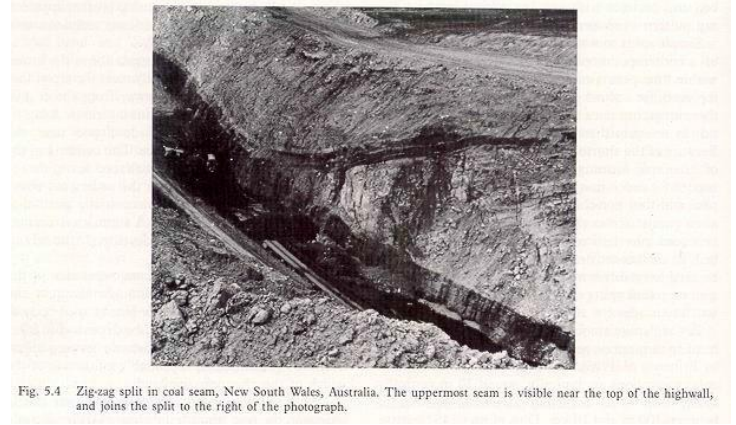


Fig. 5.4 Zig-zag split in coal seam, New South Wales, Australia. The uppermost seam is visible near the top of the highwall, and joins the split to the right of the photograph.

Şekil 17: Kömürde zig-zag çatallanma

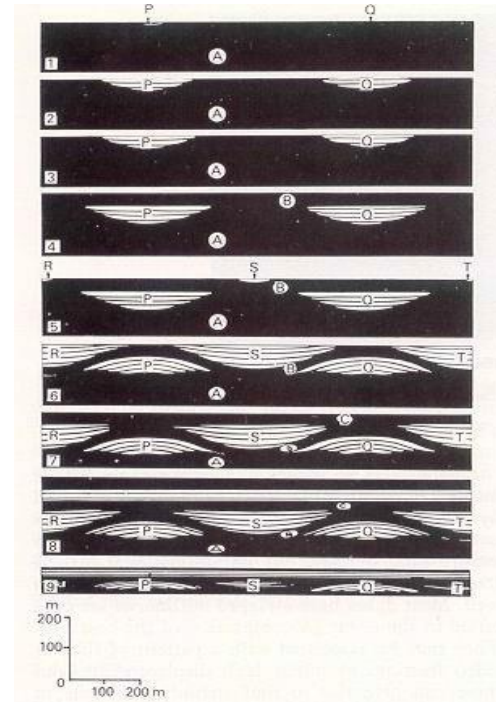


Fig. 5.5 Formation of zig-zag splits in a coal-bearing sequence by compaction of peat around clastic lenses (1) A thick peat bed, A, accumulates and is subjected to its first incipient sedimentation at P and Q (2) Peat bed A yields by compaction to successive sedimentation at P and Q (3) Peat bed A reaches its limit of compaction locally in response to sedimentation at P and Q (4) Peat growth is resumed and peat bed B emplaced. (5) Incipient sedimentation starts at R,S and T in zones of greatest compactive response. This has resulted in the channels repositioning themselves. (6) Sedimentation at R,S and T proceed to the limit of compaction locally levelling peat bed A and bending peat bed B and the sediments deposited within the beds P and Q (7) Peat growth resumes and peat bed C is emplaced. (8) Coal measure or other sedimentation proceeds steadily increasing load and general compaction. (9) Ultimate compaction of peat 10 : 1 and interseam sediment 3 : 2 together with coalification yields seam splits and mobile compaction structure. (Britten *et al* 1975).

mercekleri çevresinde turbanın sıkışması ile oluşumu

yıkanmanın yanal yönde toplam 275 km izlenebildiği belirtiliyor. Çoğu yıkanma yapısı kumtaşı ile doldurulmuş olmakla birlikte tabanda kömür çakılları veya kaya çakıllarından ibaret bir konglomeratik düzey bulunabilir. Yıkanma dolguları turba oluşumuyla eşzamanlı olduğu gibi daha sonra da gerçekleşebilir.

Yıkanmalar ve tavan yumruları işletmelerin ana problemlerindedir. Bu yüzden ocaklarda işletilebilir kalınlık düşer.

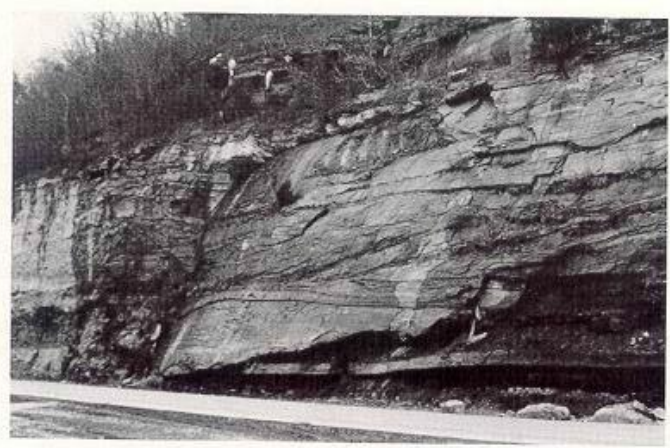


Fig. 5.6 Washout structure in a coal seam, Kentucky, U.S.A.

Taban yumruları (floor rolls)

Taban yumruları, damar tabanından kömür içine sokulan ince uzun, kenarları az çok birbirine paralel yuvarlağımsı sediman kütleleridir. Tıpkı tavan yumruları gibi bunlar da kömür kalınlığını azalttıklarından istenmeyen özelliklerdir. İşletme güçlükleri nedeniyle, örneğin belirli kalınlıkta bir aynanın çıkarılmasının zorunlu olduğu durumlarda kömürün seyrelmesine yol açar.

“Kaya topları”, “jilet sırtı”, “at sırtı” gibi adlarla da bilinen taban yumruları bazı Amerikan ve Avustralya kömürlerinde bilinmektedir. Enine kesitlerinde düonik ya da mercekseldir, çoğunlukla 3 m boyunda, 25 m genişliğinde ve 600 m kadar genişliktedir. Yumruyu oluşturan malzeme kömür tabanındaki malzemedir farklıdır ve litolojisi kumtaşından demirli şeyle ve hatta organik çamurtaşına kadar değişebilir. Kömür tabanı ile yumru arasında keskin bir kayma yüzeyi (slickenline) gözlemlenebilir. Bazen bu iki litoloji ara tabakalı olarak gözlemlenebilir.

Taban yumruları, çoğunlukla alttaki katmanların kömür tabakası içine, ya tektonik kuvvetler etkisiyle ya da killerin şişmesi yüzünden intrüzyonla (sokulmasıyla) ile açıklanıyor. Ancak bazı durumlarda turba çökelişi sırasında ortama kırıntılı malzeme akımıyla ilişkilendiriliyor.

Kırıntılı daykları ve diğer enjeksiyon yapıları

Kırıntılı daykları bir başka birimin tabakalaşma düzlemlerini kesen kama veya levha şekilli sedimanter malzemedir (Şekil 20). Kömür içinde bulduklarında çoğunlukla benzer litolojideki bir tavan kayacı ile birleşirler ve enjeksiyon zonunun üzerinde kısmen birleşebilirler. Bazı durumlarda sokulum (intrüzyon) kömür tabanı ile birleşebilirken bazı durumlarda intrüzyonun kaynağı hiç anlaşılmayabilir.

Kırıntılı malzeme daykı kömür damarına dik olabileceği gibi eğik olarak da gelebilir. Tek tek dayklar bir kaç mm kalınlıkta ince filmlerden 1 m hatta daha kalın ana kütlelere kadar değişebilir. Bazı alanlarda bu kütleler yanal yönde dendritik (dal şekilli) veya düzensiz yapılar sunarak 1 km’den fazla izlenebilir.

Şekil 19: Bir eski akarsu kanalının kazınmasıyla oluşan yıkama

Kırıntılı daykların çoğunlukla turba veya daha yüksek ranklı kömürlerdeki çatlakların genellikle kömürün üstündeki, bazen de altındaki sedimanlarla dolmasından kaynaklandığı düşünülür. Dolgu malzemesi genellikle kum veya kildir, bazen intraformasyonel breş parçaları veya kömür parçaları da dolgu malzemesine katılırlar. Çoğu daykın dış kenarları tırtıllıdır veya ana kayadaki tıkklaşma nedeniyle bükülmeler gösterir. Bunlar kayma yüzeylerinden veya küçük faylardan kaynaklanabilir. Bunlar ciddi işletme problemleri ortaya çıkarırlar.

Bazı sahalarda levhamsı kırıntılı dayklarından farklı olarak tavan kayaçlarının yuvarlağımsı sokulumları bulunabilir (Şekil 21). Bunlar kesit görünümünde genellikle elips görünümlüdür. Genişlikleri 30 cm ve kalınlıkları kömür damarınıniki kadar olabilir.

Klitler (cleats)

Kömürdeki, özellikle de bitumlu kömürdeki kırılmaya klit adı veriliyor. Bunlar çoğunlukla damarın tabakalaşmasına dik yönde gelişen paralel çatlak takımları ile

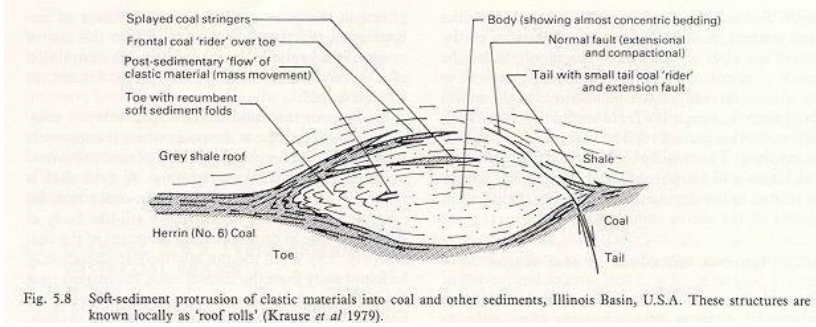
temsil ediliyor. Bu çatlaklar kömür olmayan tabakalardakilere nazaran genellikle daha sık olarak bulunuyor. “Alın kliti” (face cleats) olarak isimlendirilen bir çatlak takımı genellikle diğerlerinden daha baskındır ve bir kaç metre kadar izlenebilir. “Taban kliti” –butt cleat” alın klitine yaklaşık dik açıyla gelişir, ancak bunun çatlakları daha kısadır ve alın klidi çatlaklarında sonlanmak eğilimindedir. Klit aralıkları 1 mm’den daha kısa aralıklardan 30 cm aralıklara kadar değişebilir. En geniş klit aralıklarına mat veya şeylli aratabakalarda rastlanırken en dar aralıklar tek tek vitren bantlarında izlenirler. Ayrılmış kömür damarları ve kömür olmayan kütle içinde kömürleşmiş bitki kırıntıları bile ana kömür tabakalarıyla aynı doğrultuda klit gelişimi gösterirler. Klit düzlemleri çoğunlukla mineral madde ve karbonat, kil, sülfat veya sülfat bileşikleriyle doludur.

Klitler, açığa çıkarılan kömürün kolayca ayrılabilceği bir dizi düzlemi teşkil ettiğinden, özellikle alın klitlerinin yönlendirmeleri, elle yapılan yeraltı maden işletme planlarını belirleyen önemli etmenlerden biridir. Bu durumda çalışma alını (yani ocak ilerleme cephesi) alın klitine paralel gelecek şekilde ayarlanır; yani ilerleme bu çizgiye dik olarak gerçekleşir.



Fig. 5.7 Clastic dykes in a bituminous coal seam, Utah, U.S.A.

Şekil 20: Bir bitumlu kömür damarında kırıntılı dayka



Şekil 21: Kömür damarı içine yumuşak sediman sokulması

Klit yüzeyleri, uygun koşullarda su veya gazın dolabileceği önemli miktarda boşluk da içerebilirler. Tek tek kırık takımlarının aralıkları ve yanal yöndeki uzunluklarının farklı olması nedeniyle, işletme sırasında belirtilen türde akışkanların çatlaklardan kaçışı veya işletme öncesi kasıtlı olarak boşaltılmaları yönlerine göre

büyük değişiklik gösterebilir. Klit desenleri aynı zamanda yeraltında kömür veya gaz patlamalarıyla da bir şekilde ilişkili olabilir.

Klit yönelmeleri alt ve üstündeki kayalarda bulunan çatlak sistemleriyle yakın bir ilişki içindedir. En azından bazı arazilerde komşu kayalardaki çatlak sistemleri kömürdeki klitlerin yönelmesinin tahmininde kullanılabilir.

Alın klitleri genellikle bir bölgede maksimum sıkışma paleostresine paralel düzlemde gerilme kırılanması sonucu oluşuyor. Bazı durumlarda kesme yenilmesi gibi kuvvetler de etkin olabiliyor. Taban klitlerinin kökeni tam olarak anlaşılacak şekilde birlikte bazı araştırmacılar bunların damarın çökme ve erken kömürleşme tarihiyle ilişkili olduğunu belirtiyorlar.

KÖMÜR DAMARI İLE İLGİLİ ENDER KAYAÇ TIPLERİ

Şeyl ve kumtaşı gibi kömürle sıkça ilişkili olan, iyi bilinen kayalardan farklı olarak, öyle kayaç türleri bulunmaktadır ki bunlar çok sıradışı oluşumlardır ve kömür damarları ile ilişkili olarak bulunurlar. Bunlar, **kaolinitçe zengin malzemeler** (çakmak kili veya taban kili de deniyor), **silisli malzemeler** (çört veya ganister de deniyor), **demirli çökeller** (sideritik çamurtaşı veya demirtaşı) olarak 3 ana gruba ayrılabilir.

Kaolinit kilttaşları: Alışılmadık sertlikte, masif, büyük ölçüde kaolinitten ibaret olan bir malzemedir. Bunlar çakmak kili veya **tonstein** adlarıyla da biliniyorlar. Çok farklı dokularda gözlenebilir. Örneğin:

Breşik görümlü: Eşyaşlı, köşeli, yer yer bir kaç cm çaplı kilt taşı parçalarından oluşur.

Pelletimsi: Malzeme, yuvarlaklaşmış kilt taşı tanelerinden oluşur.

Oolitik: Konsantrik (iç içe halkalar şeklinde), yuvarlak kilt taşı tanelerinden oluşur.

Masif: Hiç bir iç yapı göstermezler.

Kaolinit kilt taşlarının oluşumunu açıklamak için iki hipotez ileri sürülmüş durumdadır.

Otokton köken: Kaolinit kilinin kömürün oluştuğu bataklık içinde, veya buna benzer bir ortamda volkanoklastik, epiklastik veya biyoklastik malzemenin kimyasal ve biyokimyasal alterasyonu sonucu oluştuğunu ileri sürüyor.

Allokton köken: Bu, kaolinitin turbanın dışında bir yerlerde oluştuğunu ve sonra bataklık ortamına taşınıp geldiğini ileri sürüyor.

Taban kayaçları ve taban killeri (seat rocks and underclays)

Kömürün hemen altındaki kaya türleri pek farklı olabilmektedir (örneğin şeyl, çamurtaşı, kireçtaşı, kumtaşı). Bu tabakalar çoğunlukla tabakalaşma göstermezler, bitki kök izleri ve kayma yüzeyleri içerebilirler. Çoğu açık renklidir. Bu litolojiler kömürün tabanında bulduklarından ve bitki kök izleri içerdiklerinden bunlara taban kayacı adı veriliyor.

Taban kayaçları kuvars kumtaşı ve silttaşından kaolinit kiltaşlarına kadar değişebilir. Çoğu sahada taban kayacı plastik killerden oluşur.

Kömür Topları (coal balls)

Kömür damarı içinde bulunan küremsi veya düzensiz şekilli mineral kütleleridir. Çoğunlukla kalsit, dolomit, siderit ve piritten ibarettirler. Yer yer zonlanma gösterebilirler. Piritçe zengin olanlara **kükürt topları** adı verilir. Kömür yumruları içinde iyi korunmuş bitki kalıntılarına sıkça rastlanır. Bakteri etkisiyle kısmen bozunmalarına karşın bunların tıkklaşma sürecinden fazla etkilenmedikleri gözlenir. Bu yüzden paleobotanik çalışmalar için uygun malzemeleri teşkil ederler.

Tıkklaşmadan fazla etkilenmemeleri, diğer taraftan bunların daha turbalaşma sürecinde mineral madde yığışımıyla geliştiklerini göstermektedir. Bazı araştırmacılar içlerinde denizel organizma kalıntıları gözlemlediklerinden kömür toplarının bir turba üzerine deniz sokulmasıyla ilişkili olduğunu belirtiyor.

KÖMÜRÜN VE KÖMÜR İÇEREN ÇÖKELLERİN SEDİMANTOLOJİSİ

Kömür jeolojisi üzerine çalışmalar, genelde, enerji krizi ile birlikte petrol talep güçlüklerinin bir sonucu olarak atılım sağlama olanaklarına kavuşuyor. 1970'lerin sonlarındaki enerji krizi ile birlikte kömür jeolojisi üzerine çalışmalar benzer bir rotayı izlemiştir. Bu zamanda kömür ve kömür içeren çökellerin çökme ortamları ile ilgili makalelerin sayısı umulmadık şekilde artış göstermiştir. Bu konudaki tek uluslararası periyodik yayın "International Journal of Coal Geology" bu koşullar altında 1980'de basılmaya başlıyor. Size bazı makalelerini verdiğim "Coal and coal-bearing strata" bir simpozyum bildiriler kitabı olarak 1986'da basılıyor.

Kömürün hangi ortamda ve hangi özgün biyo-fizikokimyasal koşullar altında çökeldiği kömürün kalitesini, kullanım olanaklarıyla sınırlarını büyük ölçüde belirlemektedir. Kömürün çökme ortam koşullarını sedimantoloji dalı fasiyes analizi çalışmaları ile ortaya koyar. Fasiyes, en genel anlamda, belirli özelliklere sahip bir sedimanter kayaç kütlesi için kullanılır (Reading, 1986). Fasiyes kavramı, ilk kez kırıntılı kayaçlara 1950'li yıllarda uygulanmıştır. Kavram daha sonraları geniş kullanım yelpazesine kavuşmuş, karbonat mikrofasiyesleri, evaporit fasiyesleri gibi silisiklastik olmayan kayaçlar için de kullanılmıştır.

Fasiyes kavramının kömüre uygulanması günümüze kadar ancak sınırlı ölçüde gerçekleşebilmiştir. Çoğu çalışma kömürün bir tek fasiyesi duruma göre biyofasiyesi, palinofasiyesi veya petrofasiyesi inceleme amacı güdüyor. Ender olarak da entegre fasiyes çalışmaları gerçekleştirilmiş durumda. Bu entegre fasiyes çalışmalarından biri Okefenokee bataklığı (ABD) üzerine olanıdır. Burada turbayı oluşturan bitki türlerinin saptanması için mikrotome çalışmaları yapılıyor. Turba tiplerini ve ilgili litolojileri belirlenmesi için ölçülü kesitler alınıyor. Sonraları Barber (1981) İngiltere'de modern turbaları çalışıyor. Özellikle Everglades (ABD)'teki çalışmalar polen birliktelikleriyle turba tipleri arasında sıkı bir ilişki olduğunu gösteriyor. Petrografik bileşimle palinoflora arasında da sıkı bir ilişkinin varlığı belirleniyor. Kuzey Amerika kömürlerinde (Nova Scotia'da) petrografik özellikleri temelinde farklı fasiyesler ayrılıp bunların bitki tip ve görece su değişimleriyle ilişkisi inceleniyor.

Kömürler, jeolojik olarak makroskopik özellikleri temelinde tanımlanıyorlar. Kömürde litotipler, normalde maseral bileşimi veya kömürün genel dokusu dikkate alınarak ayırtlanıyor ve bu kavram kömürdeki fasiyes kavramıyla örtüşüyor. Gerçekten Ting ve Spackman (1975) litotipi, "maseral içeriği, petrografik doku, spor ve mineral madde içeriği" şeklinde tanımlanıyor. Böyle çok parametrelili bir tanım kömürün eski çökme ortamları yorumunda oldukça yararlı olmaktadır.

Fasiyes Modelleri

Walker (1984)'a göre bir fasiyes modeli spesifik bir sedimanter ortamın özlü bir bilgisinden başka bir şey değildir. Böyle bir model;

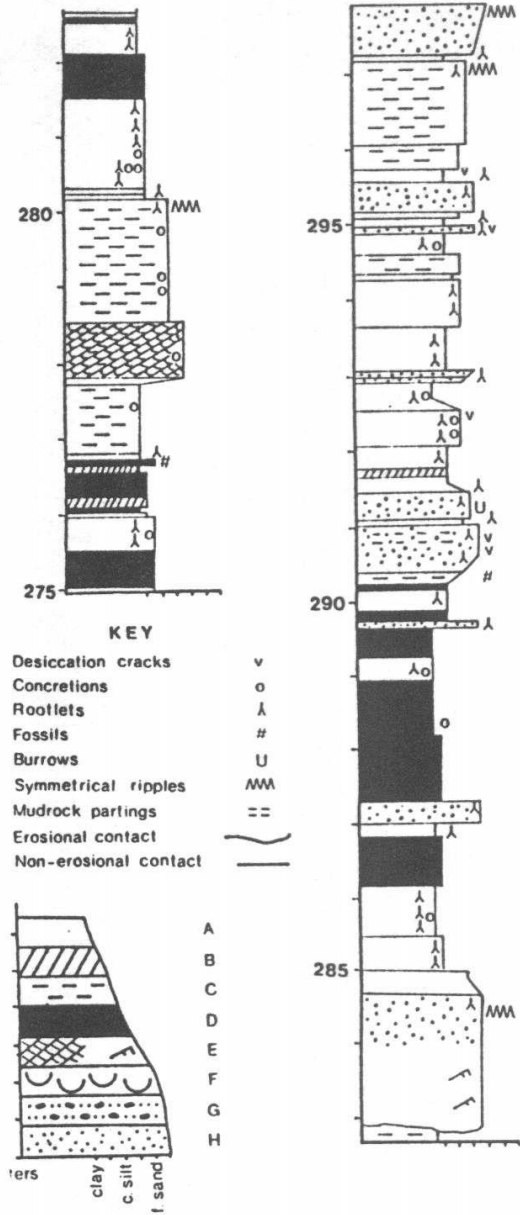
- Karşılaştırma amacıyla bir norm olarak kullanılabilmesi,
- Gelecekteki gözlemler için bir çerçeve sunmalı,
- Yeni jeolojik durumlarda öngörü gücüne sahip olmalı,
- Temsil ettiği ortam veya sistemin yorumlanmasında entegre bir temel teşkil etmelidir.

Kömür fasiyes modelleri en genel anlamda kömür prospeksiyonunun yanı sıra işletme sırasındaki maden sahası problemlerinin çözümüne de yardımcı olabiliyor.

Şekil 22’de Nova Scotia’daki Karbonifer Port Hood formasyonunun bir bölümünü ölçülü kesiti gözüküyor. Böyle bir kesit başka yerlerden alınacak kesitlerle karşılaştırılabilir özelliğe sahiptir. Ayrıca bu kesit yardımıyla ortamsal bir yorum yapma şansına sahip olursunuz.

Kömür içeren istiflerin çoğunda kömür katmanı, basitçe “bataklık” denilip geçilir. Ancak bu seviye eski bataklığın geçirdiği evrime ilişkin bilgiler içermesine karşın bu konulara pek değinilmez. Öte yandan, palinolog, kömür petrografi ve jeokimyacıların kömür düzeyi üzerine çalışmalarında ise kömürün altında ve üstündeki sedimanlara hemen hiç bulaşılmaz. Aslında bir kömür jeolojisi çalışmasında izlenmesi gereken yol kömürün fasiyes özellikleri ile altındaki ve üstündeki birimlerin de ortamsal olarak birlikte, entegre olarak çalışılmasıdır.

Kömürün kendi içindeki fasiyes değişimleri (ne yazık ki bu konuda fazla çalışma bulunmuyor) farklı kömür çökeltme ortamlarının zamanla evrimi açısından büyük önem taşıyor. Buna **bataklık tiplerinin evrimi** deniyor (Romanov, 1968).



Şekil 22: Kömür içeren bir sedimanter istifin tipik bir logu

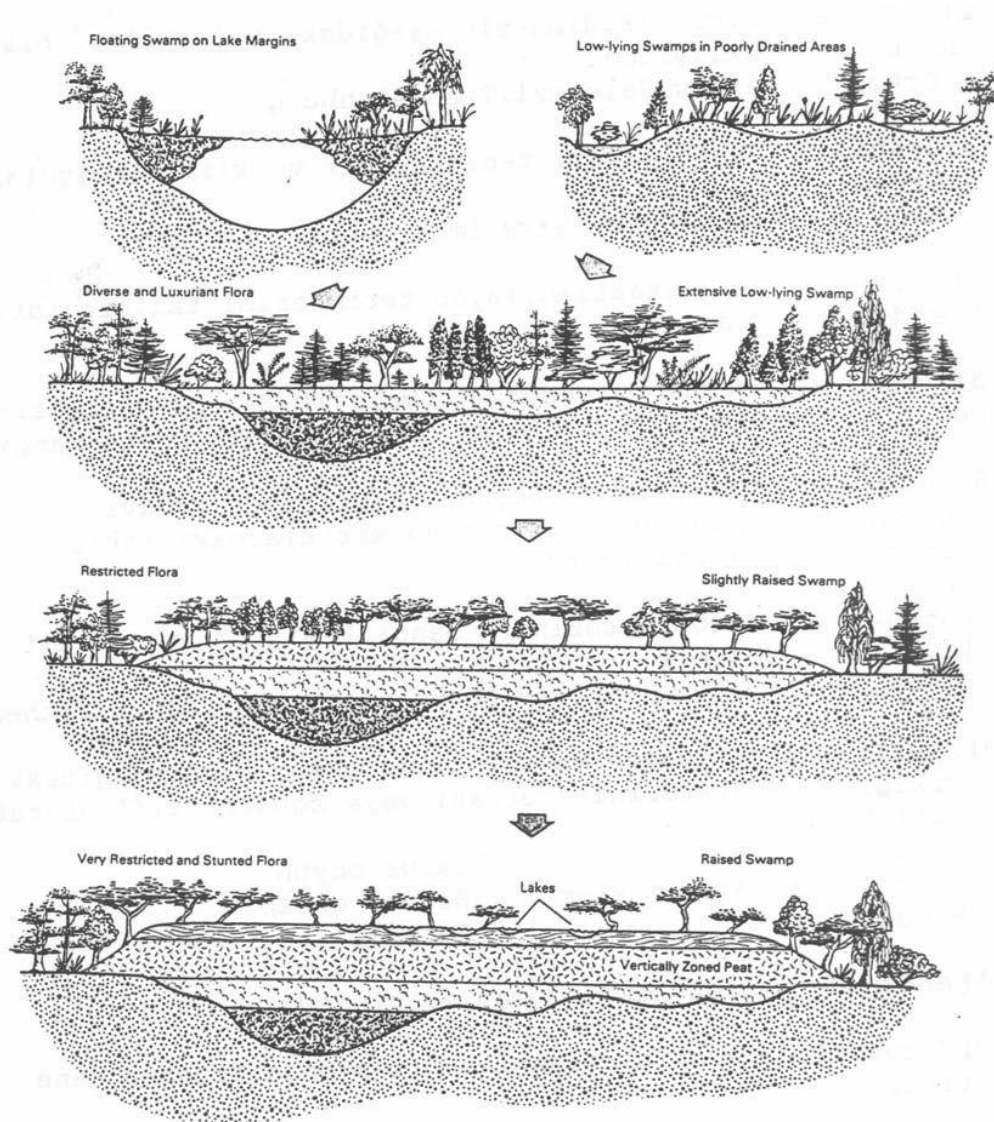
BATAKLIK TIPLERİ

Bataklıkları iki temel kritere göre sınıflamak mümkün gözükmemektedir. Bunlardan ilki olan hidrolojik kriterler bataklıkları, bataklık bitkileri besleyen mineral madde kaynaklarına göre reotrofik (yani akışlarla beslenen; rheotrophic) ve ombrotrofik (yağışlardan beslenen; ombrotrophic) olarak gruplamak mümkündür. Besleyici mineral maddesi bol bataklıklara ötrofik (eutrophic), orta düzeyde olanlara mezotrofik ve fakir olanlara oligotrophic (oligtrophic) bataklık deniyor.

Kısmen hidrolojik özellikler tarafından belirlenen morfolojik kriterlere göre bataklıkları;

- Yüzen bataklıklar (floating mire)
- Alçak bataklıklar (loying mire)
- Yükselmiş bataklıklar (raised mire) olarak sınıflıyoruz (Şekil 23).

Turbaların oluştuğu bataklıklar çoğunlukla göllerin veya kötü drenajlı alanların dolmasından oluşuyor.



Şekil 23: Bataklık tiplerinin evrimsel dizilimi. En sonunda belirgin turba zonasyonu gösteren yüksek bataklıklar oluşur.

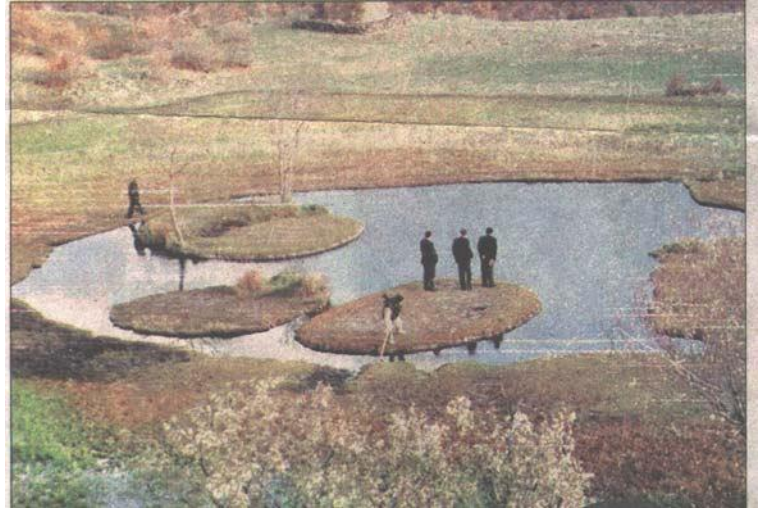
Çukur alanları kaplayan bir göl organik çamurların (gitya) ve yüzen bataklıkların üst üste

birikimiyle zamanla sığlaşabiliyor ve bir alçak bataklığa dönüşüyor. Turba genellikle geçirimsiz olduğundan bir süre sonra su birikimi artıyor, bu ise turbalığın yanlamasına hızla genişlemesine yol açıyor. Alçak bataklıklar şayet bölgede yağış/evaporasyon oranı uygun ise çevredeki drenaj alanından yüksek besleyicili sular geleceğinden bitkisel gelişim açısından çok uygundur. Böylece bir süre sonra turbalık yüzeyinin yeni bitki yığılmasıyla birlikte çevreye göre yavaş yavaş yükselmesi gerçekleşiyor. Bataklık, yukarı doğru belli bir düzeye kadar kendi yeraltısuyu (YAS) seviyesine sahip olduğundan yükselmesini sürdürür. Turba seviyesi yükseldikçe YAS daha oligotrafik ve asidik hale geliyor. Bu koşullarda ise sınırlı türde ve güdük, bodur (iyi gelişmemiş) bitki türleri yaşayabiliyor.

Bir göl/turbalığın özetlenen bu morfidrolojik evrimi şu halde dikey yönde bir fasiyes değişimine ya da zonasyonuna yol açacaktır. Şimdi özetle bu üç ana bataklık türünü inceleyelim.

Yüzen bataklıklar (floating mire):

Bu tür bataklıklar kısmen sığ göllerde bulunuyor, bazen bunlara sallanan bataklıklar da deniyor (Şekil 24). Bu bataklıklarda kurak dönemlerde organik maddenin bozunması nedeniyle turba içinde gaz kabarcıkları oluşuyor. Normal, sucul koşullar yeniden geliştiğinde turba kesiti yüzer hale geliyor ve alttaki asıl turbadan kopuyor. Bu yüzen adalar üzerinde dönem dönem ağaçlar gelişebiliyor ve bunlar bazen göl tabanına kadar kök atabiliyor.



Şekil 24: Bingöl'ün Solhan ilçesinden küçük bir yüzen bataklık örneği

Güçlü rüzgarlarda, çoğunlukla sazlarla kaplı bu tür turba adalarının yer değiştirdiği gözleniyor. Yüzen bataklıklar en büyük taşkınlarda bile su yüzeyinin üstünde kaldıklarından düşük kül içeriğine sahiptirler. Ülkemizde Afyon-Bolvadin civarındaki Eber gölünde bu tür bataklıklar bilinmektedir.

Alçak Bataklıklar (loying mire)

Altındaki düzensiz bir temel topoğrafyası üzerinde turbanın çökeldiği, ve çökelinin yatay bir bataklık yüzeyine ulaşmak eğiliminde olduğu bataklıklardır. Alçak bataklıklar çoğunlukla biraz asidik (pH=4,,5), bitki mineral besinleri açısından zengin ve bu yüzden çok çeşitli bitki türlerini barındırır. Bu tür bataklıkların çoğu telmatik flora (yani sucul; kamış, nilüfer gibi) tarafından istila edilmiştir. Şayet turba ince ise sahip olduğu morfoloji alttaki topoğrafyayı da yansıtabilir. Alçak bataklıklar, şayet kırıntılı sistemlerden uzaktaysa düşük kül içeriğine sahip olabiliyor. Çoğunlukla kısmen yüksek asidite, taşkınlarla turbiyeye giren asılı malzemeyi daha turba kenarındayken topaklaşmaya (flocculation) zorladığından bu tür bataklıkların orta kesimlerinde gelişmiş turbalar genelde düşük kül içeriğine sahip olurlar.

Yükselmiş Bataklıklar (raised mire)

Bunlara bazen yüksek bataklıklar da deniyor. Bataklık üst yüzeyi en genel anlamda konvektir (Şekil 25). Konvekslik özellikle bataklığın kenar kesimlerinde çok keskindir. Yükselmiş bataklıklarda yegane su ve besleyici kaynağı yağmur olduğundan yıllık yağışın buharlaşmadan yüksek olduğu iklimlerde bu bataklıkların gelişimi daha çok mümkündür. Bu yüzden bu tür turba soğuk, ılıman ve tropikal alanlarda yaygındır.

Yükselmiş bataklıklar oldukça asidiktir ve suları bitki besinleri açısından fakirdir. Bu kategori de de bitkisel yığışım sellenme düzeyinin hep daha üstünde geliştiğinden oldukça kaliteli (fazla mineral madde içermeyen) kömür oluşumları gerçekleşir. Yüksek asitliğin değişik yollarla ortama giren silisiklastikleri çözerek uzaklaştırmasının da yüksek turba kalitesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

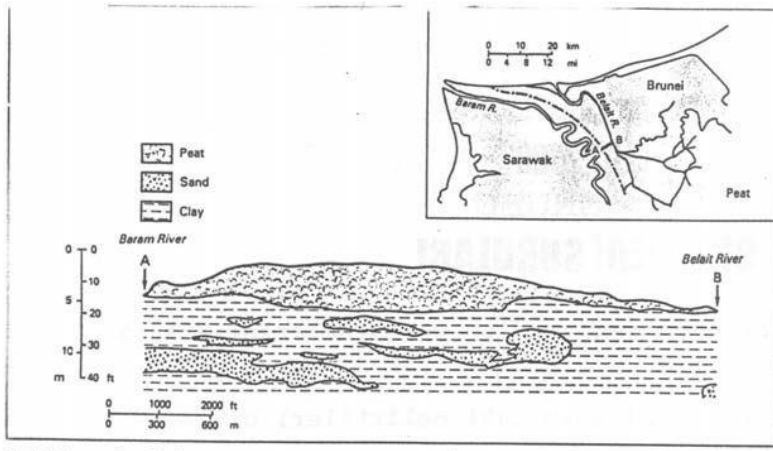


Fig. 10. Cross-section of sediments between two rivers in northern Borneo, showing the development of thick peat in a raised swamp. Section is based on 25 boreholes drilled during planning for a canal (from Wilford, 1961).

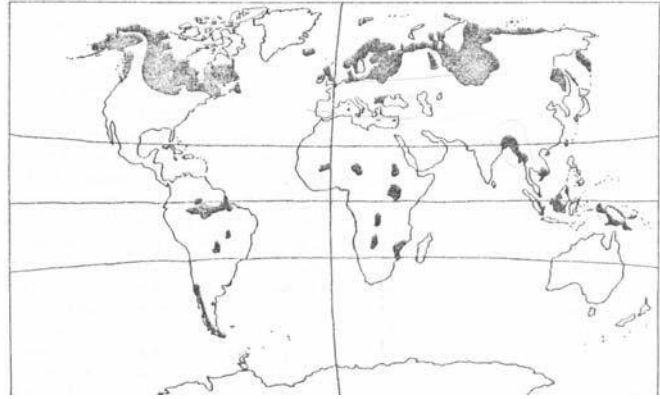
Şekil 25: Kuzey Borneo'da iki akarsu arasında kalın bir yüksek bataklık kesiti

TURBA BATAKLIKLARININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Turba, çok uzun zaman kömürün bir öncülü olarak algılanmıştır. Gerçekten, bugün kömür içinde gördüğümüz bir takım özelliklerin turba oluşum ortamından miras kaldığını artık biliyoruz. Turba, akarsu taşkın ovalarından göllere, deltalara ve kıyı düzlüklerine kadar çok değişik ortamlarda çökebilir. Bu sıkça rastlanan oluşum alanlarının dışında daha küçük, izole bazı alanlar da vardır ki (örneğin buzul morenlerinin geri kısımları, volkanik kraterler, kireçtaşı ve jipslerde erime boşlukları gibi), turba oluşumu buralarda da gerçekleşebilir. Bu oluşum ortamlarından bazıları aşınmanın egemen olduğu alanlardır, buralarda oluşan turbaların jeolojik kayda geçmeleri zordur.

Güncel Turba Oluşum Ortamları

Günümüzde bütün dünyada bataklıklar hatırı sayılır genişlikte alanlar kaplamaktadır (Şekil 26); ancak bunların çoğu, özellikle kuzey yarıkürede olanlar çoğunlukla Pleyistosen buzullaşmasının ürünüdürler. Bunların çoğu, geçmişteki yaygın kömür damarlarının oluşum ortamlarını yansıtmak, onların güncel eşdeğerleri olmak için pek küçük ve pek biricik örneklerdir. Eski ortamlara büyük paralellik sunan güncel ortamlar güncel sahil alanlarında, akarsu deltalarında veya bariyer adaları sahillerinde gözleniyorlar.



Şekil 26: Güncel turbalıkların dünyada dağılımı

Yine de güncel ortamları, eski kömür çökme ortamlarının analogları (benzerleri) olarak kullanmada bazı güçlükler bulunuyor. Bu güçlükler eski dönemlerin paleocoğrafik yayılımı (kara ve su kitlelerinin oranları ile fizyografileri), eski iklim koşulları ve bununla ilişkili olarak eski bitki toplulukları ile günümüzünkiler arasındaki büyük farktan kaynaklanmaktadır. Örneğin, günümüzde kıtasal kara parçaları büyük ölçüde su üstüne çıkmış bulunuyor ve dolayısıyla bataklıklar bu parçaların kısmen dar kenarları boyunca oluşabiliyor. Halbuki eski kömürlerin oluşum dönemlerinde kıtalar çok daha fazla su altındaydı ve sığ epikontinental alanlar çok daha genişti.

Turba gelişimini kontrol eden etmenler

Turba oluşumu, aşağıdaki koşulların yerine getirilmesini gerektiren basit ama duyarlı bir süreçtir.

- 1- En azından odunsu veya lifsi dokusu olan bitkilerin önemli oranda büyümesi
- 2- Organik bileşiklerin, oksidasyonla veya bakteriyel yıkımla engellenmesini sağlayacak yeterli oranda su kütlesinin varlığı
- 3- Turba gelişimi sırasında kırıntılı getiriminin olmaması

Bu koşullardan sonuncusu, bizzat bataklığı oluşturan bitkilerin doğal bir engel görevini üstlenmesi sayesinde çoğunlukla gerçekleşir. Su kütlesinin varlığı hem bitki yaşamı, hem de ölen bitkilerin büsbütün bozunmadan korunması açısından en kritik olan koşuldur.

Aluviyal ve deltayik alanlarda turba gelişimi

Gürbüz bitki gelişimi, yaygın su kitlesinin varlığı ve düşük kırıntılı getirimi koşulları modern deltalar ve aluviyal alanların belirli kesimlerinde sağlanabilmektedir. Delta ve aluviyal alanlardaki alt ortamlar şöyle sıralanabilir (Şekil 27).

- Akarsu ve dağıtıcı kanallar ve bunlar içinde veya kenarlarında yer alan barlar; kanalların kenarları boyunca uzanan yüksek alanlar (löveler), kanal kenarlarının taşkın sırasında yarılmasıyla oluşan taşkın düzlüklerine boşalan yarık çökelleri (splays).
- Kanallar arası ve dağıtıcılar arası alanlar; bunlar taşkın ovalarının göllerini, bataklık gerisini ve körfezleri içerir.

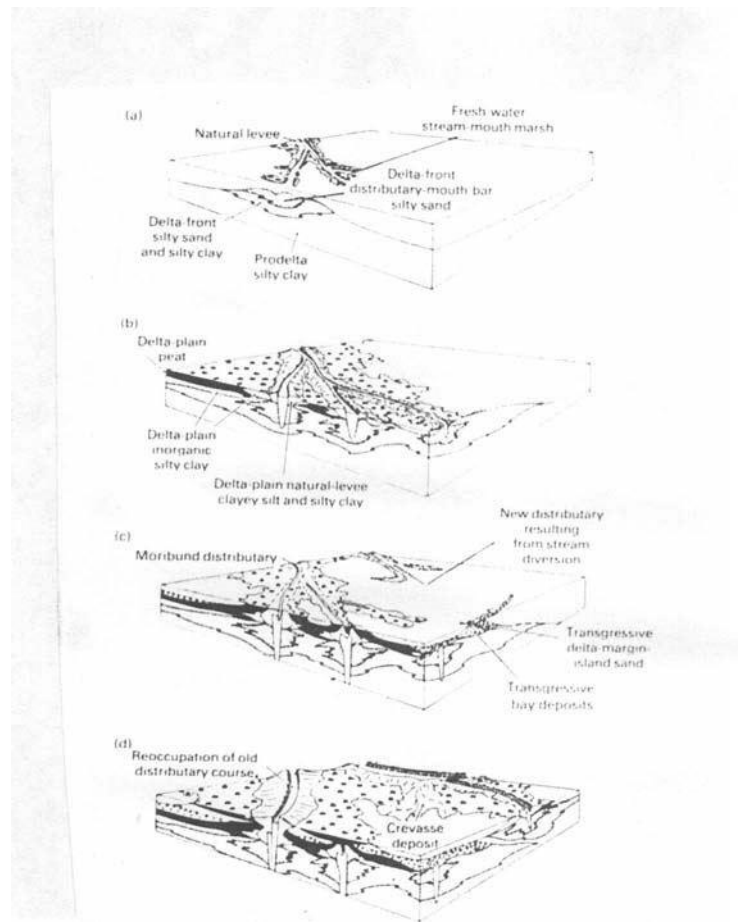
Bu iki gruptan ilkinde sıralanan alt ortamlar, çoğunlukla yüksek enerjili ortamları temsil ederler, su yüksek hızla akar. Buralar, yüksek kırıntılı taşınma ve çökeltilmesinin olduğu alanlardır. Su seviyesi değişimi büyüktür, bu ortamlar sıklıkla su seviyesinin üstünde kaldıklarından oksitlenmeye açıktırlar. Splaylerin sık sık taşkın düzlüklerine ana kanaldan malzeme taşınması, varsa turba gelişimini güçleştirir (sık ve kalın arakesmeler oluşturur) veya turba gelişimini büsbütün engeller. Splaylerin sıklığı ve kalınlığı kanal kenarının (löve) yüksekliğine bağlıdır.

Belirtilen ortamlarda asıl turba birikimi ikinci maddede sıralanan alt ortamlarda, özellikle kanallararası alanlarda, gerçekleşir. Buralar iyi drene olmazlar ve çoğunlukla alçak bir topoğrafya sahiptirler. Bu alanlarda turba çökelişiminin en büyük sıkıntısı, kanal kenarı yarmaları (splayler) nedeniyle kırıntılıların turbaya karışması ve tıkklaşmayla çökme yüzünden kanallararası alanların sualtı olma durumlarıdır.

Deltanın deniz ucundaki turbaların deniz suyu altında kalması yalnızca bitki gelişimini engelleyip turba gelişimini sonlandıramaz, aynı zamanda deniz suyu etkisiyle sülfid minerali oluşumlarına da yol açar.

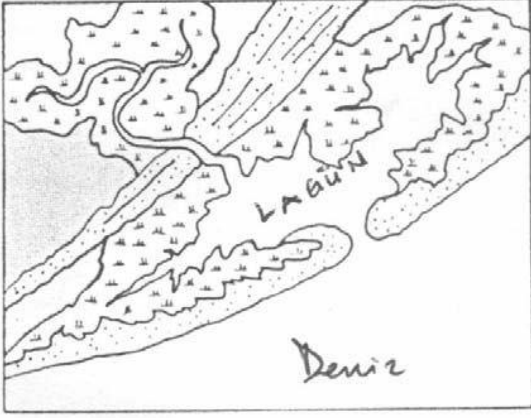
Bariyer Kıyı ovalarında (barrier coastal plains) Turba gelişimi

Büyük akarsu girişlerinin olmadığı kıyı alanları, kıyıya paralel deniz akıntılarının (longshore drift) taşıyıp çökelttiği kıyı kumlarıyla tipiktir. Deniz içinde, çoğunlukla kıyıya paralel veya onunla



Şekil 27: Delta ilerlemesi sırasında turba gelişimi

düşük açılı diller şeklinde biriken kumlu malzeme zamanla lagünler oluşturacak şekilde uzun



Şekil 28: İlerleyen bir kıyı bariyerinde turba gelişimi

bariyer adaları (barrier islands) şeklini alabilir. Bariyer adaları ve bunların kara tarafında lagünlerin oluşumu, bir ölçüde bölgenin maruz kaldığı gelgit akıntılarıyla da ilişkilidir. Gelgit aralığının düşük olduğu alanlar (mikrotidal alanlar) lagüner oluşuma yol açacak bariyer adalarının oluşumuna olanak sağlarken, büyük gelgit aralığının olduğu bölgelerde (makrotidal alanlar) oluşan bariyer adaları güçlü gelgit akıntıları yüzünden kesilmiş ve kötü gelişmiş olacaktır. Dolayısıyla lagün gelişimi sınırlı ve lagünün içi de yüksek enerjili ortamlardan ibaret olacaktır.

Lagün gelişiminin ileri evrelerinde lagünün ince taneli sedimanlarla dolmasına paralel

olarak sığlaşmayla birlikte lagünün kenarlarından itibaren turba gelişimi başlayabilir (Şekil 28). Böyle bir turba sistemi, gelgit aralığına bağlı olarak, irili ufaklı gelgit kanallarıyla kesilebilir. Gelişen turbalığın uzun ekseninin genelde kıyıya paralel uzanması beklenir.

Bazı güncel deltalarda da, dalga etkinliğinin gözlemlendiği alanlarda deltayı çevreleyen kıyı barları ve bunlarla ilişkili lagünler gelişebilir. Eski deltalarda oluşan kömürler için kıyı barlarının varlığı mutlaka gereklidir, jeolojik kayıta izlenmelidir.

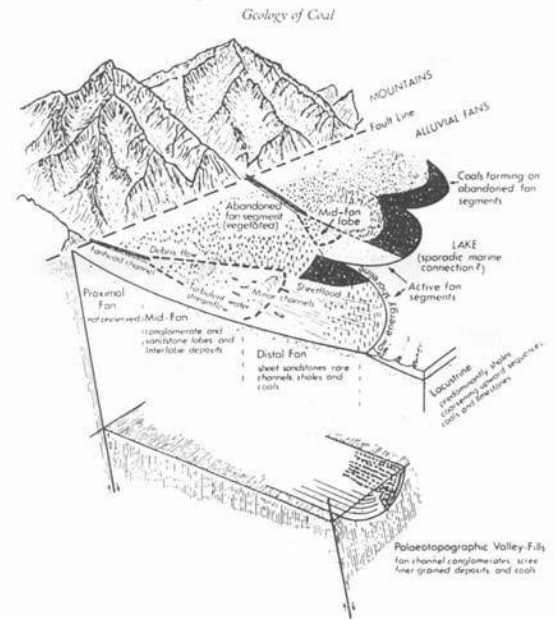
Alüviyal yelpazeler üzerinde turba gelişimi

Her ne kadar bitkisel gelişimin hızlıca oksitlenerek bozunmaya uğradığı alanlar olarak düşünülüyorsa da, alüviyal fanlar ve fan deltalar kalın turbaların çökeldiği alanlardır. Bu, özellikle yüksek enlemlerdeki fanlar için geçerlidir. Düşük enlemlerde, yani humid tropikal kuşaktaki fanlarda gelişmiş az sayıda küçük turba bataklıkları bulunabiliyor.

Alüviyal yelpaze ve fan deltalarda turba korunması, bu ortamların sürekli çökmesi (subsidence) nedeniyle bitkisel malzemenin yeni kaba sedimanlar altında kalmasıyla sağlanıyor. Şekil 29: Kömür ve ilişkili sedimanların çökelişi için

Alüviyal yelpaze ortamlarında turba çökelişi, ortam enerjisi ve çökelen malzemenin giderek azaldığı kenar ve distal kesimlerde gerçekleşiyor (Şekil 29).

Fan deltalarda, deltanın suya (deniz ya da göl) girdiği kesimde oluşan bataklık alanları bitkisel gelişim için uygun alanlardır. Ticari olarak önem taşıyan kömürlerin çoğu bu ortamda oluşmuştur. Benzer şekilde fan deltalarla ilgili lagünlerde de turba gelişimi gözleniyor. Loblararası alanlarla terk edilmiş lob yüzeyleri de turba birikim alanları haline gelebiliyorlar.



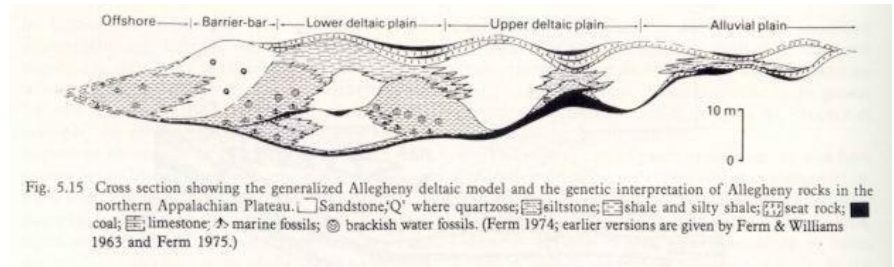
bir alüviyal yelpaze modeli

KÖMÜR İÇEREN İSTİFLERİN ÇÖKELME MODELLERİ

Güncel turba çökeltim ortamları ile eski kömürlü istiflerin litofasiyes birliklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi sayesinde eldeki bir kömür çökeltim ortamıyla ilgili, öngörü gücüne sahip sağlıklı modeller üretmek mümkün olabilmektedir. Bu modeller sayesinde sınırlı bilgiden yola çıkarak bir jeolog bir kömür damarının yerini, niteliklerini ve alt ve üstündeki tabakalarla olan ilişkilerini belli bir güvenilirlik içinde tahmin edebilecektir. Bu ise, arama çalışmaları sırasında damarın kalite ve yayılımının haritalanmasında, madencilik faaliyeti sırasında işletmede işe karışacak jeolojik özelliklerin konumu ve doğası konusunda oldukça ayrıntılı bilgiler sağlayacaktır. Ne yazık ki günümüzde bu tür genel bir model bulunmuyor, hatta özel alanlara uygulanabilecek genelde işe yarayan modeller de mevcut değildir. Aşağıda bazı çalışmalarda açıklanan kömürlü istiflere ilişkin bazı özellikler sıralanacak ve bazı sonuçlara ulaşılabilecektir. Bunlardan da anlaşılacağı üzere, eksikli de olsa bu tür bir model oldukça yararlıdır ve bu tür modellerin daha da geliştirilmesi için çalışmalar yapılmalıdır.

Allegheny Modeli

Bu model ilk kez geleneksel Amerikan siklotem (cyclothem) modeline bir yanıt olarak, Kuzey Appalaş platosundaki Karbonifer yaşlı Allegheny formasyonundaki litolojik değişim desenini açıklamak üzere 1963 yılında ortaya atıldı.



Şekil 30: Genelleştirilmiş Allegheny deltaik modelini gösterir enine kesit

Louisiana State University'nin lisans öğrencileri allegheny modelinin öngörü gücünü Amerika'daki başka kömürlü istifler üzerinde denediler ve başarılı oldular.

Kısaca özetlenirse, bu model, istiftteki yanal ve düşey değişiminin, çökeltim ortamlarının aluviyon ovasından yukarı ve sonra aşağı delta düzlüğüne ve oradan da bariyer gerisi kıyı denizine kadar zaman içinde değişimiyle açıklamaktadır (Şekil 30).

Anlaşılacağı üzere, Allegheny modeli, Amerika'da belli bir yöredeki kömür oluşumu ile ilgili bir istiflenme desenini model olarak kabul etmekte ve yer yer öngörü şansına sahip olmaktadır. Bunun nedeni, model içinde turba oluşum ortamlarına ilişkin evrensel bazı temaların varlığıdır. Bu evrensel temalar şöyle sıralanabilir.

Bariyer ve bariyer gerisi fasiyesleri

Bariyer ve bariyer gerisi kesim her ne kadar Allegheny formasyonunda pek az temsil edilmişse de, bunlar başka alanlarda iyi bilinen fasiyeslerdir. Bu sekans, büyük ölçüde kuvars kumtaşlarından ibaret bariyer kumtaşlarıyla başlar, gelgit deltası ve gelgit kanal çökelleri ile devam eder, bunu

yukarı doğru kabalaşan lagün çökelleri ve düzensizce dağılmış ince kömür damarları izler (Şekil 31). Bariyer kumtaşları deniz tarafına doğru kırmızımsıkahverengi msi/gri renkli şeyler ve denizel fosil içeren karbonat kayaçlarına geçiş gösterir. Kara tarafına doğru ise koyu gri, acı su fosilleri içeren lagün şeylerine geçiş gösterir.

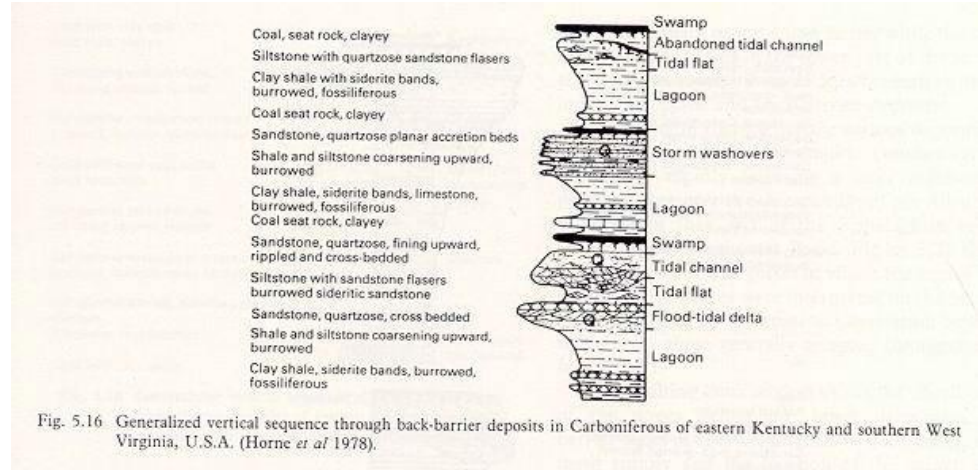


Fig. 5.16 Generalized vertical sequence through back-barrier deposits in Carboniferous of eastern Kentucky and southern West Virginia, U.S.A. (Horne et al 1978).

Şekil 31: Doğu Kentucy Karboniferinde bariyer gerisi çökellerinin genelleştirilmiş dikme kesiti

Üç farklı tür kumtaşı saptanıyor.

- 1- Düzlem tabakalı, oldukça yanal devamlı, üst kesimleri ripilli ve uygulu ortokuvarsitler. Bunların fırtınalar sırasında deniz tarafına yayılan kumlar olduğu düşünülüyor.
- 2- Kama şekilli, kara tarafına doğru eğimli düzlem tekne çapraz tabakalardan oluşan yer yer 6 m kalınlıkta ortokuvarsit kütleleri. Bunlar gelgit deltası çökelleri olarak yorumlanıyor.
- 3- Kanal dolgusu ortokuvarsitleri, yukarı doğru tane boyları küçülüyor, iki yönlü akıntı izleri taşıyorlar. Bunlar da gelgit kanalları olarak yorumlanıyorlar.

Bariyer gerisi alanlardaki lagüner çökeller çoğunlukla organik malzemece zengin koyu gri şeyler ve silttaşlarından oluşur. Bunları, doğrudan doğruya ince, yanal devamsız kömürler ve sideritik zonlar üzerler. Bu paketin tane boyu yukarı doğru incelererek kara tarafına doğru litik kumtaşlarına geçilir.

Aşağı delta ovası

Allegheny modelinde aşağı delta çökelleri yukarı doğru kabalaşan, kalınlıkları 15 m arasında değişen şeyl ve çamurtaşı sekanslarından oluşuyor (Şekil 32). Bu çevrimlerin yanal devamlılıkları ise 110 km kadar olabiliyor.

Bu çevrimlerin taban kesimlerinde koyu gri-siyah şeyler bulunuyor. Bunlar bolca denizel acısu fosili içeriyorlar. Bunları ripil marklı ve özellikle akıntı ripilli kumtaşları izliyor ki bunlarda yer yer kök izleri ve ince kömür damarları bulunuyor. Bu çevrimler dağıtıcı kanallar arasının zamanla dolup karlaşması ve akarsu alanı haline gelmesi olarak yorumlanıyor.

Yukarı delta ve aluviyon düzlüğü çökelleri

Yukarı delta ovası fasiyesleri başlıca aşınmalı tabanlı ve yukarı doğru belirgin tane boyu incelmesi gösteren merceksi kumtaşı kütlelerinden oluşur (Şekil 33). Bunlar 15 m kalınlıkta ve 1,1 km yaygınlıktadır. Bunlar tabanlarında bolca çakıl ve kömür kırıkları içerirler. Yukarı doğru kumtaşlarında bitki kök izleri ve tırmanan ripollar gözlenir. Bu çökellerin menderesli akarsular tarafından çökeltildiği düşünülür. Yukarı doğru geçilen ripplı ve bitki köklü kumlar kanal kenarı yüksekliklerini temsil ederler.

Söz edilen kumtaşları gri şeyl, silttaşı ve kömür ile ara tabakalıdır. Bu sonuncuların taşkın düzlüklerini temsil ettiği düşünülür.

Şekil 34, ilerleyen bir deltaik sistemin coğrafyada ve stratigrafik kayıta üreteceği değişiklikleri göstermektedir. Sonuçta ilerleyen bir deltaik istifin başlangıçtaki sığ denizel bir alanı giderek sığlaştırdığına ve sonra kara haline getirdiğine dikkat ediniz. Ayrıca, sonuçta oluşan stratigrafik kayıt genel olarak yukarı doğru kabalaşan bir niteliğe sahip olacaktır.

Allegeny modelinde temsil olunan en yaygın üç kömür çökme ortamından ayrı olarak Anadolu'da sıklıkla karşılaşılan şu kömür oluşum ortamlarından da söz edebiliriz.

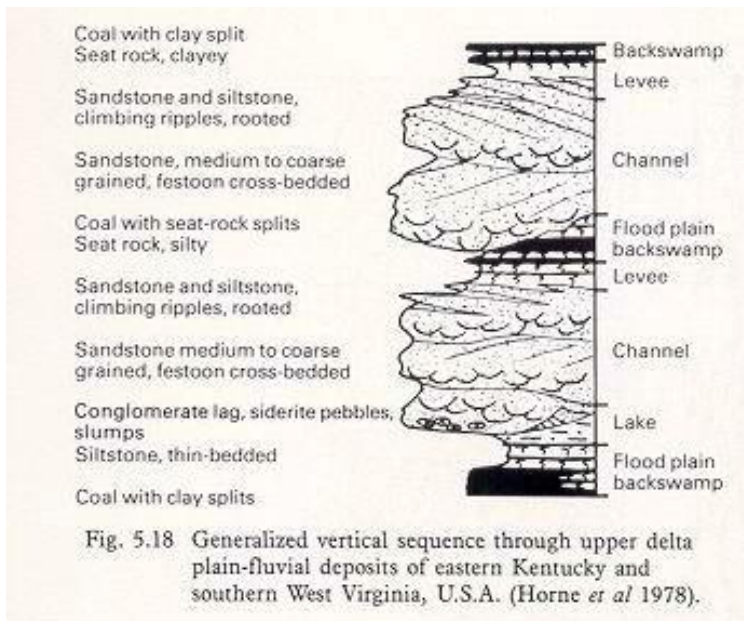


Fig. 5.18 Generalized vertical sequence through upper delta plain-fluvial deposits of eastern Kentucky and southern West Virginia, U.S.A. (Horne et al 1978).

Şekil 33: Doğu Kentucky Karboniferinde yukarı delta düzlüğü çökellerinin genelleştirilmiş dikme kesiti

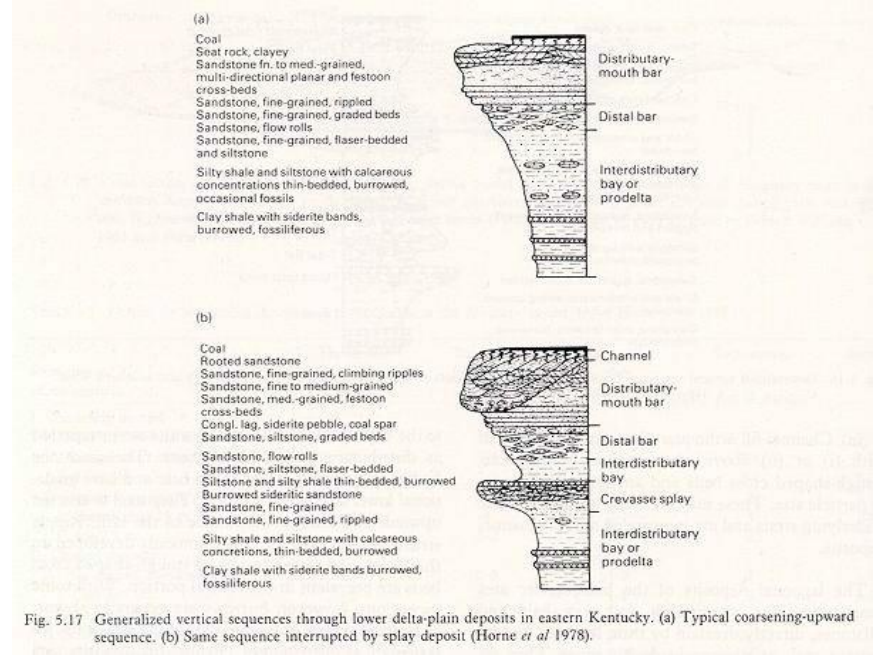


Fig. 5.17 Generalized vertical sequences through lower delta-plain deposits in eastern Kentucky. (a) Typical coarsening-upward sequence. (b) Same sequence interrupted by splay deposit (Horne et al 1978).

Şekil 32: Doğu Kentucky Karboniferinde aşağı delta düzlüğü çökellerinin genelleştirilmiş dikme kesiti

Tektonik kontrollü havzalarda karasal ortamdan göl ortamına geçiş zonunda ortaya çıkan turba gelişimleri: Hemen bütün batı Anadolu Erken-Orta Miyosen kömür havzaları (Yatağan civarındaki havzalar, Soma, Tunçbilek havzaları, doğuya doğru Çorum kuzeyindeki Dodurga ve komşu havzalar) hep benzer tektonik yerleşim ve dikine istiflenme karakteristikleri taşırlar. Tümünde alt kesimlerde kırmızımsı, sarımsı, kahverengimsi renkli çakıltaşı ve kumtaşlarının baskın olduğu karasal çökeller yer alır.

Bunlar üzerine ince gri kil seviyelerini doğrudan kömür izler. Kömür kalınlığı bazı havzalarda (örneğin Dodurga-Çorum'da) ciddi arakesmeler olmaksızın 30 m kalınlığa ulaşabilir. Kömürü bol gastropod dolgululu gölsel çamurtaş ve yer yer kireçtaşı düzeyleri izler. Kömürün üstüne gelen bu seviyelerde yer yer çok ince laminalı bitumlu şeyl seviyelerine rastlamak mümkündür. Bazı sahalarda (Göynük Miyosen havzası) kalorifik değeri 7000 cal/gr'a ulaşan ve çok ciddi bir rezerv oluşturan bu bitumlu şeyllerin termik santralde kömürle birlikte yakılabilmesi için bazı projeler bile geliştirilmiştir.

Anadolu'nun biricik Eosen yaşlı kömür sahalarını içeren bölümü, Ankara kuzeyinde Çankırı'dan Tokat'a kadar olan alan: Bu alanda, faelta yerleşiminde pek çok işletilebilir kömür damarı mevcuttur. Faeltalar, aluviyal yelpazelerin doğrudan durgun bir su kütleline (göle ya da denize) girdiği çökeltme ortamlarıdır. Buna ilişkin İskilip kuzeyinden (Çorum) sınırlı bir kesit alttaki şekilde verilmiştir.

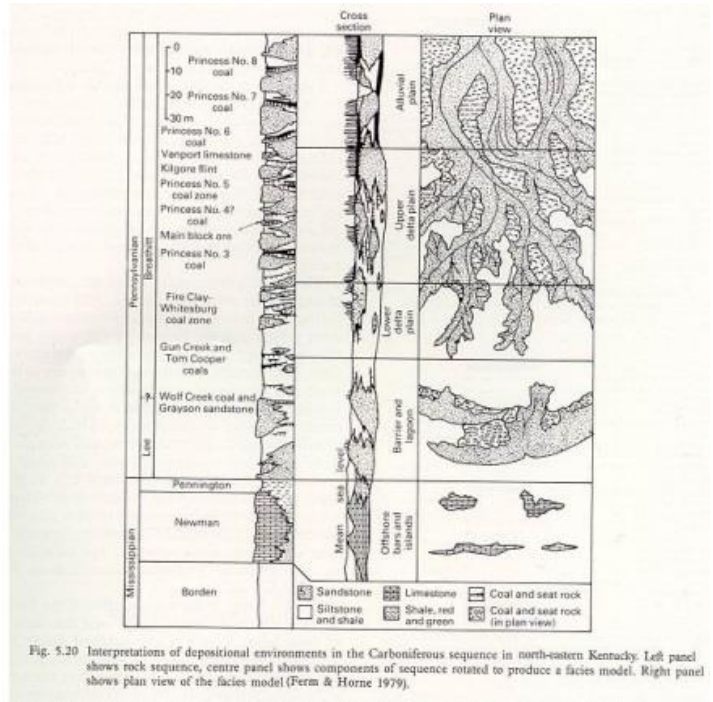


Fig. 5.20 Interpretations of depositional environments in the Carboniferous sequence in north-eastern Kentucky. Left panel shows rock sequence, centre panel shows components of sequence rotated to produce a facies model. Right panel shows plan view of the facies model (Ferm & Horne 1979).

Şekil 34: Doğu Kentücy Karboniferinde ilerleyen bir delta sisteminin zaman içindeki coğrafik yayılımı ve oluşturacağı stratigrafik ürün.

DEPOLANMA MODELLERİNİN UYGULANMASI

Bir havzaya ilişkin bir çökeltme modeli bir kez kurulduktan sonra artık bu model kullanılarak kömür damarının bölgedeki dağılımı ve sonraki kömür aramalarının yoğunlaştırılacağı alanlar daha hassas bir şekilde belirlenebilir. Daha hassas bir ölçekte kömür damarının kalınlığı ve kalite değişiminin de öngörülmesi mümkün olabilir.

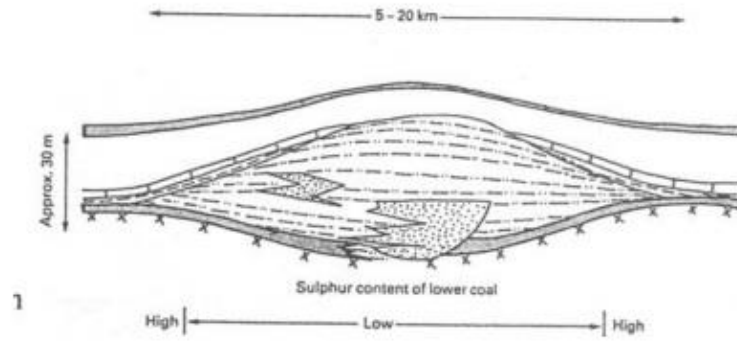
Kalınlık ve kömür damarının yayılımı

Bir kömür damarının yayılımı ve kalınlığı bir parçası olduğu kırıntılı sisteminin doğasıyla yakından ilgilidir. Kalınlık, sözgelimi, büyük ölçüde bataklığın gelişmesinden önceki topoğrafyaya bağlıdır ki, bu da kırıntılı sistem tarafından belirlenir. Turba gelişimi, turbanın iç dinamiğinin (bitki türleri, bataklık yangınları, oksidasyon vb.) yanı sıra içinde bulunduğu daha büyük ölçekli çökel sisteminin sonuçladığı kırıntılı ve besleyici sağlanabilirliği, yeraltısu seviyesi gibi etmenlerce de belirlenir.

Piritik Kükürt dağılımı

Pirit kömür içinde bulunan önemli inorganik elemanlardan biridir ve çoğunlukla turbalıktaki sülfatın indirgenmesiyle oluşuyorlar. Deniz suyu, nehir veya ortalama göl suyuna göre çok daha yüksek oranlarda sülfat içerdiğinden, denizle bir şekilde ilişkili olan turbaların çok yüksek oranlarda piritik kükürt içerdiği saptanmıştır. Özellikle turbayı doğrudan üzerleyen denizel seviyelerin hemen altında

framboidal şekilli piritik malzeme yığılımları bulunuyor. Şayet, kömür üzerinde deniz suyuyla irtibatı kesecek yeterli miktarda ince taneli sediman varsa sülfat girdisi sınırlı kalıyor ve turba fazla etkilenmiyor.



Şekil 35: Illinois havzasında (ABD) kömür damarının tavan kayacının litofasiyesi karasal overbank şeylleri altında düşük kükürtlü kömür, doğrudan denizel seviyelerin üzerlediği kesimlerde ise yüksek kükürtlü kömürleri barındırmaktadır.

Şekil 35'te Illinois havzası (ABD)'nden bir örnek veriliyor. Alanda,

kömürlerin geniş bir alanda siyah denizel şeyllerle örtüldüğü gözleniyor. Ancak sınırlı bir alanda akarsu kanalları ve bunlaa ilişkin kanal kenarı çamurları, daha denizel çökeller gelmeden doğrudan kömür damarını örtüyor ve böylece denizel sedimanların turbayla doğrudan temasını engelliyor. Sonuçta ortaya çıkan piritik kükürt dağılımında, denizel şeyllerin doğrudan kömürü üzerlediği kesimlerin daha yüksek oranlar taşıdığı gözleniyor. Şu halde, ortamsal çalışmalarla, gömülü alanlarda turbanın denizel çökeller tarafından doğrudan üzerleneceği alanların tahmini piritik kükürt dağılımının tahminini sağlamaktadır.

Madencilik çalışmalarında tavan ve taban kayaçlarının durumları

Tavan ve taban kayaçlarının dayanımları, dolayısıyla kaya türleri, işletme yöntemlerini büyük ölçüde belirlemektedir. Örneğin sert tavan kayaçları kapalı işletmeleri tahkimat masraflarından büyük ölçüde kurtarıırken açık işletmelerde kazılabilirlik problemi yarattığından maliyeti arttıracaktır. Yumuşak tavan kayaçları açık işletmelerde sık sık yamaç stabilitesi sorunları ortaya çıkaracaktır. Şu halde bunların daha işletme planlarının hazırlanması sırasında ortamsal çalışmalar sonucu öngörülebilmesi işletmenin geleceğini büyük ölçüde etkileyecektir.

KÖMÜR ARAMACILIĞI (COAL EXPLORATION)

Kömür endüstrisinde jeoloji iki yolla işe karışır. İlki, bir yeraltı zenginliği olarak kömürün varlığının, konumunun, bütün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin saptanmasıdır. İkincisi ekonomik işletmeyi etkileyecek kömür özelliklerinin saptanmasıdır. İncelenen alanda işletmeye yeterli nicelik ve nitelikte kömürün varlığı bir kez saptanıp işletme başlatıldıktan sonra jeolojinin işlevi sona ermez, işletme boyunca işletmenin spesifik jeolojik sorunlarına da çözüm yolları üretmeye çalışır.

Arama Programı nasıl yapılır?

Arama programı, aslında birbirini kısmen üzerleyen şu 4 madencilik işleminin ilk halkasını oluşturur. Aramacılık, Dizayn, Pazarlama ve Geliştirme.

Arama aşaması genellikle şu iki amaçtan birine hizmet eder. Aslında bunların doğal bir süreklilik içinde olduğu da söylenebilir.

- 1- Belirli kalitede ve miktardaki kömürün başarıyla elde edilebileceği yeni bir saha bulmak.
- 2- Halen bilinen bir alanda, belirli kalitede ekonomik olarak çıkarılabilecek kömürün bulunduğu kesimleri saptamak.

Diğer madenlerin aranmasında olduğu gibi kömür aramacılığında da izlenecek aşamalar şunlardır.

- a- Arama izninin alınması
- b- Halihazırda var olan jeolojik bilgilerin değerlendirilmesi
- c- Yüzeysel aramacılığını gerçekleştirmek
- d- Yeraltı aramacılığını gerçekleştirmek
- e- Örneklerin toplanması ve analizi
- f- Kömür rezervlerinin belirlenmesi ve işletmeyi etkileyecek jeolojik özelliklerin önemini ortaya konması
- g- Sonuçların diğer proje elemanlarıyla paylaşılması

Bu iş akış şemasını şu şekilde yeniden şematize edebiliriz:

Arazi Çalışmalarına Hazırlık

- a- Kömür aramacılığının hukuki boyutu
- b- Literatür incelemesi

Haritaların Derlenmesi

- c- Kömür aramacılığında temel haritalar
- d- Arazi haritalama teknikleri

Yüzeysel Jeofiziği

- e- Gravite yöntemleri
- f- Manyetik yöntemler
- g- Elektrik rezistivite
- h- Elektromanyetik yöntemler
- i- Sismik yansıma

Kömür Sondajı

- j- Karotsuz sondaj yöntemleri
- k- Karotlu sondaj yöntemleri

Veri Derleme Ve Rezerv Tahmini

- l- Stratigrafik verilerin grafik gösterimi ve kömür damarının kesiti
- m- Litofasiyes ve kömür kalite haritaları. Yapı kontur haritaları. Örtü izopak haritaları .Çalışılan kömür damarları için izopak haritaları. Kömür kalite haritaları.
- n- Kömür rezervlerinin tahmini. Değişik ülkelerde madencilik alanında rezerv kavramına farklı anlamlar yüklenmiştir. En genel anlamda rezerv hesaplanan günün teknolojik ve pazar koşulları altında yeterli kalitede ve ekonomik olarak işletilebilir maden miktarına verilen isimdir. Gelecekte ekonomik hale gelebilecek kaynaklara da henüz ekonomik olmayan kaynaklar (subeconomic rezerves) deniyor. Rezerv tahminlerindeki jeolojik belirsizliğin derecesi çoğunlukla görünür (measured), muhtemel (indicated) ve mümkün (inferred) gibi sıfatlarla simgelenir. Bu ise işletilebilir kalite ve kalınlıktaki damarların araştırılmasında kullanılan güvenilir sondajların (veya yarmaların) aralarındaki mesafe ile belirlenir. Kuşkusuz jeolojik olarak karışık alanlarda (örneğin arakesmeleri, intrüzyonları ve faylanması bol zonlar) jeolojik belirsizliği ortadan kaldırmak için daha sık aralıklı gözlem noktaları gerekir. Aşağıdaki tablo bu

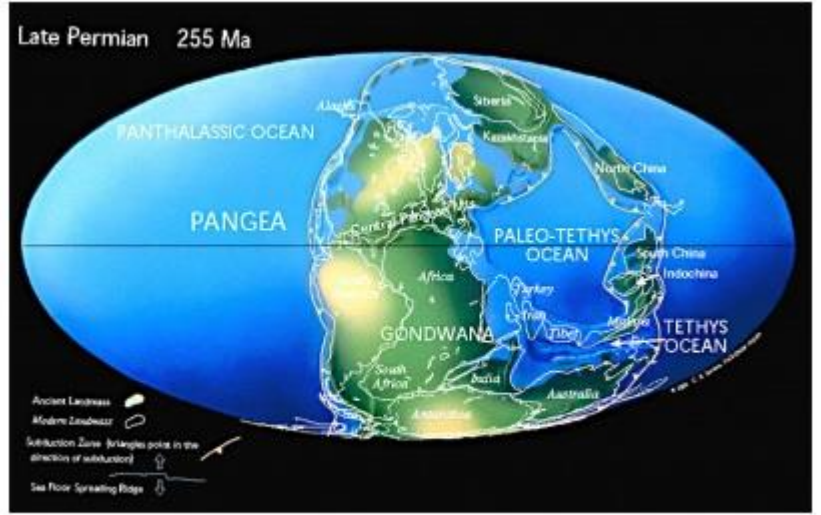
3 rezerv türü için Avustralya’da kullanılan standartları göstermektedir.

	Maksimum sondaj mesafesi	Maksimum mostra/yarına mesafesi
Görünür rezerv	1 km	500 m
Muhtemel rezerv	2 km	1 km
Mümkün rezerv	4 km	2 km
Jeolojik kaynak	>4 km	>2 km

DÜNYA KÖMÜR YATAKLARI

GONDWANA KITASI BİTUMLU KÖMÜR YATAKLARI

Kömürün geniş ölçekli kullanımı ilk önceleri Avrupa’da, ardından da Kuzey Amerika’da yaygınlaştı. Her iki alanda da Karbonifer yaşlı ve birbirine benzer nitelikteki kömürler bolca bulunmaktadır. Hatta bu yüzden uzun zaman kömürün mutlaka Karbonifer yaşlı olması gerektiği gibi bir anlayış hüküm sürmüştür. Avrupa ve Kuzey Amerika kömürlerinin aynı niteliğe sahip olduklarının farkına varılmasının ardından bu kez bunlar gibi bandlı yapıda olan ancak diğer



Şekil 36: Geç Permiyen paleocoğrafya haritası

özellikleriyle ondan ayrılan yaşları Permiyen’den Jura’ya kadar değişen (yaygın olarak Permiyen) bir başka aile daha saptanmıştır ki bunların da ayrı olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu ikinci aile Hindistan’da, Güney Amerika’da ve doğu Avustralya’da yaygındır ve Gondwana kömürleri olarak bilinir. Permo-Triyas Paleocoğrafya haritalarında gözüktüğü gibi o zamanlar bu kıta parçaları güney yarıkürede subarktik kuşak içerisinde kalan sonraları Gondwana adı verilen bir tek kıta olarak bulunuyorlardı.

Gondwana Kömürlerinin Çökelme Koşulları

Gondwanaland kömürlerinin çökelimi sırasındaki iklimsel koşullar, Avrupa Karbonifer kömürlerinininkinden oldukça farklıdır (Şekil 36). İklim genelde kuru ve yağışlı dönemlerin birbirini izlediği ılıman-soğuk bir nitelikteydi. Ancak, Gondwanaland çökeliminin son evrelerine doğru iklim daha ılıman, hatta sıcak ılıman hale geldi. İlk zamanlardaki bataklıkların oluşturduğu geniş yapraklı Glossopteris ormanları, günümüzde subarktik koşullarda bulunmaktadır. Bu, kömür içeren istifler içinde taze, bozunmamış feldispatların varlığıyla da doğrulanmaktadır. Buna karşın Kuzey yarıkürede bulunan Lepidophyta ormanları, ağaçlar ve bunlar altında çok yoğun bir otsu gelişim sunuyorlardı ki, bu nemli tropik ve subtropik koşulları anlatmaktadır. Ek olarak, bu flora içinde büyüme çemberlerinin

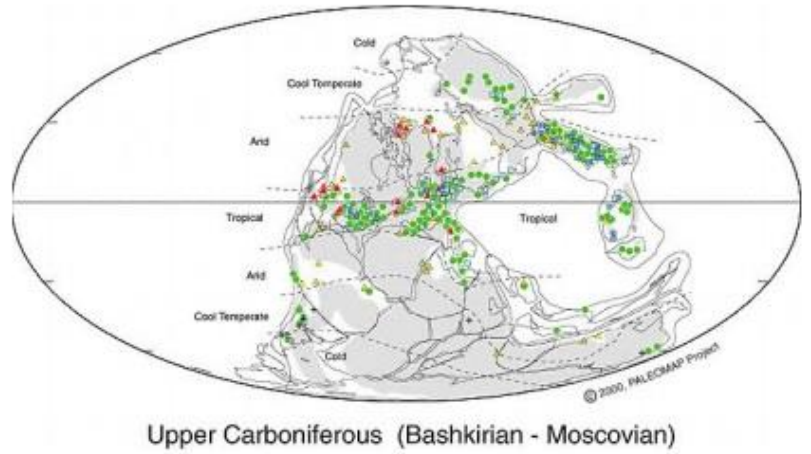
gelişmemiş olması Karbonifer’de bu turbaların geliştiği iklimsel kuşakta belirgin mevsimsel değişimlerin olmadığını göstermektedir. Gondwana kömürleri, Avrupa kömürlerinin tersine kıtasal platform havzalarda ve sert zeminler üzerinde gelişmiş olmalıdır. Bu havzalar sık ve yavaş çökme hızına sahip havzalardı. Bu koşullar turba çökelişi için uygun koşulları yaratmıştır. Sonuçta, Gondwana kömürleri daha kalın gelişme şansına sahip olmuştur. Dünya’nın ikinci kalın damarı (Hindistan’da Singrauli sahastam 113 m) böyle bir yerleşimde oluşmuştur. Gondwana kömürlerinin oluşumunu bir buzul ilerlemesi izlemiştir. Bu yüzden Gondwana kömürlerinin çoğu bir buzul çakıl istifi tarafından üzerlenir. Bunu akarsu, göl ve delta istifleri izler.

Makroskopik kömür karakteristikleri

Gondwana ve Karbonifer kömürleri arasındaki temel farklardan biri ilkinin mat olmasıdır. İneritince zengin mat seviyelerin toplam kalınlıkları bazen 1 m’yi bulabilir. İneritince az olan kesimler de, kömürün genelde ince dokulu olması yüzünden mat gözüktür. Ayrıca Gondwana kömürlerini üzerleyen litolojiler çoğunlukla gözenekli kumtaşlarından ibarettir. Bu durum, yeraltısuyunun kolayca sirkülasyonuna neden olduğundan mineral maddenin kömür içinde tam dağılmasına yol açar ve daha da matlığa sebep olur. Gondwana kömürlerinde net olarak ayrılabilen mineral madde zenginleşmeleri mevcuttur. Bunlar bir kaç cm kalınlıkta olabilirler, yanal yönde kilometrelerce izlenebilirler. Litolojileri kaolinitten çamurtaşına değişebilir.

KUZEY AMERİKA VE AVRUPA TAŞKÖMÜR YATAKLARI

Kuzey Amerika ve Avrupa taşkömür yatakları, hemen tamamen Karbonifer’de tropikal iklimsel koşullarda oluşmuş büyük yataklarıdır (Şekil 37). Avrupadakiler, İngiltere’de birçok irili ufaklı saha, Ruhr havzası, Donetz havzası (Rusya), Zonguldak havzasından oluşur. Kuzey Amerika’da da birçok Karbonifer yaşlı yatak bulunmaktadır. Bunlardan yalnızca Appalaşlardaki yataklar Avrupa’daki toplam taşkömür rezervine eşittir.



Şekil 37: Geç Karbonifer paleocoğrafyası

DÜNYA KÖMÜR ÜRETİMİ VE TÜKETİMİ

Çizelge 11 ve Çizelge 12, sırasıyla dünya kömür rezervlerinin ülkelere göre dağılımıyla bu rezervin hangi ülkeler tarafından ne kadar tüketildiğini göstermektedir. Her iki çizelgede de değinilmeyen ülkelerin rakamlarının ihmal edilebilir düzeyde olduğu belirtilmelidir.

Çizelge 11: Dünya İşletilebilir Kömür Rezervi (milyon kısa ton)

Region/Country	İşletilebilir antrasit ve Bitümlü kömür	İşletilebilir Linyit ve alt bitümlü kömür	Toplam İşletilebilir Kömür
North America			
Canada	4,970	4,535	9,505
United States	125,889	148,267	274,156
Total	131,807	153,390	285,197
Central & South America			
Brazil	0	13,173	13,173
Chile	34	1,268	1,302
Colombia	7,020	420	7,439
Peru	1,058	110	1,168
Total	8,641	15,140	23,781
Western Europe			
France	105	23	128
Germany	26,455	47,399	73,855
Greece	0	3,168	3,168
Serbia and Montenegro	71	18,087	18,157
Spain	220	507	728
Turkey	495	690	1,185
United Kingdom	1,102	551	1,653
Total	29,022	70,636	99,658
Eastern Europe & Former U.S.S.R.			
Bulgaria	14	2,974	2,988
Czech Republic	2,880	3,929	6,809
Hungary	657	4,260	4,917
Kazakhstan	34,172	3,307	37,479
Poland	13,352	2,421	15,773
Russia	54,110	118,964	173,074
Ukraine	18,065	19,806	37,871
Total	124,354	164,032	288,386
Middle East			
Iran	213	0	213
Total	213	0	213
Africa			
Algeria	44	0	44
Botswana	4,754	0	4,754
Central African Republic	0	4	4
Congo (Kinshasa)	97	0	97
Mozambique	265	0	265
Niger	77	0	77
Nigeria	23	186	209
South Africa	60,994	0	60,994
Swaziland	128	0	128
Tanzania	220	0	220
Zambia	0	61	61
Zimbabwe	809	0	809
Total	67,420	276	67,695
Far East & Oceania			
Afghanistan	73	0	73
Australia	52,139	47,510	99,649
Burma	2	0	2
China	68,564	57,651	126,215
India	80,174	2,205	82,379
Indonesia	849	4,905	5,754
Japan	865	0	865
Korea, North	331	331	661
Korea, South	90	0	90
New Zealand	32	597	629
Pakistan	0	3,228	3,228
Philippines	26	303	330
Thailand	0	2,205	2,205
Vietnam	165	0	165
Total	203,321	118,934	322,255
World Total	564,777	522,408	1,087,185

Çizelge 12: Dünya Kömür Tüketimi, 1989-1998

Bölge/Ülke	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
North America										
Canada	59.99	54.95	56.01	47.94	54.19	58.12	58.53	59.13	62.03	65.69
United States	890.92	895.67	887.98	908.75	944.78	952.41	963.11	1,005.56	1,029.96	1,038.77
Total	950.83	950.34	952.33	965.92	1,008.98	1,021.61	1,035.97	1,078.97	1,103.98	1,117.62
Central & South America										
Brazil	19.31	16.97	19.58	18.76	18.98	18.93	19.62	20.77	20.08	28.76
Chile	3.85	4.19	3.34	3.00	2.92	3.54	3.89	5.47	5.38	5.81
Colombia	5.17	3.04	9.47	6.81	6.33	6.07	4.45	5.62	5.81	6.18
Total	31.56	28.88	35.18	31.36	31.80	32.05	31.50	34.92	34.34	43.99
Western Europe										
Belgium	18.23	18.17	16.91	15.77	13.82	15.05	14.86	13.85	13.54	14.06
France	33.45	35.85	36.81	32.62	25.67	25.08	25.65	28.32	24.22	26.10
Germany	0.00	0.00	406.17	358.99	334.98	314.28	296.64	295.81	279.81	260.30
Greece	58.64	58.95	58.55	62.20	62.47	65.58	64.49	65.72	65.97	65.87
Italy	23.09	24.77	23.41	20.37	17.73	18.71	20.20	18.84	18.43	18.80
Netherlands	12.82	14.94	13.61	13.38	13.79	15.12	14.85	15.94	15.76	15.94
Spain	61.90	52.58	52.23	51.61	48.73	47.30	47.73	41.53	45.04	46.59
Turkey	60.20	59.98	63.55	64.86	60.46	65.57	67.14	70.10	74.00	78.39
United Kingdom	125.93	119.38	118.03	110.74	96.14	90.57	78.97	78.85	69.60	63.16
Serbia and Montenegro	0.00	0.00	0.00	44.62	41.62	42.88	44.83	43.11	45.42	48.56
Total	1,072.75	1,038.58	916.50	833.01	774.83	760.22	734.00	738.26	710.12	686.07
Eastern Europe & Former U.S.S.R.										
Bulgaria	50.62	45.72	36.55	37.03	35.77	34.11	36.05	36.33	37.46	36.02
Czech Republic	0.00	0.00	0.00	0.00	82.47	77.40	74.71	71.06	73.34	77.19
Slovakia	0.00	0.00	0.00	0.00	15.86	13.48	13.96	13.22	12.39	11.99
Hungary	24.96	22.95	22.64	19.72	19.33	17.86	17.12	15.78	15.47	17.59
Poland	242.05	202.18	201.68	191.77	193.60	184.10	181.06	188.88	180.66	161.07
Romania	77.72	51.97	43.32	48.62	48.85	49.35	49.81	50.12	42.07	30.83
Kazakhstan	0.00	0.00	0.00	94.16	87.16	88.89	79.68	62.50	62.84	63.78
Kyrgyzstan	0.00	0.00	0.00	2.73	2.44	2.24	1.30	1.13	0.82	1.31
Russia	0.00	0.00	0.00	374.59	361.09	316.46	294.74	313.48	284.86	262.60
Ukraine	0.00	0.00	0.00	150.93	135.44	109.39	107.19	90.34	93.04	90.07
Total	1,305.10	1,292.71	1,088.78	1,038.21	996.19	906.06	865.99	851.78	810.03	759.30
Middle East										
Israel	3.83	4.10	4.48	5.52	6.34	6.81	7.24	8.64	9.57	10.82
Total	5.54	6.01	6.22	7.00	7.68	8.53	9.03	10.25	11.48	12.74
Africa										
South Africa	140.49	139.08	143.64	149.07	152.79	160.47	162.27	164.69	173.39	177.05
Zimbabwe	5.66	6.05	5.78	6.09	5.66	6.00	6.13	4.97	5.77	5.50
Total	153.13	152.41	156.65	161.92	165.68	173.83	175.70	178.20	187.35	191.82
Far East & Oceania										
Australia	104.34	103.72	108.08	111.21	109.17	109.98	112.05	118.18	115.55	129.77
China	1,113.36	1,124.12	1,164.88	1,199.48	1,275.60	1,389.84	1,497.51	1,485.54	1,435.49	1,313.11
India	228.03	241.80	252.17	273.67	286.12	303.12	311.36	352.09	363.60	370.01
Indonesia	6.10	4.41	4.66	6.53	9.51	11.56	11.66	16.27	16.57	17.07
Japan	122.69	125.10	128.24	128.33	128.61	133.43	140.05	144.34	145.41	139.54
Korea, North	71.76	73.97	75.32	76.45	80.19	80.14	80.46	81.22	70.11	69.75
Korea, South	45.93	41.86	45.42	41.82	44.53	48.70	51.27	58.98	60.33	62.49
Taiwan	19.60	18.88	20.62	24.12	26.65	28.14	28.83	33.36	39.91	40.73
Thailand	9.98	14.11	16.63	17.73	18.54	20.52	22.99	27.68	28.61	22.99
Vietnam	3.57	4.60	3.78	3.79	4.39	4.35	6.94	6.70	8.59	8.30
Total	1,754.77	1,783.39	1,849.82	1,913.25	2,015.85	2,158.76	2,293.17	2,354.69	2,312.86	2,203.13
Dünya Toplamı	5,282.69	5,259.24	5,005.49	4,950.68	5,008.22	5,061.05	5,145.36	5,245.07	5,170.16	5,013.47

TÜRKİYE'DEKİ KÖMÜR YATAKLARI

Zonguldak Taşkömürü Havzası

1.Rezerv Zonguldak Taşkömürü havzası 5 üretim bölgesine ayrılmıştır (Ekli haritaya bakınız). Bu bölgelere ait rezervler **Milyon Ton** olarak aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Bölge Adı	Görünür rezerv	Muhtemel Rez.	Mümkün rezerv	Toplam Rezerv
Arınutçuk	32	61	-	93
Kozlu	9	14	260	283
Üzülmez	69	102	79	250
Karadon	51	83	345	479
Amasra	21	207	62	291
TOPLAM	183	467	746	1.396

2.Stratigrafi

Zonguldak kömür havzasının jeoloji haritası ve stratigrafi kesiti Şekil 38 ve 39'da verilmiştir. Havzanın tabanını Siluriyen-Devoniyen yaşlı kristalize kireçtaşları ve kuvarsitler oluşturmaktadır. Bunları Vizeen (Erken karbonifer) yaşlı denizel dolomitik kireçtaşları üzerler. Dolomitik kireçtaşları, kömürlü istifin tabanını teşkil eden Namuriyen yaşlı, ince kömür damarları da içeren bir kırıntılı istif tarafından (Alacağzı Formasyonu) üzerlenir. Bunu Zonguldak havzasının işletilebilir kömür damarlarını içeren Westfaliyen yaşlı 3 birimi, alttan üste doğru sırasıyla Kılıç, Kozlu ve Karadon formasyonları üzerler. Halen işletilen damarların büyük çoğunluğu Kozlu Formasyonu içinde bulunmaktadır. Kömürlü istifler, yukarı doğru uyumlu olarak Permiyen yaşlı kırmızı kumtaşlarına geçiş gösterirler. Daha sonra buraya kadar ki tüm istif bölgede yeni bir okyanusun açılıma işaret eden Jura yaşlı bir istif tarafından üzerlenir. Havzanın kömür açısından en verimli olan birimi Kozlu Formasyonu'dur. Kalınlığı yer yer 800 m'ye ulaşmaktadır. Bu birim, farklı kırıntılı litolojilerin ardalanmasından ibarettir.

Çakıltaşları iyi yuvarlaklaşmış kuvarsit, magmatik ve metamorfik kayaç parçalarından oluşur. Kırıntılı istifin örgülü ve menderesli akarsular tarafından çöktildiği düşünülmektedir. Birim içindeki kömür damarlarının kalınlığı cm'den bir kaç metreye kadar değişmektedir.



Şekil 38: Zonguldak Karbonifer penceresinin jeoloji haritası

3. Kimyasal özellikleri

Havza kömürlerinin ortalama kısa analiz değerleri aşağıdaki bölgelere göre tabloda gösterilmiştir.

	Armutçuk	Amasra	Zonguldak
Nem %	2	5-5,95	0,95-6,2
Kül %	5,55	10,98-20,46	5,39-5,24
Organik madde %	36,97	32,45-37,14	27,26-32
Sabit karbon %	55,70	42,07-46,50	54,93-64,96
Toplam Kükürt %	0,93-1,61	0,72-1,22	0,31-1,03
Kalorifik değer cal/gr	5850-5950	5240-6550	5790-7280

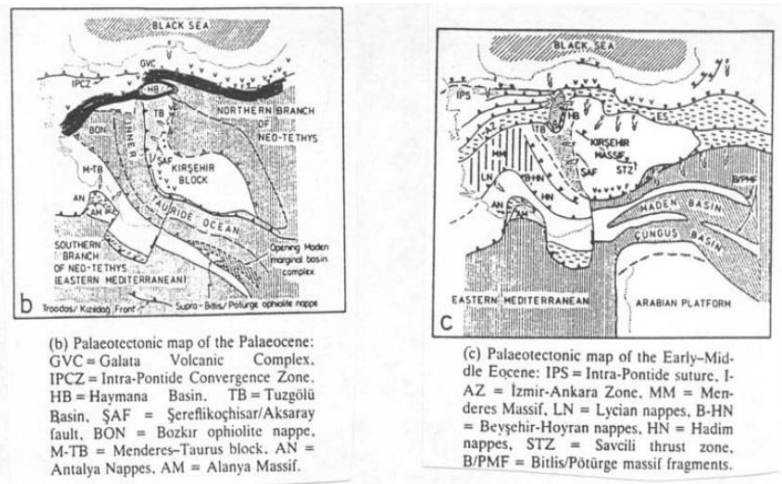
TÜRKİYE LİNYİTLERİ

Toplam kömür rezervinin yaklaşık 6/7'sini oluşturur. Başlıca büyük sahalar ve rezervleri Tabloda listelenmiştir.

Yatak adı	Görünür rezerv(x bin ton)	Muhtemel rezerv (xbin ton)	Mümkün rezerv (xbin ton)	Isıl değer (cal/gr)
Ankara-Bevpazarı	391.479	-	-	1989-2839
Adıyaman-Gölbaşı	53.049	-	-	1385
Bingöl-Karlıova	88.632	-	-	1458-1663
Bolu-Mengen	32.640	51.972	14.690	4100-4755
Çanakkale-Çan	86.877	-	-	2994
Çankırı-Orta	123.165	-	-	868
Eskişehir-Kovunağlı	57.430	-	-	2539
Konya-Beyşehir-Seydişehir	218.000	90.000	140.000	700-1430
Kütahya-Seyitömer	198.666	-	-	1900
Kütahya-Tunçbilek	270.850	46.882	-	2021-2657
Manisa-Soma	495.456	158.673	37.412	1638-5500
K.Maraş-Elbistan	3.357.340	-	-	1050
Muğla-Milas-Yatağan	694.355	60.000	-	1434-2890
Sivas-Kangal	202.607	-	-	1207-1494
Tekirdağ-Saray	141.175	-	-	1677-2194
TOPLAM	6.411.761	407.527	192.102	

Erken Tersiyer (çoğunlukla Eosen) kömürleri

Anadolu'nun Erken Tersiyer (Paleojen) yaşlı kömürlerinin tamamı, Kuzey Anadolu Bölgesi'nde Erzurum'dan batıda Bilecik'e kadar uzanan bir zon içinde yer alır. Bu zon, kuzeye doğru dalarak yiten Neotetis okyanusunun yayönü alanını oluşturmaktadır (Şekil 40). Aynı dönemde Anadolu'nun güneyini oluşturan Toroslar büyük nap hareketlerine maruz kalan bir bölge olduğundan bu bölgede kömür oluşumu izlenmemektedir.



Şekil 40: Anadolu'nun Paleosen ve Erken-Orta Eosen paleocoğrafyası

Kömürleri içeren Kuzey Anadolu istifi çoğunlukla ofiyolitlerden oluşan bir temel üzerinde uyumsuz olarak karasal çökellerle başlar. Haymana, Çankırı-Çorum ve Sivas havzaları gibi bazı alanlarda ise istif geç Kretase'den itibaren kesiksiz olarak Eosen'e hatta Miyosen'e kadar devam eder. Kuşak içinde kömürler Tokat'tan Bolu'ya kadar bir alan içinde çoğunlukla Eosen içinde yoğunlaşmışlardır. Kömürlerin çökelim ortamı menderesli akarsu veya faaltalarla ilişkili bitkisel gelişim ortamlarıdır.

Oligosen Kömürleri

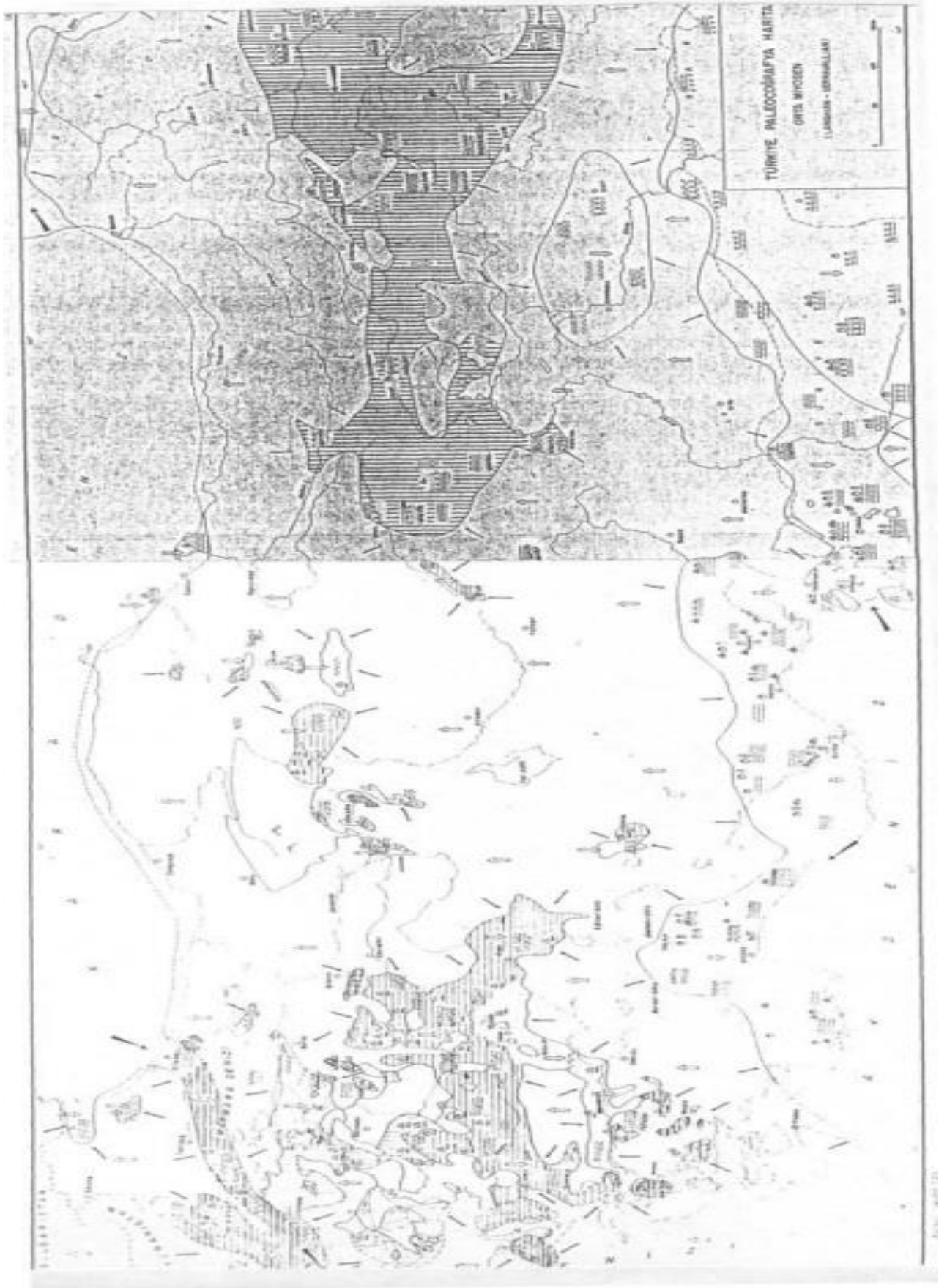
İşletilen yegane yataklar Trakya havzasında deltayik-karasal istifler içinde yer alır. Havzanın karakteristiği genelde yüksek kükürt içermesi ve damarların ince (genellikle 2 m'den az) olmasıdır. İşletilen yatakların çoğu Keşan ve Malkara ilçeleri civarında bulunur.

Miyosen kömürleri

Ülkemizdeki toplam linyit rezervinin %90'ından fazlası Neojen kömürlerinden ve bunun yarısı da Afşin-Elbistan dolayındaki bir tek kömür havzasından oluşur. Şekil 41, Türkiye'nin Orta Miyosen paleocoğrafyasını yansıtmaktadır. Orta Miyosen'le (ve hatta daha erken Miyosen'le) birlikte Doğuya gidişli bir denizel körfez (Sivas havzası ve bunun doğu alanlara doğru uzantısı) Güneyde yine geniş bir denizel alan (Adana ve Mut havzaları) bulunur. Her iki denizel kuşakta bazı kömür oluşumları bilinmekteyse de çokça ve yaygın olarak işletilen kömürler bulunmamaktadır. Yalnızca Erzurum civarında Oltarınan havzasında hatırı sayılır kömür oluşumları bulunmaktadır.

Buna karşın, Orta ve Batı Anadolu Erkerta Miyosen'de çok geniş kömür havzalarının oluşumuna sahne olmaktadır. Bu dönemde Anadolu'da genel olarak bir genişleme tektoniğinin hüküm sürdüğü belirtilmektedir. Bu çerçevede Batı Anadolu havzalarının KD uzanımlı bazı grabenlerde oluştuğu ileri sürülmektedir. Orta Anadolu havzaları ise daha çok uzanımlıdır.

Üst Miyosen'de sedimanter havzalar daha da genişlemiş olmasına karşın yaygın kömür oluşumları bulunmamaktadır.



Şekil 41: Anadolu'nun Orta Miyosen Paleocoğrafyası

TÜRKİYE TURBALARI

MTA jeoloji mühendislerinden Sabiha Berkün'ün 1992'de yaptığı bir çalışmaya göre ülkemizdeki belli başlı turba yatakları şunlardır.

- 1- Afyon-Çay-Eber Gölü: Yüzeyde tamamen sucul bitkilerden (kamış, su zambağı, hasır otu) oluşur.
- 2- Antalya-Kaş-Çayköy-İncirli Mevkii: 1500 hektarlık bir alan kaplar. Çoğunlukla 2-2,5m yüksekliğinde kamışlarla kaplıdır. 90 cm kalınlığındaki turbanın altında greşil kil tabakası bulunur.
- 3- Antalya-Elmalı-Yuvaköy-Karagöl Yatağı: DSI'nin drenaj çalışması yüzünden alandaki bütün göl suyu uzaklaştırılmıştır. Böylece 10 bin hektarlık alan ortaya çıkmıştır. Turba kalınlığı en az 110 cm'dir ve bunun üstten 45 cm kadarı yanmıştır. Büyük ölçüde kamış, saz, su lalesi artıklarından oluşur. Köylüler halen üzerinde tarım yapmaktadırlar.
- 4- Denizli-Acıpayam-Tarım İşletmesi Müdürlüğü: 2000 hektar kadar bir alanda tamamen cılız ottan türemiş turba bulunur.
- 5- Bursa-Orhaniye-İznik Gölü –Örnek Köyü: 50 cm kalınlığında turba bulunur. Kısmen yanmıştır.
- 6- Samsun-Bafra-Yedigöller: 70 bin hektarlık bir alanda parça parça turba gelişmiştir.
- 7- Maraş-Türkoğlu-Mine Höyük Köyü: Önceleri var olan bir gölün drenajıyla açığa çıkmıştır. Saz, kamış ve gelinotundan oluşmuştur. Tatlı su kavkılarını da içerir.
- 8- Kars-Göle: En az 100 cm kalınlıkta otsu bitkilerden oluşan bir turbalıktır.
- 9- Kars-Ardahan-Cincirop: Daha 1957'de rezervi 2000-3000 ton olarak hesaplanmıştır.
- 10- Çankırı-Orta: 500.000 tonluk bir rezervi bulunuyor. 2000-2700 kcal/kg kadar ısı değere sahip
- 11- Bolu-Gerede-Yeniçağa: 10 bin hektarlık alan kaplar. En az 2,5 m kalınlıkta turba içerir. Çiçekçilik amacıyla yerinden kazılıp pazarlanmaktadır.
- 12- Eskişehir-Çifteler: 1050 dekarlık alanda bulunur. Üstünde ekim yapılmaktadır. En az 1,5 m kalınlıkta bir turba gelişimi bulunuyor.
- 13- Kayseri-Merkez-Ambar Köyü: Sahada 1969'da jeolojik harita alımı ve iki adet te yapılmıştır. Rezervi 104 milyon tondur.
- 14- Hakkari-Yüksekova: Turba 20 km²'lik bir alanda bulunur. Görünür rezerv 18 milyon ton civarındadır.